COMISIÓN 3

Fertilidad de suelos y nutrición vegetal

COMISIÓN 3: Fertilidad de suelos y nutrición vegetal

C3P1. INVASIÓN DE *LIGUSTRUM LUCIDUM* EN BOSQUES DE *CELTIS EHRENBERGIANA*: IMPACTO EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO
Abarca, Camila L.; Merani, Víctor H.; Larrieu, Luciano; Millán, Guillermo; Barrera, Marcelo D.; Ferreri, Natalia y Velazquez, María S.

C3P2. CAÑA DE AZÚCAR: FERTILIZACIÓN NITROGENADA DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL
Alonso, Luis G.; Leggio Neme, M. Fernanda; Fernández González, Pablo E.; Quintana, Diego y Romero, Eduardo R.

C3P3. RESPUESTA A LA FERTILIZACION NITROGENADA EN TRIGO DEL SURESTE Y CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES
Álvarez, Lucila; Pugliese, Guillermo; Saks, Matías y Noellemeyer, Elke

C3P4. EL USO DEL SUELO AFECTÓ MÁS AL FÓSFORO INORGÁNICO QUE AL ORGÁNICO EN LA REGIÓN PAMPEANA
Alvarez, Roberto; Daniela, Gangi; Caffaro, María, Molina, Cecilia, y Berhongaray, Gonzalo.

C3P5. MODELIZACIÓN DEL IMPACTO DE LA COSECHA DE RASTROJO SOBRE EL CARBONO ORGÁNICO DE SUELOS PAMPEANOS
Alvarez, Roberto, y De Paepe, Josefina L.

C3P6. LA MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO CONTROLA LA PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS PAMPEANOS
Alvarez, Roberto; De Paepe, Josefina L.; Gimenez, Analía V., Recondo, Verónica, Pagnanini, Federico; Mendoza, María R.; Caride, Constanza, Ramil, Denis; Facio, Facundo y Berhongaray, Gonzalo.

C3P7. ESTADO ACTUAL DE SATURACIÓN CON BASES EN HAPLUDOLES DEL OESTE DEL ÁREA AGRÍCOLA DE TUCUMÁN
Arroyo, Esteban A.; Aranda, Nelson D., Sanzano, G. Agustín, Rojas Quinteros Hugo C. y Navarro Di Marco Jessica P.

C3P8. ENCALADO EN SUELOS SUBTROPICALES DEL NORESTE ARGENTINO
Barbaro, Sebastián; Iwasita, Bárbara; Guerrero, Diego; Bálsamo, Maricel; Sosa, Domingo; Moretti, Lucas; Albarracín, Silvia y Alvarenga, Fernando.

C3P9. DISTANCIAMIENTO ENTRE HILERAS Y EFICIENCIA DE USO DE FOSFORO EN MAÍZ BAJO SIEMBRA DIRECTA
Barbieri, PA; Echeverría, HE; Sainz Rozas HR, y Andrade, FH,

C3P10. RESPUESTA DEL CULTIVO DE SOJA (*Glycine max.*) AL AGREGADO DE ZINC Y BORO
Barbieri, Pablo A. Sainz Rozas, Hernán R.; Echeverría, Hernán E.; Salvagiotti, Fernando; Ferraris, Gustavo H.; Sánchez, Héctor A.; Caceres Diaz, Raúl O. y Bustos, Ana N.

C3P11. BALANCE DE NUTRIENTES EN SUELOS DE TAMBOS
Berhongaray, Gonzalo; Cañada, Pablo, y Palladino, Rafael Alejandro.

C3P12. RELACIONES ENTRE VARIABLES EDÁFICAS, DE BIOMASA Y RENDIMIENTO EN CULTIVARES DE MANDIOCA IMPLANTADOS EN CORRIENTES
Bertollo, Javier de Jesús; Paredes, Federico Antonio, ; Medina, Ricardo Daniel

C3P13. INDICADORES DE LA RESIDUALIDAD DE LA FERTILIZACIÓN CON P Y S EN UNA SECUENCIA AGRICOLA
Biassoni, M. Micaela; Gutiérrez Boem, Flavio H.; Vivas, H. y Salvagiotti, Fernando

C3P14. IMPACTO DE LA AGRICULTURIZACIÓN: ANÁLISIS DE TRES PARÁMETROS DE LA FERTILIDAD DEL SUELO
Bocchio, María V.; Alonso, Andrea; Almirón, Amalia; Requesens, Eduardo; Narvaja, Valeria y Mestelan, Silvia

C3P15. FERTILIZACION NITROGENADA EN EMERGENCIA Y ANTESIS EN CEBADA CERVECERA, USO DE CURVAS DE DILUCIÓN COMO HERRAMIENTA DE DIAGNOSTICO
José J. Boero, Federico M. Gomez, Pablo Prystupa, Gustavo N. Ferraris y Flavio H. Gutierrez Boem

C3P16.USO DE ÍNDICES ESPECTRALES COMO DIAGNOSTICO DE NUTRICIÓN NITROGENADA EN CEBADA CERVECERA
José Boero, Federico Gomez, Pablo Prystupa, Susana Urricariet, Gustavo Ferraris y Flavio Gutierrez Boem

C3P17.USO DE DIGESTATO COMO BIOFERLIZANTE DERIVADO DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS
Bongiovanni Marcos D., Marzari Rosana y Amin, Silvana.

C3P18. APORTE DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA DE LARGO PLAZO A LAS FRACCIONES ORGÁNICAS DE FÓSFORO DEL SUELO
Bressan, Eliana S.; Appelhans, Stefania C.; Barbagelata, Pedro A., y Melchiori, Ricardo J. M.

C3P19. FITASAS PURIFICADAS COMO ALTERNATIVA PARA APROVECHAR EL P ORGÁNICO DEL SUELO
Caffaro, María.M,; Hernández, Alejandra I y Rubio, Gerardo,.

C3P20. FERTILIZACIÓN CON BORO EN PAPA PARA INDUSTRIA
Cassino, M. N., Fioriti, P., Giletto, C.M.; Zamuner, E.C. y Barbieri, P.A.

C3P21. EFECTO DEL TIPO DE SUELO Y COMPOST EN LA DISPONIBILIDAD Y RIESGO DE PÉRDIDA DE P
Castán, Elisa; Gonzalez-Polo, Marina; Satti, Patricia y Mazzarino, Maria Julia.

C3P22. DOSIS OPTIMA DE N Y EUN EN MAÍZ PARA DISTINTAS ZONAS DE MANEJO
Cerliani, Cecilia; Esposito, Gabriel; Gastaldi, Luciano y Naville, Rafael.

C3P23. DIGESTATOS DE BIOGÁS COMO FUENTE DE NUTRIENTES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE CENTENO
Chilano Yanina; Bongiovanni Marcos D.; Amín María S.; Marzari Rosana; Mattalia María L.; Barlasina María. V. y Sgarlatta Barbara

C3P24. NUTRICIÓN VEGETAL Y SIMBIOSIS MICORRÍCICA ARBUSCULAR EN ESPECIES FORRAJERAS ANTE EL AUMENTO DEL FÓSFORO EDÁFICO
Chippano, Tomás; Fernández López, Carolina; Cofré, Noelia; Mendoza, Rodolfo y García, Ileana

C3P25. EVALUACIÓN DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN LIMONERO (*Citrus limón*) EN TUCUMÁN
Correa, R.; Sosa, F.; Romero, J.; Navarro Di Marco, J.; Sanzano, A. y Rojas Quinteros, H.

C3P26. DIAGNÓSTICO DE FERTILIDAD EN SUELOS BAJO PRODUCCIÓN ORGÁNICA EXTENSIVA: UN CASO DE ESTUDIO
De Siervi, Marcelo; Grandoli, Ivan y Tolaba Tugues, Maria Ayelen

C3P27. CAMBIOS EN UN ARGIUDOL AL IMPLEMENTAR SISTEMAS AGRICOLAS INTENSIFICADOS
Díaz-Zorita, Martín; Poggio, Santiago L. y Peper, Alberto M.

C3P28. APLICACIÓN DE ESTIÉRCOL DE FEEDLOT: EFECTO SOBRE EL CULTIVO DE MAÍZ Y ALGUNAS PROPIEDADES DE SUELO

Diez, Marianela; Lardone, Andrea; Barraco, Mirian; Sardiña, Cecilia y Méndez, Daniel.

C3P29. EL NITRÓGENO INCREMENTA LA PROTEÍNA EN GRANO Y SUBPRODUCTOS DE GIRASOL
Diovisalvi, Natalia; Reussi Calvo, Nahuel; Izquierdo, Natalia, Echeverría, Hernán; Divito, Guillermo y García, Fernando.

C3P30. COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA DETERMINAR NITRÓGENO EN GRANO DE GIRASOL
Diovisalvi, Natalia; Izquierdo, Natalia; Reussi Calvo, Nahuel, , y Echeverría, Hernán.

C3P31. FERTILIZACIÓN FOSFATADA CON ENMIENDAS ORGÁNICA E INORGÁNICA EN MAÍZ CHIPÁ (*Zea mays* L. subsp. amylacea (Sturtev))
Duarte, Alder D.; González, Eugenio; Quiñonez, Laura R.; Enciso, Derlis; Rasche, Jimmy W. y Leguizamón, Carlos A.

C3P32. CONTRIBUCION DE LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DEL NITRÓGENO Y RESPUESTA A LA INOCULACION EN ARVEJA Y VICIA
Enrico, Juan M.: Piccinetti, Carlos F.; Barraco, Mirian R.; Agosti, M. Belén; Eclesia, R. Paolay Salvagiotti, Fernando

C3P33. DENSIDAD ÓPTIMA DE SIEMBRA EN MAIZ Y SU INTERACCION CON LA OFERTA NITROGENADA
Esposito, G.; Cerliani, C. y Naville, R.

C3P34. COMPOST DE CORRAL DE ENCIERRO DE FEEDLOT: MINERALIZÓN DEL N EN MEZCLAS CON SUELO
Facciuto, Sebastián; Alonso, Andrea G., Oliva, Facundo, Lett, Lina A.C. y Mestelan, Silvia A.

C3P35. APLICACIÓN DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS-PELLETS CON SEMBRADORAS CONVENCIONALES
Ferrari, Javier L; Dosanto, Aldo M; Tittonell, Pablo A; Reuque, Raúl y Gazzotti, Juan I.

C3P36. EXTRACCIÓN DE BASES DEL MODELO PRODUCTIVO, EN LOS SUELOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES
García, Mirta G y Presutti, Miriam

C3P37. ¿QUE SUCEDE CON LAS FORMAS DE FÓSFORO CUANDO SE UTILIZAN CULTIVOS DE COBERTURA EN SUELOS DEGRADADOS?
Giannini, Ana P.; Irizar Alicia B. y Andriulo, Adrian E.

C3P38. MICRONUTRIENTES EN SUELOS SEGÚN DOS SOLUCIONES EXTRACTORAS: MODELOS DE CORRELACIÓN ENTRE MEHLICH-3 Y DTPA-TEA
Giannini Kurina, Franca; Balzarini, Monica; Rampoldi, E. Ariel y Hang, Susana.

C3P39. INDICES ESPECTRALES PARA MONITOREAR EL ESTRÉS DE N EN PAPA PARA INDUSTRIA
Giletto, Claudia; Ortega, Vanina; Mateos Inchauspe, Facundo; Cambareri, Matías y Echeverría, Hernán

C3P40. EVALUACIÓN DEL NDVI PARA DELINEAR ZONAS DE MANEJO DE NITRÓGENO PARA EL CULTIVO DE MAÍZ
Girón, Paula y Pagani, Agustín

C3P41. N Y S EN CEBADA CERVECERA: EFICIENCIAS DE UTILIZACIÓN Y SUS COMPONENTES
Gómez, Federico M.; Boero, José J.; Prystupa, P; Ferraris, Gustavo y Gutiérrez Boem, Flavio H.

C3P42. EFECTO DE DOS TIPOS DE FERTILIZANTES FOLIANRES SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ALGODÓN
Gomez Nestor A, Pastori Saino Noelia De Lourdes y Sanchez María Cristina

C3P43. VALORIZACION INICIAL DE ESTRATEGIAS DE FERTILIZACION EN LA REGION PAMPEANA
Grasso, Andrés A. y Diaz-Zorita, Martin.

C3P44. ALTERNATIVAS PARA INCREMENTAR LA SUSTENTABILIDAD EN SECUENCIAS BASADAS EN EL CULTIVO DE SOJA
Gudelj, VJ; Gudelj, OE; Conde, MB; Lorenzon, CA; Vallone, PS; y Galarza, CM.

C3P45. CONTRIBUCIÓN DE LAS RAÍCES Y LA FIJACIÓN BIOLÓGICA AL BALANCE DE NITRÓGENO EN SOJA.
Kehoe, Esteban; Rubio, Gerardo y Salvagiotti, Fernando.

C3P46. RESPUESTA A NITROGENO DEL TRIGO CONTINUO EN UN ENSAYO DE LARGA DURACION BAJO SIEMBRA DIRECTA
Kiessling, Roberto J.; Martinez, Juan M. y Ron, Maria M.

C3P47. DISPONIBILIDAD DE CATIONES BÁSICOS EN SUELOS AGRÍCOLAS Y PRÍSTINOS DE LA REGIÓN PAMPEANA
Larrea, Gastón. E.; Sainz Rozas, Hernán.; R.Eyherabide, Mercedes.; Puricelli, Marino. M. y Wyngaard, Nicolás

C3P48. VARIABILIDAD ESPACIAL DE CATIONES BÁSICOS EN SUELOS AGRÍCOLAS Y PRÍSTINOS DE LA REGIÓN PAMPEANA
Larrea, Gastón. E.; Sainz Rozas, Hernán. R; Puricelli, Marino. M.; Eyherabide, Mercedes y Wyngaard, Nicolás.

C3P49. CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO EN PECÍOLO COMO INDICADOR DEL ESTADO NUTRICIONAL EN EL CULTIVO DE PAPA
Lattour, Kevin; Zamuner, Ester C.; Reussi Calvo, Nahuel I. y Echeverría, Hernán. E.

C3P50. EFECTO DE LA FERTILIZACION DEL CULTIVO DE COBERTURA EN AMBIENTES CONTRASTANTES DEL NOROESTE BONAERENSE
Lobos, Martin; Miranda Walter; Rampo Mauro; Barraco Mirian y Girón Paula.

C3P51. FACTORES QUE CONDICIONAN LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO EN SUELOS BAJO SIEMBRA DIRECTA DEL SUDOESTE BONAERENSE
López, Fernando M.; Duval, Matías; Martínez, Juan M.; Gabarini, Luciano y Galantini, Juan,

C3P52. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA (DOSIS X MOMENTO) SOBRE LA CALIDAD DEL GRANO DE TRIGO PAN
Manlla, Amalia; Castellarín, Julio y Magnano Luciana

C3P53. TECNOLOGÍAS DE FERTILIZACIÓN CON ZINC EN MAÍZ
Martínez Cuesta, Nicolás; Carciochi, Walter.; Sainz Rozas, Hernán; Eyherabide, Mercedes; Wyngaard, Nicolás; Colazo, Juan Cruz; Ferraris, Gustavo; Salvagiotti, Fernando& Barbieri, Pablo.

C3P54. RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN CON BORO EN MAÍZ
Martínez Cuesta, Nicolás; Wyngaard, Nicolás; Sainz Rozas, Hernán; Eyherabide, Mercedes; Carciochi, Walter.y Barbieri, Pablo.

C3P55. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN TRIGO CONTINUO SOBRE EL NITRÓGENO MINERALIZABLE DEL SUELO
Martínez, Juan M.; Kiessling, Roberto J. y Ron, María M.

C3P56. PROGNOSIS DE NITRÓGENO EN PAPA PARA INDUSTRIA EN EL SUDESTE BONAERENSE
Mateos Inchauspe, F.; Giletto, C.; Reussi Calvo, N. y Echeverría, H.E.

C3P57. EFECTO DEL AGREGADO DE LOMBRICOMPUESTO EN LA PRODUCCIÓN DE ROSELLAS (*Hibiscus sabdariffa* L.)
Mijaluk, Alexis D. y Rojas, Julieta. M.

C3P58. EFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN CEBADA PARA AMBIENTES CONTRASTANTES DE LA REGIÓN PAMPEANA
Orcellet, Juan M.; Reussi Calvo, Nahuel I; Queirolo, Ignacio; Sainz Rozas, Hernán, y Prystupa, Pablo

C3P59. COMPARACIÓN DE FUENTES NITROGENADAS EN TRIGO Y MAÍZ
Pautasso, Juan M.

C3P60. FERTILIZACIÓN DE AVENA Y RAIGRÁS
Pautasso, Juan M. y Quinodóz Enrique.

C3P61. UN NUEVO ENFOQUE DE LA TELEDETECCIÓN PARA LA PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO DEL MAÍZ Y MANEJO DE NITRÓGENO
Peralta, Nahuel R.; Di Matteo, Javier.A.; Ferreyra, Juan.M; Melchiori, Ricardo; Sainz Rosas, Hernán y Bianchini, Agustín

C3P62. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE SPAD Y NITRÓGENO FOLIAR EN RESPUESTA A DIFERENTES TIPOS DE EFLUENTES PECUARIOS.
Peretti, Rocío M.; Imvinkelried, H.; Ghiberto, Pablo J. e Imhoff, Silvia

C3P63. APORTE DE NUTRIENTES MEDIANTE EFLUENTES LÍQUIDOS DE CERDO, RENDIMIENTO Y ESTADO NUTRICIONAL EN MAÍZ
Peretti, Rocío M.; Rivero, Gustavo; Nicollier, Juan; Zuber, Selene y Ghiberto, Pablo J.

C3P64. LAS RESPUESTAS DE MAIZ Y SOJA A LA FERTILIZACION CON FOSFORO VARIAN SEGÚN CONDICION PRODUCTIVA SITIO-ESPECIFICA
Pérez, Gonzalo y Díaz-Zorita, Martín

C3P65. SUSCEPTIBILIDAD A LA ACIDIFICACIÓN EDÁFICA POR EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES BÁSICOS POR LA AGRICULTURA EXTENSIVA BONAERENSE.
Presutti Miriam E.

C3P66. USO DE SENSORES DE CANOPEO PARA CALCULAR LA DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA DE NITRÓGENO EN CEBADA
Queirolo, Ignacio M.; Reussi Calvo, Nahuel I.; Sainz Rosas, Hernán R.; Prystupa, Pablo y Divito, Guillermo A.

C3P67. ¿ES SIMILAR LA RESPUESTA DE TRIGO Y CEBADA AL APORTE DE NITRÓGENO POR MINERALIZACIÓN?
Reussi Calvo, Nahuel I.; Queirolo, Ignacio.; Sainz Rozas, Hernán; Prystupa, Pablo.; Diovisalvi, Natalia.; Divito, Guillermo A. y Echeverría, Hernán.

C3P68. ÍNDICE DE CALIDAD QUÍMICA DE CUATRO GRANDES GRUPOS DE SUELOS DEL DEPARTAMENTO MERCEDES, CORRIENTES
Rey Montoya Tania Soledad, Matteio Juan Pablo, Sanabria María Cristina; Grancic Carla Eliana; Garay Jorge Marcelo, Ybarra Diego Daniel y Kurtz Ditmar Bernardo.

C3P69. APORTE NUTRICIONAL DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE GRANOS DE TUCUMAN
Robledo Gonzalo E., Morandini Miguel, Sanzano G. Agustín; Rojas Quinteros Hugo C., Devani Mario R., Gamboa Daniel y Daniel Facundo.

C3P70. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CAL AGRICOLA SOBRE EL PH, ALUMINIO Y FÓSFORO EN UN ULTISOL
Rojas Cáceres, A.; Lares Cuevas, Derlis Hernán; Rolón Paredes, Gustavo A., González Cáceres, Eugenio; Rasche Álvarez, Jimmy W.; Duarte Monzón, Alder D.; Quiñonez Vera, Laura R.y Rheinhermer dos Santos, Danilo

C3P71. SORCIÓN DE P DE LOS MOLISOLES FRANCO LIMOSOS DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA (ARGENTINA)
Rollán, Adriana A.; Bachmeier, Omar A.y Moreno, Mario A.

C3P72. EXTRACCIÓN Y BALANCE DE MACRONUTRIENTES EN CAÑA DE AZÚCAR CON RIEGO POR GOTEO Y EN SECANO
Romero, Juan Ignacio; Sanzano, Agustín y Romero, Eduardo R.

C3P73. PARTICIÓN DE BIOMASA Y NUTRIENTES EN CAÑA DE AZÚCAR CON RIEGO POR GOTEO Y SECANO
Romero, Juan Ignacio; Sanzano, Agustín y Romero, Eduardo Raúl.

C3P74. USO DEL CLOROFILÓMETRO PARA DETERMINAR LA DOSIS OPTIMA ECONÓMICA DE NITRÓGENO EN MAÍZ
Sainz Rozas, Hernán; Reussi Calvo, Nahuel I. y Barbieri, Pablo

C3P75. PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DEL CULTIVO DE TRIGO: EFECTO DEL AMBIENTE Y LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y AZUFRADA
Saks, M.; Alvarez, C.; Scherger, E. y Peinetti, Néstor

C3P76. FUENTES DE FÓSFORO CON PROMOTORES DE CRECIMIENTO EN MAÍZ CHIPA (*Zea mays* L. subsp. amylacea (Sturtev))
Salvador, Luis S.; Duarte, Alder D.; González, Eugenio; Quiñonez, Laura R.; Enciso, Derlis y Rasche, Jimmy W.

C3P77. REQUERIMIENTOS DE NUTRIENTES EN SOJA: CURVAS DE DILUCION Y ACUMULACION E INDICE DE COSECHA
Salvagiotti, Fernando; Barbagelata Pedro; Barraco, Mirian; Condori, Alicia; Di Mauro, Guido; Enrico, Juan; Echeverría, Hernán; Ferrari, Manuel; García, Fernando; Gudelj, Vicente; Ortez, Osler; Rotundo, Jose e Ignacio Ciampitti

C3P78. PROMOTORES DE CRECIMIENTO EN COMBINACION CON DOSIS DE NITROGENO EN MAIZ DULCE IRRIGADO
Servían Rojas, José Jeremías; Quiñónez Vera, Laura Raquel; Rasche Álvarez, JimmyWalter; Fatecha Fois,_Diego Augusto, González Cáceres, Eugenio; Duarte Monzón, Alder Duarte, Enciso Santacruz, Derlis

C3P79. EFECTO DEL ZINC SOBRE EL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE ALMIDÓN DE LOS TUBÉRCULOS DE PAPA PARA INDUSTRIA
Silva, Sandra E.; Vismara, Martina; Almada, Julieta C.; Giletto, Claudia M.; Ceroli, Paola S.; Zamuner, Ester C. y Echeverría, Hernán E.

C3P80. CAMBIOS EN LAS FORMAS DEL ZN DEL SUELO PROMOVIDOS POR LA APLICACIÓN DE RESIDUOS AVIARES COMPOSTADOS.
Tysko, Mónica y Juan J. Loperfido.

C3P81. CONTRIBUCIÓN DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA A LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO SUCESOR
Uhaldegaray, Mauricio G.; Oderiz, Juan A.; Scherger, Eric D.; Frasier, Ileana; Fernández, Romina; Pérez, Micaela; Quiroga, Alberto, y Zalba, Pablo

C3P82. ¿EL RENDIMIENTO DE TRIGO Y MAIZ ES AFECTADO POR EL ENCALADO EN EL SUDESTE BONAERENSE?
Vacca, Santiago; Sainz Rozas, Hernán; Wyngaard, Nicolás; Reussi Calvo, Nahuel; Ehyerabide, Mercedes; Echeverría, Hernán y Barbieri, Pablo.

C3P83. UMBRALES DE NITRÓGENO EN SUELO PARA RENDIMIENTO Y PROTEÍNA EN GIRASOL
Vacca, Santiago; Diovisalvi, Natalia; Divito, Guillermo; Reussi Calvo, Nahuel, y Echeverría, Hernán.

C3P84. RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN CULTIVO DE RABANITO
Venegas Tarancón, Stefanía G.; Alegre Porto, Claudia Marcela; Bono, Carla Agustina; Bordato, María Sofía; Ottone Zaderej, Joaquín H.; Arias, María Laura y Villagra, Elizabeth L.

C3P85. EVALUACIÓN DE EFECTOS DE FERTILIZACIÓN CON BIOFERTILIZANTES EN CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.)
Venegas Tarancón, Stefanía G.; Villagra, Elizabeth L. y Ortiz, Nélida del V.

C3P86. INCIDENCIA DE LA FERTILIZACION FOSFATADA SOBRE EL RENDIMIENTO COMERCIAL DEL CULTIVO DE PAPA
Zamuner, Ester C.; Giletto, Claudia M.; Lattour, Kevin y Echeverría, Hernán E.

C3P87. MINERALIZACIÓN DE N APARENTE A ESCALA INTRAPARCELA
Zubillaga, M Mercedes; Di Beco, Eliana; Micheloud, José y Sanahuja, M. Eugenia

C3P88. USO DE SENTINEL Y LA FERTILIZACIÓN N EN MAÍZ TARDÍO A ESCALA INTRAPARCELA
Zubillaga, M Mercedes; Leanes, Lorenzo; Osinaga, Natalia y Pérez, Maximiliano

C3P1. INVASIÓN DE *LIGUSTRUM LUCIDUM* EN BOSQUES DE *CELTIS EHRENBERGIANA*: IMPACTO EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Abarca, Camila L.[1*]; Merani, Víctor H.[2]; Larrieu, Luciano[2]; Millán, Guillermo[2]; Barrera, Marcelo D[3].; Ferreri, Natalia[1] y Velazquez, María S.[1]

[1]Instituto de Botánica Spegazzini. Calle 53 477. La Plata. Argentina. [*]camila.abrc@gmail.com
[2]Centro de Investigaciones de Suelos para la Sustentatibilidad Agropecuaria y Forestal (CISSAF). CISAGUA FCAyF, UNLP. 60 y 119 La Plata, Argentina.
[3]LISEA- Facultad de Ciencias Naturales y Museo – Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP) Diagonal 113 Nro 469. La Plata, Argentina.

RESUMEN

Las invasiones de leñosas exóticas son actualmente una preocupación mundial debido a su impacto sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. La modificación de las características del suelo provocada por las especies invasoras puede generar condiciones aptas para el avance de la invasión y prevenir el re-establecimiento de las especies nativas.
El objetivo de este trabajo fue determinar y describir el efecto sobre las características físico químicas del suelo generado por la propagación de *Ligustrum lucidum* en los talares ubicados en el Partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires. El muestreo se llevó a cabo en sitios con tres situaciones con diferentes dominancias de las especies arbóreas: bosque de tala y coronillo, bosque de tala y coronillo con presencia de ligustro y bosque monoespecífico de ligustro. Se caracterizó la estructura de la vegetación arbórea y se tomaron muestras de suelo para su análisis. Los resultados mostraron diferencias significativas en el contenido de MO, N y P para las tres situaciones de vegetación, que exhibieron una tendencia decreciente en relación a la invasión de ligustro. Las causas de estas alteraciones podrían estar relacionadas con la calidad de la hojarasca de las diferentes especies y su productividad.

Palabras claves: talares, ligustro, fertilidad

INTRODUCCIÓN

Los talares son una subunidad de la eco-región del Espinal (Cabrera, 1949) y constituyen una fisonomía boscosa dominada por *Celtis ehrenbergiana* (Klotzsch) Liebm. (Celtidaceae) (tala) y *Scutia buxifolia* Reiss. (Rhamnaceae) (coronillo). Se distribuyen desde San Nicolás hasta Mar Chiquita por la ribera Platense y la costa Atlántica. En 1984 se declaró Reserva de Biosfera (MAB-UNESCO) a una faja costera de 26.000 ha entre las localidades de Magdalena y Pipinas (Cortéz *et. al*, 2009). Allí se encuentra la Reserva Natural El Destino. En esta zona se distinguen porciones de bosque en buen estado de conservación, sin embargo en algunos sectores el bosque presenta distinto grado de invasión por especies exóticas, principalmente ligustro (Ribichich & Protomastro 1998).

La especie arbórea *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton (Oleaceae) (ligustro) ha invadido numerosas regiones del mundo. En Argentina fue introducida a principios del siglo XX, utilizada principalmente como ornamental y en cercos vivos. Se convirtió en una invasora importante en Yungas del noroeste del país, sierras de Córdoba y en la provincia de Buenos Aires (Dascanio *et al.*, 1994; Zamora Nasca *et al.*, 2014). Se establece formando manchones densos, dominando todos los estratos (Haene *et al.*, 2003). En los talares, se establece y alcanza el estrato superior en un tiempo corto (alrededor de 10 años), y genera una cobertura continua que supera la altura máxima que alcanzan las especies nativas (10 a 12 m), provocando una mortalidad elevada (Plaza Behr *et al.*, 2016).

La modificación de las características químicas del suelo provocada por la invasión de especies vegetales, ha sido ampliamente documentada. La toma de nutrientes por parte de las plantas, así como los exudados radicales y la hojarasca que producen, determinan a largo plazo la retención de nutrientes y su ciclado (Weidenhamer & Callaway, 2010), alterando los ciclos de nutrientes en forma diferente a las especies nativas. Muchas plantas invasoras tienen gran área foliar, alta concentración de nutrientes foliares y una tasa de crecimiento superior a las nativas (Hughes & Denslow 2005; Hughes & Uowolo 2006; Kueffer *et al.*, 2008). En ecosistemas pobres en nutrientes, el aumento de la tasa de ciclado de nutrientes por parte de las exóticas puede jugar un rol importante en el éxito de la invasión (Enoky & Drake, 2017).

El objetivo de este trabajo fue analizar y cuantificar si se producen cambios en las características físico químicas del suelo por la invasión de de *Ligustrum lucidum* sobre en los talares ubicados en el Partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la estancia El Destino, ubicada en la Reserva de Biosfera "Parque Costero del Sur", entre las localidades de Magdalena y Punta Indio (provincia de Buenos Aires) (35°11' S, 57°17' O) en la Provincia de Buenos Aires. El clima de la región presenta una temperatura media anual entre 15 y 17 ºC. Los valores de precipitación varían entre 850 y 1065 mm anuales, con máximos de ocurrencia durante el otoño y la primavera.

Los talares están restringidos a las áreas de relieve constituidas por depósitos cuaternarios de valvas de moluscos marinos (conchilla). Estos depósitos forman cordones paralelos a la costa y alternan con áreas de relieve negativo, con suelos arcillosos (intercordones), cubiertas por pastizales anegables (Arturi, 1997). Este sistema conforma una subunidad geomorfológica denominada llanura con cordones de playa, dentro de la unidad geomorfológica llanura baja (Cavallotto, 1995). Los suelos que se desarrollan sobre los cordones se clasifican como Rendoles. Estos se elevan entre 1 y 2 m de altura respecto del nivel general del terreno. Presentan suelos bien drenados, cuyo perfil está poco desarrollado, con un horizonte A1 de 20 cm de profundidad y textura franca con presencia de fragmentos gruesos de conchilla (Sánchez *et al.*, 1976; Hurtado & Ferrer 1988).

Los bosques pueden estar dominados por *C. ehrenbergiana*, por *S. buxifolia* o presentar codominancia de ambas especies (Goya *et al.*, 1992). En Magdalena estas especies representan más del 90% de la densidad y el área basal de los bosques. Además de las especies dominantes pueden hallarse *Jodina rhombifolia* (Hook. & Arn.) Reissek, *Schinus longifolius* (Lindl.) Speg., *Sambucus australis* Cham. & Schltdl., *Phytolacca dioica* L.y *Acacia caven* Molina como especies acompañantes y también se destaca por la presencia de la exótica *L. lucidum.*

Muestreo

El muestreo se llevó a cabo sobre tres cordones que presentan un gradiente espacial en la proporción de *L. lucidum* en la estructura arbórea en dirección paralela al eje de los cordones (paralelos a la costa del Rio de la Plata). A lo largo de dicho gradiente se establecieron en una línea de transecta las unidades de muestreo de la estructura forestal y el suelo. Las unidades muestrales respresentaron tres situaciones con diferente proporción de las especies arbóreas: (1) bosque nativo de tala y coronillo, (2) bosque nativo con presencia de ligustro y (3) bosque monoespecífico de ligustro. En cada sitio se tomaron 5 submuestras de suelo de 0 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad, y se formó una muestra compuesta para cada profundidad. Las muestras se guardaron en bolsas de polietileno a 4ºC. En total se analizaron 18 muestras (3 situaciones de vegetación x 3 repeticiones x 2 profundidades).

Caracterización estructural de la comunidad arbórea

En cada sitio de muestreo se delimitaron parcelas cuadradas de 100 m^2 de superficie donde se describió estructuralmente la comunidad arbórea. Se registraron todos los individuos arbóreos presentes en cada parcela. Cada individuo se determinó a nivel de especie y se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP). Los individuos con un diámetro menor a 5 cm se registraron como renovales. Con estos datos se calculó para cada especie el área basal (m^2/ ha) y densidad (individuos/ha).

Análisis de suelo

Los análisis de suelo se realizaron en el laboratorio perteneciente a la Cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Variables químicas determinadas:

- pH actual (pH): relación suelo:H2O de 1:2,5, determinación potenciométrica (SAMLA, 1995).
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases de intercambio: Extracción con acetato de Amonio (NH4 COO-CH 3) 1N pH7 (SAMLA. SAGPyA, 2004), Determinación de CIC por destilación microKjeldahl, Calcio, (Ca^{++}) y Magnesio (Mg^{++}) por complejometria con EDTA (ácido etilen-diamino tetraacético) y Sodio (Na^{+}) y Potasio (K^{+}) por fotometría de llama.
- La CE fue determinada con un conductímetro digital marca Digicom modelo 2006, sobre extracto obtenido de una pasta saturada, de acuerdo con lo descripto en Rhoades (1999) y en el (SAMLA, SAGPyA, 2004).
- El fosforo (P) fue cuantificado por la metodología de Bray Kurtz Nº1 (IRAM-SAGPyA, 2010)

- El Carbon Orgánico fue cuantificado por la metodología de Walkley & Black (1934) y la Materia Orgánica (MO) multiplicando por el factor 1,724 x C (%).
- La determinación de Nitrógeno total (N) fue realizada por el método de (Kjeldhal) citada por Bremner & Mulvaney (1982).
- Las distintas fracciones texturales se determinaron usando el método del hidrómetro de Bouyoucos (1962).

Análisis estadístico

Los datos fueron procesados con Infostat versión 2016. La normalidad y homocedasticidad de varianzas para los datos de suelo fueron comprobadas con los tests de Shapiro-Wilks y Levene. Para determinar diferencias en las características edáficas entre las tres situaciones de vegetación los datos físico-químicos de suelo se sometieron a un ANOVA. Para las variables pH, CIC, CE, MO, P, K, Na, Mg, arena, limo y arcilla se realizó un ANOVA, mientras que para la variable N se utilizó un ANOVA no paramétrico Kruskal Wallis. Para aquellas determinaciones que mostraron diferencias significativas entre tratamientos se realizó un test a posteriori de Tukey. Se utilizó un nivel de significancia de α=0,1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura de la comunidad arbórea

En los sitios de bosque nativo (1) se registraron principalmente ejemplares de *C. ehrenbergiana, S. buxifolia* y *J. rhombifolia,* y escasos ejemplares de ligustro. En los sitios mixtos, con un estado de invasión intermedia (2), fueron relevados una mayor cantidad de ejemplares de ligustro sobre el de las especies nativas, tratándose en algunos casos de fustes muertos. En los sitios invadidos (3) se registró mayoritariamente ejemplares de ligustro, acompañados de escasos árboles nativos de gran porte y fustes muertos (Figuras 1 y 2).

Al analizar la densidad total de las especies arbóreas (*C. ehrenbergiana, S. buxifolia, J. rhombifolia* y *L. lucidum*) en los diferentes sitios, se registró que en el bosque nativo (sitio 1) esta fue significativamente menor que en los sitios invadidos (2 y 3) (P=0,0158). Plaza Behr *et al.* (2016) indicaron que una mayor tasa de regeneración de *L. lucidum* en comparación a las nativas provoca que se generen bosques más densos que los del talar nativo. El área basal total, sin embargo, no mostró diferencias entre sitios. En el bosque nativo el número de individuos fue menor que en los sitios invadidos pero los ejemplares registrados fueron de mayor tamaño. Figura 2.

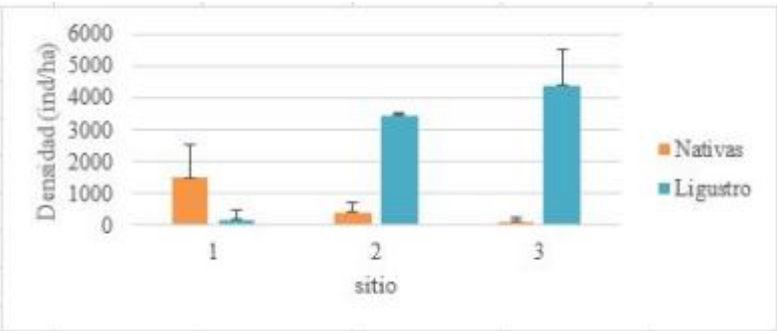


Figura 1: Densidad (individuos/hectárea) de árboles nativos (*Celtis ehrenbergiana, Scutia buxifolia* y *Jodina. rhombifolia*) y de *Ligustrum lucidum* en los tres sitios estudiados: bosque nativo (sitio 1), bosque mixto (sitio 2), bosque invadido (sitio 3).

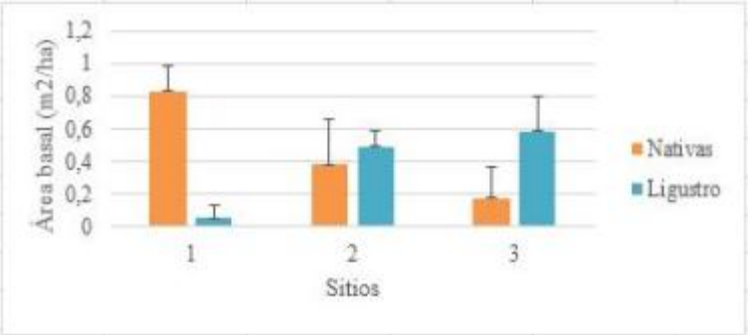


Figura 2: Área basal (m^2/hectárea) de árboles nativos (*Celtis ehrenbergiana, Scutia buxifolia* y *Jodina rhombifolia*) y de *Ligustrum lucidum* en los tres sitios estudiados: bosque nativo (sitio 1), bosque mixto (sitio 2), bosque invadido (sitio 3).

Propiedades del suelo

El análisis de suelo mostró que todos los sitios presentan características texturales similares, arena 83,8% ± 2,56, limo 11,9% ± 3,16, arcilla 4,05% ± 1,08, correspondientes a un suelo franco arenoso. Considerando que los sitios no presentaron diferencias en su composición textural, es posible inferir que las variaciones en las propiedades químicas se deben a las diferencias en la vegetación (Koutika et al., 2007).

Los análisis químicos mostraron pH alcalino, salinidad moderada a alta, CIC alta y una saturación fuerte de Ca^{+2} para todos los sitios (Tabla 1). Se encontraron diferencias significativas entre las tres situaciones de vegetación para el contenido de MO (P=0,0007), N (P=0,032) y P (P= 0,098), que mostraron una tendencia decreciente en relación a la invasión de ligustro (Figura 2).

El contenido de MO fue significativamente mayor en los sitios con vegetación nativa (sitio 1) y duplica al de los sitios con presencia de ligustro (sitios 2 y 3). Del mismo modo, el porcentaje de N es significativamente menor en los sitios con ligustro (sitios 2 y 3) que en los de bosque nativo (sitio 1). Figura 3.

Tabla 1: Análisis de suelo de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm de profundidad para tres situaciones contrastantes de vegetación

	Determinaciones	**Nativo**	**Mixto**	**Invadido**
0 a 20 cm	pH (1:1,25 suelo:agua)	7,62 ± 0,18	7,86 ± 0,30	7,66 ± 0,40
	CE (µS/m)	835,33 ± 159,20	784,33 ± 247,70	724,33 ± 238,11
	CIC (meq/100g de suelo)	21,2 ± 5,35	19,27 ± 4,05	24,23 ± 6,71
	MO (%)	8,04 ± 1,4	3,72 ± 0,09	3,61 ± 0,18
	Nt (%)	0,50 ± 0,01	0,27 ± 0,02	0,21 ± 0,01
	P asimilable (ppm P)	5,66 ± 0,58	3,67 ± 2,08	2,67 ± 1,15
	K^{+} (meq/100g de suelo)	2,10 ± 1,05	1,07 ± 0,01	3,70 ± 0,46
	Na^{+} (meq/100g de suelo)	0,47 ± 0,06	0,2 ± 0,1	0,50 ± 0,01
	Ca^{++} (meq/100g de suelo)	24,60 ± 6,46	27,23 ± 4,95	19,03 ± 10,11
	Mg^{++} (meq/100g de suelo)	10,83 ± 1,44	14,13 ± 1,44	13,4 ± 2,49
20 a 40 cm	pH(1:1,25 suelo:agua)	7,79 ± 0,12	8,01 ± 0,12	7,76 ± 0,35
	CE (µS/m)	382,33± 5,03	390,67± 50,87	616,67 ± 280,30
	CIC (meq/100g de suelo)	3,85 ± 0,41	3,33 ± 0,24	2,4 ± 0,10
	MO (%)	0,25 ± 0,01	0,35 ± 0,01	0,14 ± 0,00
	Nt (%)	0,14 ± 0,78	0,14 ± 0,64	0,50 ± 0,26
	K^{+} (meq/100g de suelo)	0,40 ± 1,73	0,37 ± 0,23	0,17 ± 0,06
	Na^{+} (meq/100g de suelo)	18,07 ± 2,35	23,30 ± 1,9	21,37 ± 1,37
	Ca^{++} (meq/100g de suelo)	13,77 ± 4,46	16,27 ± 3,61	10,03 ± 0,55
	Mg^{++} (meq/100g de suelo)	14,33 ± 1,12	14,30 ± 0,89	14,10 ± 2,07

La presencia de ligustro determinó una disminución en los contenidos de MO y N. Si bien en muchos ecosistemas el desarrollo de especies invasoras se ha correlacionado con un aumento en la tasa de descomposición de la hojarasca y de la mineralización de nitrógeno (Liao et al., 2008; Ashton et al. 2005; Feng et al. 2009), es posible que la hojarasca de ligustro tenga una tasa de descomposición menor que la de los árboles nativos del talar. Se han reportado casos de otras especies invasoras que concuerdan con estos resultados, como sucede con las herbáceas *Heracleum mantegazzianum* y *Fallopia japónica* (Koutika et al., 2007).

El contenido de P en el suelo fue significativamente mayor en el bosque nativo (sitio 1) que en aquellos con presencia de la invasora (sitios 2 y 3) (Fig. 3), mostrando la misma tendencia que la MO y el N. El contenido de P en el suelo es producto de la mineralización de MO. En nuestro estudio la abundancia de individuos fue mayor en los sitios 2 y 3, la toma y retención de P por parte de la vegetación por unidad de área en estos sitios sería la causa de la disminución de disponibilidad de este nutriente en el suelo. La reducción en la concentración de P extraíble en los sitios invadidos podría ser el resultado de una alta productividad de biomasa subterránea por parte del ligustro (Chapuis-Lardy et al., 2006; Dassonville et al., 2008).

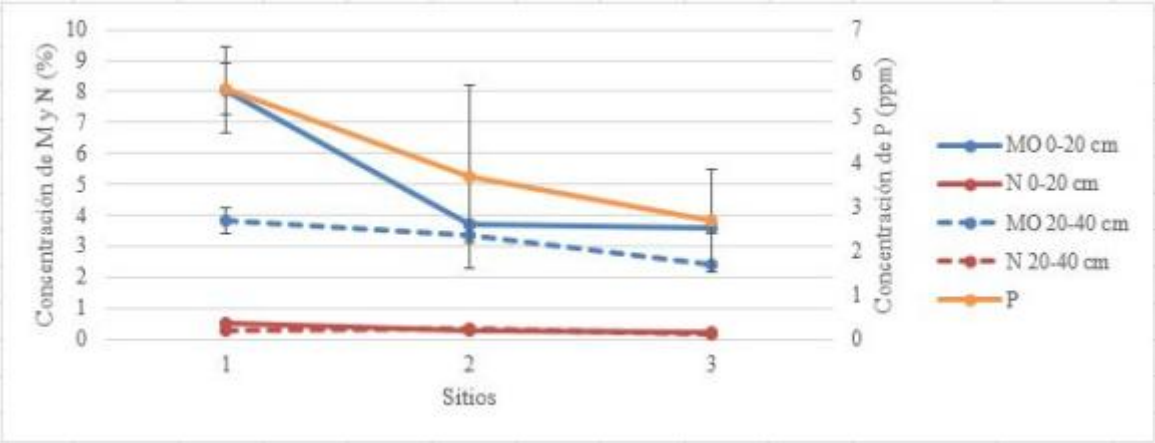


Figura 3. Concentración de P (ppm), MO y N (%) a lo largo del gradiente de vegetación arbórea.

El conjunto de cambios en el ecosistema provocado por las especies invasoras puede generar condiciones aptas para el avance de la invasión y prevenir el re-establecimiento de las especies nativas. Es importante destacar que los cambios en las propiedades edáficas causados por las plantas invasoras pueden estar relacionados con alteraciones en las comunidades microbianas del suelo, este aspecto debe ser profundizado en futuros estudios. La magnitud y dirección de estas alteraciones depende de las características de la especie invasora y las propiedades del suelo del ecosistema receptor (Stefanowicz et al. 2017)

CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra que la invasión de ligustro modifica las propiedades químicas del suelo, reduciendo el contenido de MO, N y P. Se requieren futuros estudios para determinar las causas de estos cambios, que podrían estar relacionadas con la composición de la hojarasca de la invasora, su tasa de caída y descomposición, la productividad subterránea, modificaciones en la microbiota del suelo o las variaciones estacionales en la toma de nutrientes.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 0677-Préstamo BID), CONICET y Universidad Nacional de La Plata (11/N 773).

BIBLIOGRAFÍA

- Arturi, MF. 1997. Regeneración de *Celtis tala* y su relación con el pastoreo, la cobertura herbácea y arbórea en el NE de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Ecología Austral 7: 3-12.
- Ashton, IW; Hyatt, LA; Howe, KM; Gurevitch, J & MT Lerdau. 2005. Invasive species accelerate decomposition and litter nitrogen loss in a mixed deciduous forest. Ecol. Appl. 15: 1263–1272.
- Bremner, JM & SC Mulvaney. 1982. Nitrogen total. In: Page, AL; Miller RH & DR Keeney (eds). Methods of Soil Analysis. Part II. Am. Soc. Agron. No 9 in Agronomy Series. Madison, Wisconsin. USA. pp: 595–624.
- Bouyoucos, GJ. 1962. Hydrometer method for making particle size analisis de soils. Agrom. Jor. 54:464-465.
- Cabrera, AL. 1949. Las comunidades vegetales de los alrededores de La Plata (Provincia de Buenos Aires, República Argentina). Lilloa 20: 269-376.
- Cavallotto, JL. 1995. Evolución de la costa del Río de La Plata. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.
- Chapuis-Lardy, L; Vanderhoeven, SO; Dassonville, N; Koutika LS; & P Meerts. 2006. Effect of the exotic invasive plant *Solidago gigantea* on soil phosphorus status. Biology and Fertility of Soils. 42(6): 481-489.
- Cortéz, MG; Pérez, CA; Pressuti, M & M Arturi. 2009. Cambios en la superficie boscosa y biomasa forrajera en los talares de Magdalena y Punta Indio. En: Athor, J (ed). Parque Costero del Sur: Magdalena y Punta Indio, provincia de Buenos Aires: naturaleza, conservación y patrimonio cultural. Pp 92-103. Fundación de historia Natural "Félix de Azara". Buenos Aires. 528.
- Dascanio, LM; Barrera, MD & JL Frangi, J.L. 1994. Biomass structure and dry matter dynamics of subtropical alluvial and exotic Ligustrum forests at the Río de la Plata, Argentina. Vegetatio 115: 61-76.

- Dassonville, N; Vanderhoeven, S; Vanparys, V; Hayez, M; Gruber, W & P Meerts. 2008. Impacts of alien invasive plants on soil nutrients are correlated with initial site conditions in NW Europe. Oecologia, 157(1): 131-140.
- Enoki, T & DR Drake. 2017. Alteration of soil properties by the invasive tree *Psidium cattleianum* along a precipitation gradient on O'ahu Island, Hawai'i. Plant Ecology 218(8): 947-955.
- Feng, Y; Lei, Y; Wang, R; Callaway, RM; Valiente-Banuet, A; Inderjit Li, Y & Y Zheng. 2009. Evolutionary tradeoffs for nitrogen allocation to photosynthesis versus cell walls in an invasive plant. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 106: 1853–1856.
- Goya, J; Placci, G; Arturi, M & A Brown. 1992. Distribución y características estructurales de los Talares de la Reserva de Biosfera "Parque costero del sur". Revista de la Facultad de Agronomía (La Plata) 68: 53-64.
- Haene, E; De Francesco, V; Ostrosky, C & A Di Giacomo. 2003. La Reserva Natural Otamendi, descripción general. Temas de Naturaleza y Conservación. Monografía de aves argentinas n° 3.
- Hughes RF & JS Denslow. 2005. Invasion by a N2-fixing tree alters function and structure in wet lowland forests of Hawaii. Ecol. Appl. 15: 1615–1628.
- Hughes RF & A Uowolo. 2006. Impacts of *Falcataria moluccana* invasion on decomposition in Hawaiian lowland wet forests: the importance of stand-level controls. Ecosystems 9: 977–991.
- Hurtado, M & JA. Ferrer. 1988. Guía de Campo de las Segundas Jornadas de Suelos de la Región Pampeana. La Plata, Argentina.
- IRAM-SAGyP. 2010. Norma 29570-1. Calidad ambiental. Calidad de suelo. Determinación de fósforo extraíble en suelos. Parte 1 – Método Bray Kurtz 1 modificado (Extracción con fluoruro de amonio ác. clorhídrico).
- IRAM-SAGyP 2004. Norma 29577-1. Calidad ambiental. Calidad de suelo. Determinación de capacidad de intercambio catiónico y cationes básicos intercambiables. Parte 1: extracción con acetato de amonio pH 7.
- Koutika, LS; Vanderhoeven, S; Chapuis-Lardy, L; Dassonville, N & P Meerts. 2007. Assessment of changes in soil organic matter after invasion by exotic plant species. Biology and Fertility of Soils 44(2): 331-341.
- Kueffer C; Klingler G; Zirfass K; Schumacher E; Edwards PJ & S Güsewell. 2008. Invasive trees show only weak potential to impact nutrient dynamics in phosphorus-poor tropical forests in the Seychelles. Funct Ecol 22: 359–366.
- Liao, C; Peng, R; Luo, Y; Zhou, X; Wu, X; Fang, C; Chen, J; & B Li. 2008. Altered ecosystem carbon and nitrogen cycles by plant invasion: a meta-analysis. New Phytol. 177: 706–714.
- Plaza Behrh, MC; Pérez, CA; Goya, JF; Azcona, M & MF Arturi. 2016. Plantación de *Celtis ehrenbergiana* como técnica de recuperación de bosques invadidos por *Ligustrum lucidum* en los talares del NE de Buenos Aires. Ecología austral. 26(2): 171-177.
- Ribichich, AM & J Protomastro. 1998. Woody vegetation structure of xeric forest stands under different edaphic site conditions and disturbance histories in the Biosphere Reserve Parque Costero del Sur, Argentina. Plant Ecology 139(2): 189-201.
- Rhoades, J, F Chanduvi, and S Lesch. 1999. Soil Salinity Assessment Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurements. Roma.
- SAMLA. 1995. Sistema de Apoyo Metodológico de Laboratorios de Análisis de Suelos y Aguas.
- Sánchez, O; Ferrer JA, Duymovich, OA & MA Hurtado. 1976. Estudio pedológico integral de los Partidos de Magdalena y Brandsen (Provincia de Buenos Aires). Anales del LEMIT Serie II N° 310, Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires.
- Stefanowicz, AM; Stanek, M; Nobis, M & S Zubek. 2017. Few effects of invasive plants *Reynoutria japonica*, *Rudbeckia laciniata* and *Solidago gigantea* on soil physical and chemical properties. Science of the Total Environment. 574: 938-946.
- Tricart, J. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida: base para los estudios edafológicos y agronómicos. Plan Mapa de Suelos de la Región Pampeana. XII Colección Científca del INTA. Buenos Aires.
- Walkley, A & IA Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29–38.
- Weidenhamer, JD & RM Callaway. 2010. Direct and indirect effects of invasive plants on soil chemistry and ecosystem function. Journal of chemical ecology. 36(1): 59-69.
- Zamora Nasca, L; Montti, L; Grau, R & L Paolini. 2014. Efectos de la invasión del ligustro, *Ligustrum lucidum*, en la dinámica hídrica de las Yungas del noroeste Argentino. Bosque 35(2): 195-205.

C3P2. CAÑA DE AZÚCAR: FERTILIZACIÓN NITROGENADA DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL

Alonso, Luis G.; Leggio Neme, M. Fernanda; Fernández González, Pablo E.; Quintana, Diego y Romero, Eduardo R.

Agronomía de Caña de Azúcar, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Av. William Cross 3150 – CP 4101. Las Talitas, Tucumán. lgalonso@eeaoc.org.ar

RESUMEN

La fertilización nitrogenada de la caña de azúcar en Tucumán - Argentina resulta una práctica fundamental para la obtención de cañaverales de alto rendimiento. El fertilizante nitrogenado más utilizado mundialmente es la urea (46% de Nitrógeno). Diferentes estudios demuestran que este fertilizante presenta grandes pérdidas de N por volatilización, lo que genera un impacto ambiental negativo (gases de efecto invernadero y acidificación, entre otros). Dichas pérdidas se minimizan cuando la urea es incorporada al suelo, práctica que resulta -energética y económicamente- muy costosa. Estudiar alternativas de menor impacto ambiental, que puedan aplicarse en superficie y que mantengan o mejoren los rendimientos, es un desafío importante en todo el mundo. El nitrato de amonio calcáreo (CAN) es un fertilizante que contiene N (27%) en dos formas químicas, nitrato y amonio, de rápida disponibilidad y bajo riesgo de volatilización. La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) junto a Yara Argentina han emprendido ensayos con CAN para la evaluación en caña de azúcar. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del CAN aplicado en superficie sobre el rendimiento cultural y fabril de la caña de azúcar. Se establecieron 10 ensayos en diferentes localidades del área cañera de Tucumán durante 2014, 2015 y 2016. Los tratamientos fueron: testigo sin fertilizar, urea incorporada en su dosis convencional (250 kg/ha = 115 kg N/ha), CAN 250 kg/ha (67 kg N/ha) y CAN 425 kg/ha (115 kg N/ha). El diseño experimental fue en bloques al azar con tres repeticiones. Las parcelas fueron de 480 m^2, constituidas por cuatro surcos de 75 m de largo y distanciados a 1,60 m. Los tratamientos se aplicaron con equipos para abonos sólidos de dos surcos, colocando el fertilizante en ambos costados del surco cuando estos fueron incorporados al suelo, y colocando las mangueras de los bajadores sobre la línea del surco cuando se aplicaron en superficie. Se realizó un análisis de la varianza de los resultados y un test de comparación de medias (LSD de Fisher, nivel de significancia 5%), utilizando el software InfoStat. Previo a la cosecha se evaluaron los parámetros de población y peso de tallos, con lo que se estimó el rendimiento cultural. Además, se evaluó la calidad de los jugos y se estimó el rendimiento fabril. Todos los tratamientos tuvieron un incremento significativo de los valores de rendimiento cultural con respecto al testigo sin fertilizar. Estos rondaron entre el 22 y 28%, pero no hubo diferencia significativa entre ellos. No se observaron efectos negativos de este fertilizante en la calidad del jugo de caña de azúcar y, en cuanto al rendimiento fabril, no hubo diferencias de los tratamientos con el testigo. Estos resultados demuestran la factibilidad del reemplazo de la urea por un fertilizante nitrogenado que logra rendimientos similares. Además, al hacerlo con una dosis menor de nitrógeno y permitir su aplicación sobre la superficie del suelo, sin necesidad de equipos de gran potencia, se transforma en una alternativa de menor impacto ambiental.

Palabras claves: nitrato de amonio calcáreo, urea, sustentabilidad.

C3P3. RESPUESTA A LA FERTILIZACION NITROGENADA EN TRIGO DEL SURESTE Y CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Álvarez, Lucila[1]; Pugliese, Guillermo[2]; Saks, Matías [2*] y Noellemeyer, Elke[1]

[1]Facultad de Agronomía, UNLPam, Santa Rosa L.P., CC 300.
[2]Bunge Argentina S.A.
[*]autor para correspondencia: matias.saks@bunge.com

RESUMEN

La introducción masiva de germoplasma de trigo con alto potencial de rendimiento aumentó la productividad de este cultivo, pero tuvo un efecto negativo sobre la calidad de grano. Entre las campañas 2007 y 2013 se realizaron 26 ensayos de fertilización localizados en tres áreas geográficas de la provincia de Buenos Aires denominadas centro norte, centro sur y Mar y Sierras. En cada sitio experimental se realizaron 13 tratamientos de fertilización, en donde se evaluaron 4 niveles de disponibilidad de Nitrógeno $(N)_{suelo + fertilizante}$ (0, 120, 160 y 200 kgs de N ha^{-1}), utilizando como fuente nitrogenada Urea y Solución liquida de Urea y Nitrato de Amonio (UAN). En cada tratamiento de fertilización nitrogenada en estadios de desarrollo Zadoks 39 se aplicó 30 kg de N ha^{-1}. El diseño utilizado fue en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones. En la zona Centro Norte los rendimientos promedio variaron entre un mínimo de 2,9 Mg ha^{-1} y un máximo de 4,8 Mg ha^{-1}; en la zona Centro Sur entre 3,5 Mg ha^{-1}y 5,3 Mg ha^{-1}; y en la zona de Mar y Sierras entre 4,7 Mg ha^{-1} y 6,5 Mg ha^{-1}. Por otra parte, se observa a nivel de región que existen diferencias significativas ($p<0,05$) entre el tratamiento testigo y el tratamiento de fertilización de 160 y 200 kg ha^{-1} de $N_{(suelo+fertilizante)}$, indicando que la mayor oferta de N permite incrementar el rendimiento de trigo. Los resultados mostraron que la productividad y el contenido de proteínas del cultivo de trigo fue afectada por la disponibilidad de nitrógeno, incidiendo positivamente la fuente UAN sobre el rendimiento de grano y el contenido de proteínas.

Palabras claves: rendimiento, nitrógeno foliar, contenido de proteínas

INTRODUCCIÓN

La introducción masiva de germoplasma de trigo con alto potencial de rendimiento aumentó la productividad de este cultivo, pero tuvo un efecto negativo sobre la calidad de grano. Esta tendencia fue notable en las últimas décadas no solamente en Argentina sino también en otros países como por ejemplo España (Sanchez-Garcia *et al.*, 2015). De ahí surge la necesidad de actualizar la información sobre las respuestas a la fertilización nitrogenada, ya que ésta varía en función del germoplasma, del clima y otros factores (Bakker *et al.*, 2005; Scian & Bouza, 2005). Resultados de estudios recientes muestran respuestas a la fertilización con Nitrógeno (N) y el efecto de la aplicación postergada de N foliar en contenido de proteínas (Varga & Svečnjak , 2006; Kichey *et al.*, 2007). Aparentemente se enfrenta el dilema de tener que elegir entre alto rendimiento o alta calidad en trigo. Esto induce a pensar si no es posible lograr altos rendimientos con alta calidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar la productividad y respuesta a la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de grano de trigo y contenido de proteínas en Molisoles del Suroeste y Sudeste Bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre las campañas 2007 y 2013 se realizaron 26 ensayos de fertilización localizados en tres áreas geográficas de la provincia de Buenos Aires denominadas centro norte, centro sur y Mar y Sierras. En cada sitio experimental se realizaron 13 tratamientos de fertilización, en donde se evaluaron 4 niveles de disponibilidad de $N_{suelo + fertilizante}$ (0, 120, 160 y 200 kgs de N ha^{-1}), utilizando como fuente nitrogenada Urea y Solución liquida de Urea y Nitrato de Amonio (UAN). En cada tratamiento de fertilización nitrogenada en estadios de desarrollo Zadoks 39 (Zadoks et al., 1974) se aplicó 30 kg de N ha^{-1}, utilizando como fuente solución de Urea líquida al 43 % de bajo biuret (<0,3%). El diseño utilizado fue en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones y la unidad experimental fue de 12 m^2 de superficie. En todos los sitios al momento de la siembra se aplicaron entre 18 y 25 kg de Fósforo ha^{-1}. En cada sitio, se extrajeron muestras de 0-20 cm para determinación de materia orgánica (Walkley & Black, 1934), Fósforo extractable (Bray & Kurtz, 1945) y pH en una relación suelo:agua (1:2,5) potenciométricamente con un electrodo de vidrio. El contenido de nitratos se determinó a tres profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm) con extracto acuoso con sulfato de calcio y determinación por colorimetría con ácido cromotrópico. En estadios de madurez fisiológica se determinó por cosecha manual (1,6 m^2) y trilladora estacionaria la producción de granos y el material fue molido para determinar el contenido de proteína (Kjeldahl). Las medias de las variables evaluadas se compararon a través de un análisis de la

varianza (ANOVA). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas ($p<0,05$) se utilizó la prueba de diferencias de medias. Además se analizó la asociación entre variables estableciendo la significancia estadística (Di Rienzo *et al.*, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimiento de trigo en la zona Mar y Sierras entre los años 2007 y 2013 variaron entre un máximo de 8 y un mínimo de 3,8 Mg ha^{-1}. Los rendimientos promedio de los testigos para cada localidad fueron 4,9 y 4,2 Mg ha^{-1} para Balcarce y Lobería respectivamente mientras que para Chapadmalal, Mar del Plata y Pieres se dispone de un solo año de datos, con valores de 6,3; 4,7 y 3,8 Mg ha^{-1} respectivamente.

En esta zona se encontró respuesta en rendimiento a la aplicación de 120 kg ha^{-1} de N en macollaje temprano, excepto en el año 2009 en Lobería. En general no hubo diferencias significativas entre la aplicación de 120 kg ha^{-1} y 160 kg ha^{-1} de N. En ningún caso se encontraron diferencias significativas en rendimiento con aplicaciones de 200 kg ha^{-1} de N. Por otro lado, se observó una tendencia a mayores rindes utilizando como fuente nitrogenada UAN.

Tabla 1: Rendimiento promedio de trigo (Mg ha^{-1}) a 3 dosis de fertilización nitrogenada (N 120, 160 y 200 kg ha^{-1}) y dos fuentes (urea y UAN) para cada localidad.

Localidad	T	120 N urea	120 N UAN	160 N urea	160 N UAN	200 N urea	200 N UAN
Lobería	4,2 b	4,6 c	4,7 c	4,9 c	5,0 b	5,0 b	5,2 b
Pieres	3,8 b	5,1 cb	5,1 cb	5,3 cb	5,4 b	5,5 b	5,7 b
Mar del Plata	4,7 ba	5,2 cba	5,4 cba	5,3 cb	5,4 b	5,5 b	5,6 b
Balcarce	4,9 ba	6,0 ab	6,2 ba	6,8 ba	7,0 a	7,1 a	7,3 a
Chapadmalal	6,3 a	7,1 a	7,2 a	7,6 a	7,8 a	7,9 a	8,0 a

Diferentes letras dentro de una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

Chapadmalal se destacó entre las diferentes localidades en la zona Mar y Sierras con mayores rendimientos para cada uno de los tratamientos, pero sin diferencias significativas con respecto a Balcarce y Mar del Plata hasta la dosis de 160 kg ha^{-1} de urea. A partir de la dosis de 160 kg ha^{-1} aplicado con UAN y en la dosis de 200 kg ha^{-1} con ambas fuentes de N se observó mores respuestas en las localidades de Lobería, Pieres y Mar del Plata, comparadas con Balcarce y Chapadmalal. Los rendimientos de trigo en la zona Centro Sur entre los año 2007 y 2013 variaron entre un máximo de 6,9 Mg ha^{-1} y un mínimo de 2,7 Mg ha^{-1} (Tabla 1). Los rendimientos promedio de los testigos fueron 3,4 Mg ha^{-1}, 3,9 Mg ha^{-1} y 3,2 Mg ha^{-1} para San Cayetano, Tres Arroyos y Coronel Suárez, respectivamente. Para Dorrego se dispone de un solo año de datos. Se encontró respuesta en rendimiento a la aplicación de 120 kg ha^{-1} de N en macollaje temprano en todos los casos excepto en 2007 en Dorrego y 2008 en Coronel Suárez. En general no hubo diferencias significativas entre la aplicación de 120 kg ha^{-1} y 160 kg ha^{-1} de N, excepto en 2010 en San Cayetano, Tres Arroyos y Coronel Suárez, y en 2011 en San Cayetano. No se encontraron diferencias significativas en rendimiento con aplicaciones de 200 kg ha^{-1} de N.

Se observó una tendencia a mayores rendimientos con la aplicación de UAN como fuente nitrogenada. Dentro de esta zona, Tres Arroyos fue la localidad dónde se observaron los mayores rendimientos en todos los tratamientos. (Tabla 2), que solamente en algunos casos fueron igualados en San Cayetano. Tanto Coronel Dorrego como también Coronel Suárez tuvieron rendimientos consistentemente menores.

Tabla 2: Rendimiento promedio de trigo (Mg ha^{-1}) a 3 dosis de fertilización nitrogenada (N 120, 160 y 200 kg ha^{-1}) y dos fuentes (urea y UAN) para cada localidad de la zona Centro Sur.

Localidad	T	120 N urea	120 N UAN	160 N urea	160 N UAN	200 N urea	200 N UAN
Coronel Dorrego	2,7 b	3,0 b	3,2 c	3,4 b	3,4 c	3,5 d	3,5 c
Coronel Suárez	3,2 b	3,6 b	3,8 c	4,1 b	4,2 c	4,4 c	4,5 b
San Cayetano	3,4 b	4,3 a	4,4 b	4,9 a	4,9 b	5,1 b	5,4 a
Tres Arroyos	3,9 a	4,7 a	4,9 a	5,3 a	5,5 a	5,7 a	5,9 a

Diferentes letras dentro de una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

Los rendimientos de trigo en la zona Centro Norte variaron entre un mínimo de 2,8 Mg ha^{-1} en el año 2012 en Saladillo y un máximo de 5,4 Mg ha^{-1} en el mismo año y localidad. Los rendimientos de los testigos fueron 3,1 Mg ha^{-1} para Bolívar en 2011 y 2,8 Mg ha^{-1} para Saladillo en 2012. Para los tratamientos con aplicación de N los rendimientos fueron significativamente mayores en Saladillo.

En el año 2012 en Saladillo se encontraron diferencias significativas en rendimiento entre los tratamientos con aplicaciones de 120 kg ha^{-1} y 160 kg ha^{-1} de N. No se encontraron diferencias significativas con la aplicación de 200 kg ha^{-1} de N. Al igual que en las otras zona, se observó una tendencia a mayores rendimientos con UAN, en el caso de los tratamientos donde se aplicaron 160 kg ha^{-1} de N. Cuando se compararon los rendimientos entre las dos localidades de esta zona, no se encontraron diferencias entre los testigos, pero Saladillo mostró mayores rendimientos que Bolívar para todos los tratamientos de fertilización (Tabla 3).

Tabla 3: Rendimiento promedio de trigo (Mg ha^{-1}) a 3 dosis de fertilización nitrogenada (N 120, 160 y 200 kg ha^{-1}) y dos fuentes (urea y UAN) para cada localidad.

Localidad	T	120 N urea	120 N UAN	160 N urea	160 N UAN	200 N urea	200 N UAN
Bolívar	3,1 a	3,5 b	3,6 b	3,8 b	3,9 b	4,0 b	4,2 b
Saladillo	2,8 a	4,1 a	4,2 a	4,9 a	5,0 a	5,4 a	5,4 a

Diferentes letras dentro de una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

La comparación del rendimiento y de la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en macollaje entre las tres zonas mostró que en la zona Mar y Sierras se hallaron rendimientos promedio significativamente mayores, mientras que entre las otras dos zonas las diferencias no fueron significativas (Tabla 4).

Tabla 4: Rendimiento promedio de trigo (Mg ha^{-1}) a 3 dosis de fertilización nitrogenada (N 120, 160 y 200 kg ha^{-1}) y dos fuentes (urea y UAN) para cada zona.

Zona	T	120 N urea	120 N UAN	160 N urea	160 N UAN	200 N urea	200 N UAN
Centro Norte	2,9 b	3,8A b	3,9A b	4,3 Ab	4,5A b	4,7 Ab	4,8A b
Centro Sur	3,5A b	4,2AB b	4,4ABC b	4,8BC b	4,9BC b	5,1BC b	5,3C b
Mar y Sierras	4,7A a	5,6A a	5,7A a	6,1A a	6,2A a	6,3A a	6,5A a
Region	4,0 A	4,8 AB	4,9 AB	5,3 B	5,4 B	5,6 B	5,8 B

Diferentes letras dentro de una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

En la zona Centro Norte los rendimientos promedio variaron entre un mínimo de 2,9 Mg ha^{-1} y un máximo de 4,8 Mg ha^{-1}; en la zona Centro Sur entre 3,5 Mg ha^{-1}y 5,3 Mg ha^{-1}; y en la zona de Mar y Sierras entre 4,7 Mg ha^{-1} y 6,5 Mg ha^{-1}. Por otra parte, se observa a nivel de región que existen diferencias significativas ($p<0,05$) entre el tratamiento testigo y el tratamiento de fertilización de 160 y 200 kg ha^{-1} de $N_{(suelo+fertilizante)}$, indicando que la mayor oferta de N permite incrementar el rendimiento de trigo no existiendo diferencias por la fuente de N utilizada.

En la zona de Mar y Sierras no se encontró respuesta en rendimiento a la aplicación postergada de 30 kg ha^{-1} de N Foliarsol en estado de HB (Tabla), excepto en casos aislados como en el año 2011 en Balcarce, donde se observaron diferencias significativas sólo con dosis basales de 120 kg ha^{-1} de N en macollaje temprano.

Tabla 5: Rendimiento promedio de trigo (Mg ha^{-1}) con fertilización foliar postergada en estado de HB (N 30 kg ha^{-1} Foliarsol) a 3 dosis basales de fertilización nitrogenada (N 120, 160 y 200 kg ha^{-1}) y dos fuentes (urea y UAN) para cada localidad de la zona Mar y Sierras.

Tratamiento	Balcarce			Lobería		Mar del Plata	Pieres
	2007	2010	2011	2008	2009	2009	2007
T	3,7 b	7,5 b	4,6 c	3,7 b	3,4 a	4,7 b	3,8 b
120 urea	5,1 a	9,2 a	5,5 b	4,3 a	3,7 a	5,2 a	5,1 a
120 urea + 30 N Foliarsol	5,2 a	9,7 a	6,0 a	4,4 a	3,7 a	5,3 a	5,2 a
120 UAN	5,1 a	9,3 a	5,6 b	4,4 ba	3,8 a	5,3 a	5,1 a
120 UAN + 30 N Foliarsol	5,3 a	9,8 a	6,2 a	4,6 a	3,9 a	5,4 a	5,3 a
160 urea	5,4 a	9,9 a	6,5 a	4,5 a	4,0 a	5,3 a	5,3 a
160 urea + 30 N Foliarsol	5,6 a	10,0 a	6,8 a	4,5 a	4,1 a	5,4 a	5,6 a
160 UAN	5,6 a	10,0 a	6,7 a	4,5 a	4,2 a	5,4 a	5,4 a
160 UAN + 30 N Foliarsol	5,7 a	10,1 a	6,9 a	4,5 a	4,2 a	5,4 a	5,5 a
200 urea	5,6 a	10,1 a	6,9 a	4,5 a	4,2 a	5,5 a	5,5 a
200 urea + 30 N Foliarsol	5,6 a	10,2 a	6,9 a	4,5 a	4,2 a	5,5 a	5,6 a
200 UAN	5,7 a	10,3 a	6,9 a	4,5 a	4,3 a	5,6 a	5,7 a
200 UAN + 30 N Foliarsol	5,7 a	10,3 a	7,0 a	4,6 a	4,3 a	5,6 a	5,8 a

Diferentes letras dentro de una misma columna indican diferencias significativas (p<0,05).

En la zona Centro Sur, en general, no se encontró respuesta en rendimiento a la aplicación postergada de 30 kg ha-1 de N Foliarsol (Tabla 6). Se observaron casos aislados como en el año 2010 en San Cayetano, donde hubo diferencias significativas cuando se aplicaban dosis basales de 120 kg ha-1 y 160 kg ha-1de N (UAN) en macollaje temprano. También se hallaron diferencias significativas para dosis basales de 120 kg ha-1 de N como urea en macollaje temprano. En el año 2010 en Coronel Suárez, de la misma manera se encontraron diferencias significativas para dosis basales de 120 kg ha-1 de N proveniente de ambas fuentes (UAN y urea) en macollaje temprano.

Tabla 6: Rendimiento promedio de trigo (Mg ha^{-1}) con fertilización foliar postergada en estado de HB (N 30 kg ha^{-1} Foliarsol) a 3 dosis basales de fertilización nitrogenada (N 120, 160 y 200 kg ha^{-1}) y dos fuentes (urea y UAN) para cada localidad de la zona Centro Sur.

Tratamiento	San Cayetano			Dorrego	Tres Arroyos				Coronel Suárez		
	2007	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011	2007	2008	2010
T	2,7 b	4,1 b	3,3 c	2,7 a	3,8 b	4,1 b	4,2 b	2,8 b	3,1 a	3,0 b	3,6 c
120 urea	3,7 a	5,1 a	4,0 b	3,0 a	4,5 a	5,0 a	5,3 a	3,6 a	3,7 a	3,2 ab	4,0 b
120 urea + 30 N Foliarsol	4,0 a	5,6 a	4,5 a	3,1 a	4,7 a	5,4 a	5,8 a	3,9 a	3,8 a	3,5 a	4,3 a
120 UAN	3,9 a	5,1 a	4,2 a	3,2 a	4,6 a	5,2 a	5,5 a	3,7 a	3,9 a	3,3 a	4,0 b
120 UAN + 30 N Foliarsol	4,0 a	5,8 a	4,7 a	3,4 a	4,8 a	5,6 a	5,9 a	4,0 a	4,2 a	3,5 a	4,3 a
160 urea	4,0 a	5,8 a	4,8 a	3,4 a	4,8 a	5,8 a	6,2 a	4,1 a	4,3 a	3,4 a	4,4 a
160 urea + 30 N Foliarsol	4,0 a	6,3 a	5,2 a	3,4 a	5,0 a	6,2 a	6,4 a	4,3 a	4,5 a	3,5 a	4,7 a
160 UAN	4,0 a	5,9 a	5,0 a	3,4 a	4,9 a	5,9 a	6,5 a	4,3 a	4,5 a	4,3 a	4,5 a
160 UAN + 30 N Foliarsol	4,1 a	6,5 a	5,4 a	3,5 a	5,0 a	6,4 a	6,6 a	4,4 a	4,8 a	3,6 a	4,9 a
200 urea	4,0 a	6,2 a	5,2 a	3,4 a	5,1 a	6,3 a	6,8 a	4,5 a	4,7 a	3,6 a	4,8 a
200 urea + 30 N Foliarsol	4,3 a	6,5 a	5,4 a	3,5 a	5,1 a	6,4 a	6,9 a	4,6 a	4,8 a	3, 7 a	4,8 a
200 UAN	4,3 a	6,3 a	5,5 a	3,5 a	5,2 a	6,5 a	6,9 a	4,8 a	4,9 a	3,7 a	5,0 a
200 UAN + 30 N Foliarsol	4,3 a	6,6 a	5,6 a	3,5 a	5,2 a	6,7 a	7,0 a	4,8 a	5,1 a	3,7 a	5,0 a

Diferentes letras dentro de una misma columna indican diferencias significativas (p<0,05).

En la zona Centro Norte se contó sólo con datos de Bolívar en el año 2011, donde no se encontró respuesta en rendimiento a la aplicación postergada de 30 kg ha^{-1}de N (Datos no presentados). Los casos aislados de respuesta en rendimiento a la aplicación postergada de 30 kg ha^{-1} de N (Foliarsol), en general se observaron a bajas dosis de N basales en macollaje. En la zona de Mar y Sierras, en general, se encontró respuesta en el porcentaje de proteína en grano con la aplicación extra de 30 kg ha^{-1} de N Foliarsol (Tabla 7), exceptuando los años 2007 en Balcarce y 2011 en la misma localidad para los casos en que se aplicaron dosis basales de 120 kg ha^{-1}de N (urea) y 160 kg ha^{-1} de N (urea y UAN) en macollaje temprano. El porcentaje más bajo de proteína fue de 7,33% y el valor más alto de 12,40%.

Tabla 7: Proteína en grano (%) con fertilización foliar postergada en estado de HB (N 30 kg ha^{-1} Foliarsol) a 3 dosis basales de fertilización nitrogenada (N 120, 160 y 200 kg ha^{-1}) y dos fuentes (urea y UAN) para cada localidad de la zona Mar y Sierras.

Tratamiento	Balcarce			Pieres
	2007	2010	2011	2007
T	9,38 b	8,33 c	7,33 c	8,85 b
120 urea	10,63 a	8,80 b	8,08 b	9,33 b
120 urea + 30 N Foliarsol	10,68 a	9,55 a	8,90 a	10,43 a
120 UAN	10,48 a	8,85 b	8,38 a	9,58 b
120 UAN + 30 N Foliarsol	10,93 a	9,70 a	8,95 a	10,60 a
160 urea	10,95 a	9,40 b	9,13 a	10,60 b
160 urea + 30 N Foliarsol	11,43 a	10,10 a	9,38 a	11,48 a
160 UAN	11,30 a	9,45 b	8,80 a	10,58 b
160 UAN + 30 N Foliarsol	11,48 a	10,10 a	9,45 a	11,73 a
200 urea	11,50 a	10,15 b	9,28 b	11,40 b
200 urea + 30 N Foliarsol	12,20 a	10,68 a	10,28 a	12,40 a
200 UAN	11,43 a	10,13 b	9,33 b	11,28 b
200 UAN + 30 N Foliarsol	12,23 a	10,78 a	10,40 a	12,33 a

Diferentes letras dentro de una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

En la zona Centro Sur, se encontró respuesta en el porcentaje de proteína en grano con la aplicación postergada de 30 kg ha^{-1} de N Foliarsol, excepto en algunos casos (Tabla 8). Los valores de proteína en grano variaron en un amplio rango entre un mínimo de 8,43% a un máximo de 15,20%.

En la zona Centro Norte sólo se contó con datos del año 2011 en Bolívar, donde también se encontró respuesta en el porcentaje de proteína en grano con la aplicación de 30 kg ha^{-1} de N Foliarsol en HB, para las tres dosis basales de N (datos no presentados).

Tabla 8: Proteína en grano (%) con fertilización foliar postergada en estado de HB (N 30 kg ha^{-1} Foliarsol) a 3 dosis basales de fertilización nitrogenada (N 120, 160 y 200 kg ha^{-1}) y dos fuentes (urea y UAN) para cada localidad de la zona Centro Sur.

Tratamiento	San Cayetano			Dorrego	Tres Arroyos		Coronel Suárez		Bolívar
	2007	2010	2011	2007	2010	2011	2007	2010	2011
T	9,40 b	9,90 b	8,43 b	9,80 c	8,65 b	8,93 c	10,38 a	9,11 c	9,38 b
120 urea	10,68 a	10,20 b	8,58 ba	11,88 b	8,70 b	9,65 b	10,60 a	9,50 b	9,58 b
120 urea + 30 N Foliarsol	10,85 a	11,05 a	9,03 a	12,85 a	9,68 a	10,85 a	11,08 a	10,30 a	10,03 a
120 UAN	10,78 a	10,28 b	8,73 b	12,23 a	8,80 b	9,60 b	10,69 ba	9,56 b	9,78 b
120 UAN + 30 N Foliarsol	11,23 a	11,55 a	9,38 a	12,30 a	9,78 a	10,83 a	10,88 a	10,63 a	10,45 a
160 urea	11,50 b	10,90 b	8,93 b	13,53 b	9,78 b	10,73 b	11,03 a	10,15 b	10,15 b
160 urea + 30 N Foliarsol	12,43 a	11,63 a	9,73 a	14,40 a	10,65 a	11,55 a	11,43 a	10,86 a	10,80 a
160 UAN	11,35 b	11,05 b	9,23 a	13,63 b	9,68 a	10,80 b	11,53 a	10,25 b	10,38 b
160 UAN + 30 N Foliarsol	12,70 a	11,70 a	9,80 a	14,45 a	10,25 a	11,23 a	11,63 a	10,90 a	10,93 a
200 urea	12,48 a	11,50 a	9,53 b	14,25 b	10,45 a	11,30 b	11,78 b	10,83 a	10,83 b
200 urea + 30 N Foliarsol	13,20 a	12,15 a	10,13 a	15,20 a	11,00 a	11,85 a	12,43 a	11,41 a	11,40 a
200 UAN	12,70 b	11,65 a	9,88 b	14,23 b	10,20 a	11,35 b	12,30 a	10,89 b	10,90 b
200 UAN + 30 N Foliarsol	13,65 a	12,48 a	10,35 a	15,15 a	10,98 a	12,33 a	12,35 a	11,63 a	11,53 a

Diferentes letras dentro de una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que la productividad y el contenido de proteínas del cultivo de trigo fue afectada por la disponibilidad de nitrógeno. La fuente nitrogenada UAN incidió positivamente sobre el rendimiento de grano y el contenido de proteínas. Por lo expuesto, deberá realizarse un estudio integrado a fin de considerar además de aspectos productivos y de calidad, aspectos relacionados al genotipo que permitan elaborar estrategias de manejo tendientes a mejorar la eficiencia y captura de nitrógeno.

BIBLIOGRAFÍA

- Bakker, MM; G Govers; F Ewert; M Rounsevell & R Jones. 2005. Variability in regional wheat yields as a function of climate, soil and economic variables: Assessing the risk of confounding. Agric. Ecosyst. Environ. 110: 195-209.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soil. Soil Sci. 134: 376-380.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Roblado. 2009. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Kichey, T; B Hirel; E Heumez; F Dubois & J Le Gouis. 2007. In winter wheat (Triticum aestivum L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilisation to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. F. Crop. Res. 102: 22–32.
- Sanchez-Garcia, M; F Álvaro; A Peremarti; JA Martín-Sánchez & C Royo. 2015. Changes in bread-making quality attributes of bread wheat varieties cultivated in Spain during the 20th century. Eur. J. Agron. 63: 79–88.
- Scian, B & M Bouza. 2005. Environmental variables related to wheat yields in the semiarid pampa region of Argentina. J. Arid Environ. 61: 669–679.
- Varga, B & Z Svečnjak. 2006. The effect of late-season urea spraying on grain yield and quality of winter wheat cultivars under low and high basal nitrogen fertilization. F. Crop. Res. 96: 125–132.
- Walkley, A. & A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29–37.
- Zadoks, JC; TT Chang & CF Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 14: 415–421.

C3P4. EL USO DEL SUELO AFECTÓ MÁS AL FÓSFORO INORGÁNICO QUE AL ORGÁNICO EN LA REGIÓN PAMPEANA

Alvarez, Roberto[1,2]; Daniela, Gangi[1]; Caffaro, María[1,2], Molina, Cecilia[1,2] y Berhongaray, Gonzalo[2,3].

1: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453 (1417). Buenos Aires, Argentina. 2: CONICET. 3: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral. Kreder 8305 (3080). Esperanza, Argentina. ralvarez@agro.uba.ar

RESUMEN

Los efectos del uso del suelo sobre los stocks de fósforo total han sido evaluados en la Región Pampeana, determinándose que la agricultura redujo los mismos en un 15%. Nuestro objetivo fue establecer qué efectos tiene el uso del suelo y en especial la agricultura, sobre los stocks de fósforo orgánico (P-orgánico) e inorgánico (P-inorgánico). Se determinó estas variables en muestras provenientes de un relevamiento regional en el que se relevaron 386 sitios distribuidos en la región bajo diferentes usos. Los suelos se muestrearon por estratos hasta 1m y las concentraciones se transformaron a masas de fósforo usando la densidad aparente. El P-orgánico y el P-inorgánico (0-1m) fueron poco afectados por el uso no encontrándose diferencias significativas entre tratamientos. En cambio, el efecto de la agricultura sobre los stocks de fósforo fue claro en el estrato 0-25 cm. En éste, el P-inorgánico decreció en un 27% respecto de los controles no cultivados mientras que el P-orgánico decreció en algunos casos y no en otros. Las relaciones P-orgánico/P-inorgánico y carbono orgánico/P-orgánico decrecieron con la profundidad, sin diferencias entre usos. Los resultados indican que el impacto de la agricultura en la Región Pampeana ha sido mayor sobre los pooles inorgánicos del fósforo del suelo que sobre los orgánicos y solo detectable en la capa superficial del perfil.

Palabras claves: Fósforo del suelo, efecto agricultura, estratificación del fósforo, relación C/P

INTRODUCCIÓN

Algunos trabajos locales han mostrado el impacto de la agricultura (Buschiazzo *et al.*, 2000) o el manejo (Galantini & Rossell, 1997) sobre los pooles de fósforo del suelo en la Región Pampeana, pero no se ha hecho una evaluación regional del efecto de diferentes usos sobre los stocks de fósforo orgánico (P-orgánico) e inorgánico (P-inorgánico). Sobre la base de un muestreo extensivo reciente se ha estimado que el stock de fósforo total decreció en un 15% debido al uso agrícola (Alvarez *et al.*, 2016) y que la fracción extractable lo hizo mucho más, alrededor de 66% (Alvarez *et al.*, 2013). Nuestro objetivo fue determinar qué efectos tuvo el uso del suelo sobre los stocks de P-orgánico y P-inorgánico en la región con especial énfasis en el efecto del cultivo de los suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestrearon, entre 2007 y 2008, 386 sitios bajo diferentes usos del suelo, distribuidos en la Región Pampeana. Puede encontrarse una descripción completa de la ubicación de los sitios, del muestreo y de los métodos experimentales usados en Berhongaray *et al*. (2013). Se tomaron muestras de suelos bajo arboledas, suelos nunca cultivados bajo vegetación herbácea, suelos agrícolas en la fase pastura y en la fase agrícola de la rotación y suelos hidromórficos. Las muestras se tomaron cada 25 cm hasta 1m de profundidad o hasta la tosca, cuando estaba presente, y se hizo una caracterización edáfica general de las muestras (n= 1456). El contenido de fósforo total fue determinado por digestión con ácido perclórico (Kuo, 1996) y cuantificación colorimétrica del fósforo (Murphy & Riley, 1962). El P-orgánico se analizó por calcinación, calculando el P-inorgánico por diferencia entre el fósforo total y el P-orgánico (Kuo, 1996). Datos de carbono orgánico de las mismas muestras se tomaron de (Berhongaray *et al.*, 2013). Los resultados se expresaron en forma areal usando la densidad aparente de cada muestra para la transformación de concentración a masa. Las relaciones entre fracciones y elementos se calcularon en masa.

El perfil de estratificación del fósforo se modelizó usando una función potencial ajustada a las masas acumuladas en profundidad usando un modelo potencial (Berhongaray *et al.*, 2013):

$P = a\,x^b$ donde:

P = masa de fósforo a la profundidad x (m).

a = masa de fósforo a 1m de profundidad (kg ha^{-1}).
b = curvatura de la función.

Para la comparación del efecto tratamiento entre usos del suelo se transformaron los datos por la falta de normalidad usando Box-Cox. Los datos se analizaron usando modelos mixtos (Littell *et al.*, 1998) tomando el uso del suelo como un efecto fijo (P<0.05) y el campo como aleatorio. También se probaron modelos más complejos usando variables de clima y suelo como covariables y se testeó el efecto de la profundidad anidándola dentro del tratamiento debido a la falta de independencia de muestras tomadas a diferentes profundidades en cada perfil. Se usó el software Statistica (StatSoft, Inc.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los niveles de P-orgánico se vieron poco afectados por el uso del suelo (Figura 1). Los suelos hidromórficos tenían menos P-orgánico que los suelos bien drenados, pero entre éstos en general no se detectaron diferencias en la mayoría de los estratos de profundidad. Los stocks acumulados a 1m fueron menores en suelos hidromórficos respecto de los otros usos. En cambio, el P-inorgánico difirió marcadamente entre usos (Figura 1). En el estrato 0-25 cm los suelos agrícolas tenían entre 23% y 32% menos P-inorgánico que los controles no cultivados mientras que para el estrato 0-1m la caída de P-inorgánico por uso agrícola fue de aproximadamente un 15%, aunque no significativa.

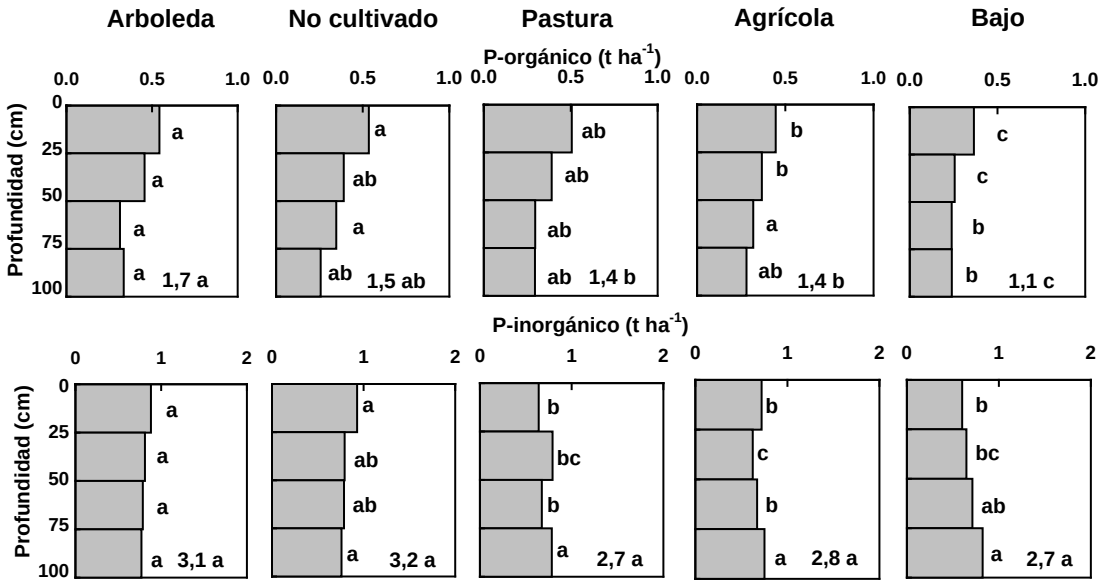


Figura 1: Stocks de P-orgánico y P-inorgánico de los suelos pampeanos según su uso. Barras seguidas de la misma letra a una profundidad dada no difieren a P< 0.05. Los números inferiores dentro de cada panel representan la masa acumulada de fósforo a 1m de profundidad.

El P-orgánico estaba marcadamente estratificado mientras que el P-inorgánico no lo estaba, pero en ambos casos el modelo potencial describía muy bien los perfiles de fósforo (Tabla 1). Entre usos del suelo no hubo diferencias significativas en la pendiente del modelo indicando que la estratificación del fósforo no era dependiente del uso del suelo.

Tabla 1: Performance del modelo potencial para describir la estratificación de P-orgánico y P-inorgánico. Letras iguales en una fila indican falta de diferencias significativas entre usos del suelo.

		Arboleda	No cultivado	Pastura	Agrícola	Bajo
P-orgánico	Casos con ajuste significativo (%)	100	100	100	100	100
	Coef. b	0.791 a	0.802 a	0.806 a	0.902 a	0.858 a
	R^2 mínimo	0.960	0.940	0.935	0.983	0.962
P-inorgánico	Casos con ajuste significativo (%)	100	100	100	100	100
	Coef. b	1.08 a	0.995 a	1.19 a	1.21 a	1.21 a
	R^2 mínimo	0.971	0.945	0.971	0.917	0.970

Como consecuencia de la diferente estratificación de los pooles de fósforo, la relación P-orgánico/P-inorgánico decreció fuertemente con la profundidad. En el estrato superficial el P-orgánico representaba alrededor del 50% del total de fósforo del suelo con bajo impacto sobre esta proporción del uso del suelo (Figura 2). En profundidad la misma decreció a un tercio. Para el estrato 0-1m el P-orgánico representaba un 40% del fósforo total en promedio de todos los usos, siendo menor esta proporción para suelos hidromórficos en algunos estratos. También la relación carbono orgánico/P/orgánico decreció con la profundidad pero no estuvo impactada por el uso indicando una composición similar de la materia orgánica entre tratamientos (Figura 2) y un enriquecimiento en fósforo de la materia orgánica del suelo con la profundidad.

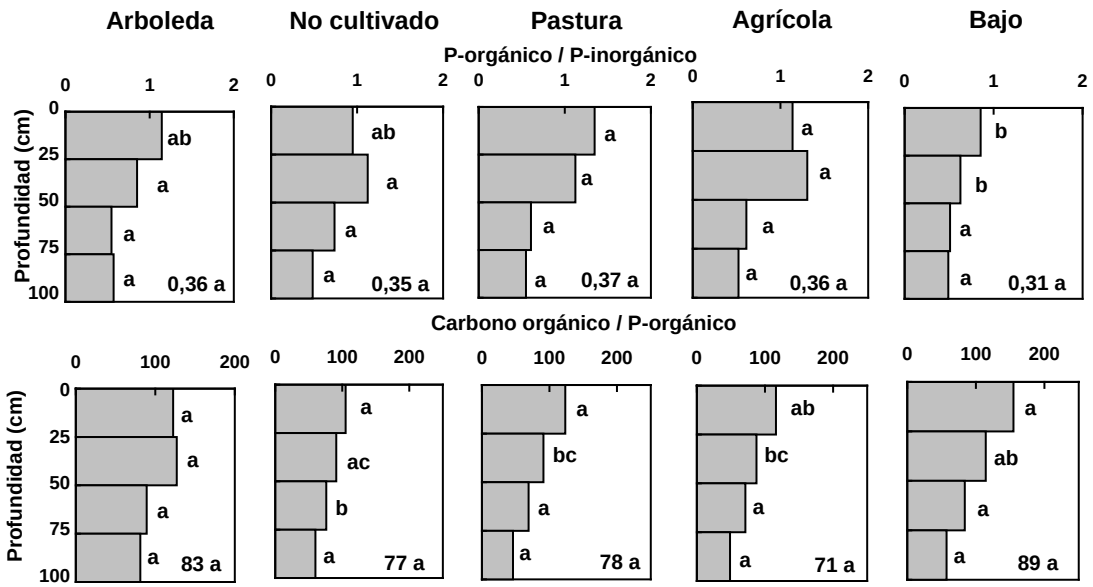


Figura 2: Relaciones P-orgánico/P-inorgánico y carbono orgánico/P/orgánico de los suelos pampeanos bajos usos diferentes. Barras seguidas de la misma letra a una profundidad dada no difieren a P< 0.05. Los números inferiores dentro de cada panel representan la masa acumulada de fósforo a 1m de profundidad.

CONCLUSIONES

En la Región Pampeana la actividad agrícola ha afectado principalmente el stock de P-inorgánico de los suelos. El stock de P-orgánico ha sido muy poco modificado por esta actividad. Tampoco las relaciones P-orgánico/P-inorgánico y carbono orgánico/P-orgánico han sido afectadas por el uso a nivel local.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue subsidiado por la Universidad de Buenos Aires (Proyecto 20020130100484BA) y CONICET (Proyecto 084, programación 2014-2016).

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R.; HS Steinbach; G Berhongaray & R Cantet. 2013. Cambios en los niveles de fósforo extractable de los suelos pampeanos por el uso. Actas Simposio Fertilizar 2013, pág. 146-150.
- Alvarez, R., HS Steinbach; MM Caffaro; CD Molina; G Berhongaray; JL De Paepe; C Caride; MR Mendoza & R Cantet. 2016. Cambios en los flujos y stocks de fósforo de los suelos pampeanos asociados al uso. Actas XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 14 pág.
- Berhongaray, G.; R Alvarez; J De Paepe; C Caride & R Cantet. 2013. Land use effects on soil carbon in the Argentine Pampas. Geoderma 192: 97-110.
- Buschiazzo, D.E.; GG Hevia; AM Urioste & EN Hepper. 2000 .Cultivation effects on phosphate forms and sorption in loess-soils of Argentina. Soil Sci. 165, 427-436.
- Galantini, J.A. & RA Rossell. 1997. Organic fractions, N, P and S changes in an Argentine semiarid Haplustoll under different crop sequences. Soil Till. Res. 42, 221-228.

- Kuo, S. 1996. Chapter 32. Phosphorus. En: Methods of Soil Analysis. Soil Sci. Soc. Am. Book Series 5; Part. 3-Chemical Methods. Madison; Wisconsin; USA. Pp. 869-919
- Littell, R,C; PC Henry & CB Ammerman. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. J. Anim. Sci. 76:1216-1231.
- Murphy, J. & JP Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta 27, 31-36.

C1P5. MODELIZACIÓN DEL IMPACTO DE LA COSECHA DE RASTROJO SOBRE EL CARBONO ORGÁNICO DE SUELOS PAMPEANOS

Alvarez, Roberto[1,2] y De Paepe[1,2], Josefina L.

[1]Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453 (1417). Buenos Aires, Argentina.[2]CONICET. ralvarez@agro.uba.ar

RESUMEN

Nuestro objetivo fue estimar qué impacto tendrá la cosecha de rastrojos de cultivos agrícolas para generar biocombustibles o electricidad sobre los niveles de carbono orgánico de suelos de la Pampa Ondulada y la Región Semiárida. Se usó para ello una metodología de balance de carbono basada en redes neuronales artificiales. Para estas subregiones se generaron escenarios contrastantes de carbono en el suelo usando un mapa actual de carbono orgánico y se construyeron rotaciones sobre la base de datos estadísticos de superficie cultivada con los principales cultivos. También se estimaron rendimientos medios usando esos datos. La metodología de redes neuronales permitía estimar el aporte de carbono al suelo en residuos de cultivos y la respiración heterotrófica, calculando el balance de carbono anual como la diferencia entre ambos. El modelo se corrió para cada nivel de aporte de residuos hasta que el carbono llegara al equilibrio. Se modelaron rotaciones actuales, con predominio de soja, y alternativas con mayor proporción de trigo y maíz. Solo se consideró que se cosechaban parcialmente los rastrojos de éstos dos cultivos. El aporte de carbono al suelo fue altamente dependiente de la rotación, incrementándose al aumentar la proporción de trigo y maíz en la rotación y el nivel de rendimiento alcanzado. En cambio, la cosecha de rastrojo tuvo poco impacto en este aporte debido a la baja proporción de ambos cultivos en las rotaciones actuales. Aumentando la proporción de gramíneas o el nivel de rendimiento es posible compensar el efecto de la cosecha de rastrojo sobre el carbono del suelo. Se estimó que por cada tonelada de carbono que llega anualmente al suelo se forman en el equilibrio 5 toneladas de carbono orgánico sobre un nivel base de 34 t C ha^{-1}. Este coeficiente puede ser usado para estimar el impacto del manejo sobre el carbono edáfico.

Palabras claves: Biocombustible, stock de carbono del suelo, redes neuronales

INTRODUCCIÓN

La utilización de residuos de cosecha de cultivos agrícolas como fuente de energía ha despertado interés en el mundo (Adler *et al.* 2007) y en Argentina (Menéndez & Hilbert, 2013, Montico & Di Leo, 2017). Sin embargo, su utilización puede llevar a problemas en los suelos (Blanco-Canqui, 2010) entre los cuales la pérdida de carbono orgánico aparece como uno de los más importantes (Kochsiek & Knops, 2012; Liska *et al.*, 2014). No existen experimentos locales de larga duración en los que se haya determinado el efecto de la cosecha de rastrojos de cultivos sobre los suelos por lo que nuestro objetivo fue estimar qué impacto tendrá esa práctica sobre el nivel de carbono orgánico edáfico de la Pampa Ondulada y la Región Semiárida. Para ello utilizamos un modelo de balance de carbono desarrollado en la región que utiliza redes neuronales artificiales para estimar la entrada de carbono al suelo en forma de residuos agrícolas y la salida por respiración heterótrofa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se usó la información del mapa generado por Berhongaray *et al.* (2013) para estimar los niveles medios de un grupo de partidos de la Pampa Ondulada y otro de la Región Semiárida (Figura 1), de una superficie de ca. 6 Mha en cada caso. Se estimó el promedio ponderado del stock de carbono del estrato 0-50 cm de profundidad, input de la red neuronal usada para estimar respiración heterótrofa del suelo. También se determinó su grado de variación y para ello se escogieron como valores altos y bajos partidos con contenido de carbono orgánico en los percentiles 10 y 90%. La rotación media usada en ambas subregiones se construyó sobre la base de las superficies sembradas con los cultivos de soja, maíz, trigo y girasol usando datos del Ministerio de Agroindustria del período 2010-2016. Para la Pampa Ondulada se asumió que la superficie de soja de segunda era similar a la de trigo y el resto de la soja correspondía a cultivos de primera ocupación. En la Región Semiárida se asumió que toda la soja era de primera. Los rendimientos medios de cada subregión se calcularon como el promedio ponderado de los rendimientos de los partidos que la integraban. Como los rendimientos a nivel partido representan un promedio zonal que incluye productores de variado nivel tecnológico se hicieron también modelizaciones con rendimientos 30% más altos.

Figura 1: Ubicación de los partidos correspondientes a las subregiones Pampa Ondulada y Región Semiárida de la Región Pampeana.

El balance anual de carbono se calculó como la diferencia entre la entrada de carbono al suelo en forma de rastrojo y raíces y la salida por respiración heterótrofa. Para ello se usó una herramienta desarrollada localmente que empleaba dos redes neuronales artificiales, una para estimar aporte de carbono y la otra respiración (Alvarez *et al*., 2011). Los inputs de la red para estimar aporte de carbono al suelo eran tipo de cultivo (trigo, soja o maíz), rendimiento y precipitación durante el ciclo y el output era masa de carbono (t C ha^{-1} ciclo de $cultivo^{-1}$). Los inputs de la red que estima respiración eran contenido de carbono orgánico del suelo en el estrato 0-50 cm, temperatura diaria del suelo a 10 cm de profundidad y contenido de agua del estrato 0-30 cm. El output era carbono respirado desde los pooles orgánicos del suelo (kg C ha^{-1} $día^{-1}$). La precipitación media de cada partido de las subregiones de estudio se estimó por el método de interpolación espacial kriging a partir de datos de 48 observatorios meteorológicos del Servicio Meteorológico Nacional del período 1933-2006. Para estimar el input de carbono de girasol, que no era predicho por la red neuronal, se usó un coeficiente de aporte de carbono fijo calculado con un índice de cosecha de planta entera (grano/(parte aérea+raíz)) de 0.28 (Alvarez *et al.*, 2015) y asumiendo 40% de carbono en el material vegetal. La temperatura diaria del suelo se estimó usando splines ajustadas a datos de temperatura a -10 cm obtenidos de diferentes experimentos realizados en las dos subregiones de estudio bajo diferentes cultivos y manejos a lo largo de cinco años en Pampa Ondulada y tres años en Región Semiárida (Alvarez *et al.*, 1995a, 1995b, 1996, 1998, 2001; Bono *et al.*, 2008) (Figura 2).

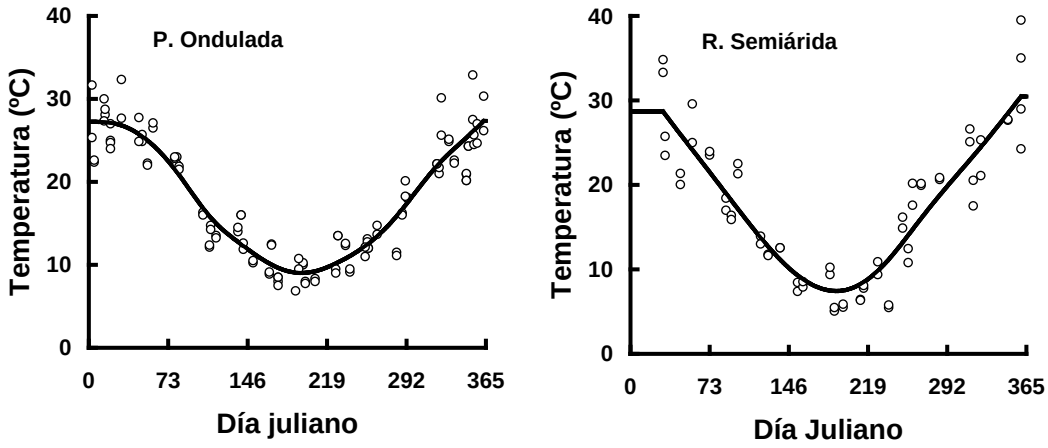


Figura 2: Funciones splines ajustadas a datos de evolución de temperatura del suelo a -10 cm en diferentes años y bajo distintos cultivos y manejos.

Para evaluar la evolución de la humedad del suelo se usaron datos de agua en el suelo de las mismas fuentes usadas para estimar temperatura, además de otros trabajos realizados en las dos subregiones (Bonel *et al.*, 1972; Quiroga *et al.*, 1998). La información correspondió a ocho años en Pampa Ondulada y siete años en Región Semiárida.

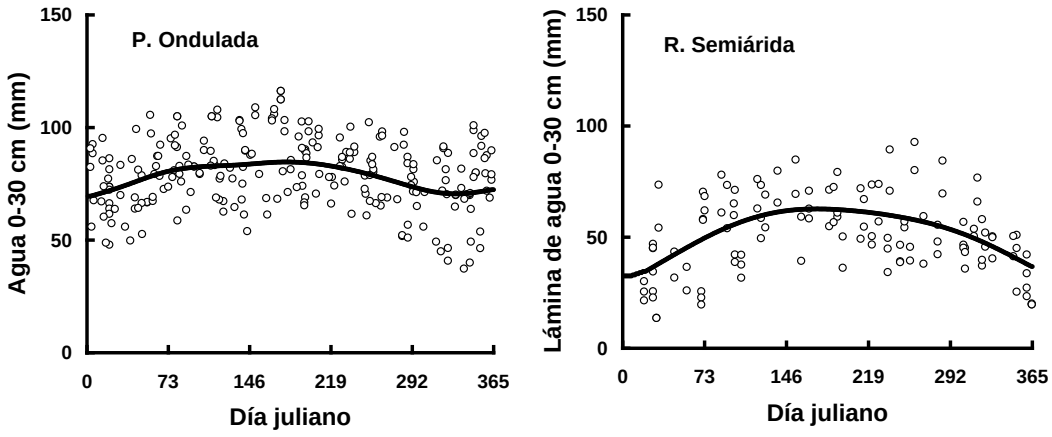


Figura 3: Funciones splines ajustadas a datos de evolución de humedad del suelo (0-30 cm) en diferentes años y bajo distintos cultivos y manejos.

El balance de carbono seriado se calculó a partir de los valores base de carbono del suelo a los que se sumaba la entrada anual media de carbono de cada rotación y para cada nivel esperado de rendimiento y se descontaba la salida anual por respiración, calculada como la sumatoria de los valores diarios. El modelo se corrió hasta llegar a valores de equilibrio del contenido de carbono. Las modelizaciones se hicieron para las rotaciones actuales, con predominio de soja, y otras alternativas posibles con mayor proporción de trigo y maíz (Tabla 1). Se asumieron dos niveles de cosecha de carbono de trigo y maíz, 25 y 50% del carbono total de los residuos, equivalentes a ca. 30% y 60% de rastrojo cosechado respectivamente, considerando que las raíces aportan 20% del carbono de los residuos (Alvarez *et al*., 2015).

Tabla 1: Diferentes rotaciones usadas en la modelización para estimar input de carbono.

Subregión	Rotación	Cultivos
P. Ondulada	Actual	Trigo/soja 2da - maíz - soja*8
	Alternativa 1	Trigo/soja 2da - maíz - soja*2
	Alternativa 2	Trigo/soja 2da - maíz
R. Semiárida	Actual	Girasol - trigo - maíz - soja*2
	Alternativa 1	Girasol - trigo - maíz - soja
	Alternativa 2	Girasol - trigo - soja - maíz*2

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La red neuronal que estimaba aporte de carbono al suelo mostró que no existe proporcionalidad entre el rendimiento de los cultivos y el aporte de carbono (Tabla 2). Aumentos del rendimiento del 30% generan incrementos del input mucho menos que proporcionales, especialmente en soja donde el cambio del input fue del 10%. Esto es atribuible a cambios en el índice de cosecha en cultivos de alto rendimiento. Este efecto no pudo estudiarse en girasol porque la red no lo simulaba y se usaron para este cultivo coeficientes fijos. Sin embargo, los resultados indican que no es recomendable el uso de este tipo de coeficientes en estimaciones de balances de carbono de los suelos pues tenderán a sobrestimar los inputs de carbono.

En las rotaciones actuales, con poca participación de trigo y maíz, sobretodo en la Pampa Ondulada, la cosecha de rastrojo de estos cultivos tiene poco impacto sobre la entrada de carbono al suelo de toda la rotación. La cosecha del 30% de los rastrojos de las gramíneas lleva a una disminución de los inputs de carbono de 9% en Pampa Ondulada y 12% en la Región Semiárida. Aumentando la proporción de gramíneas o incrementando el nivel tecnológico para lograr mayores rendimientos lleva a grandes incrementos de los inputs de carbono, especialmente en la Pampa Ondulada, donde pueden más que duplicarse respecto del escenario actual con la rotación más intensiva testeada (trigo/soja 2da-maíz). A medida que se incrementa la proporción de gramíneas también es mayor el efecto de la cosecha de rastrojo sobre el input de carbono al suelo.

Tabla 2: Aporte de carbono al suelo estimado por una red neuronal para diferentes rotaciones y niveles de rendimiento en función de la cantidad de carbono cosechado por recolección de rastrojo en dos subregiones pampeanas.

Subregión	Cosecha de C	Rotación actual		Rotación alternativa 1		Rotación alternativa 2	
		Rend. medio	Rend. alto	Rend. medio	Rend. alto	Rend. medio	Rend. alto
	(%)	(t C ha^{-1} año^{-1})					
P Ondulada	0	3,20	3,69	4,14	4,91	5,7	6,93
	25	2,98	3,42	3,59	4,22	4,6	5,56
	50	2,76	3,14	3,04	3,53	3,5	4,18
R Semiárida	0	2,25	2,77	2,26	2,85	2,47	3,09
	25	1,99	2,42	1,94	2,42	2,05	2,55
	50	1,73	2,08	1,61	1,99	1,62	2.00

El balance de carbono mostró que son esperables caídas de carbono en suelos de la Pampa Ondulada para la rotación media actual y que estas caídas serán mayores a mayor stock de carbono (Figura 4). El equilibrio se alcanza en unos 12 años existiendo un nivel de carbono que se puede mantener en el suelo en función del input que produce la rotación. En la Región Semiárida las caídas calculadas son menores e, incluso, puede aumentar el stock de carbono en suelos de bajo nivel inicial.

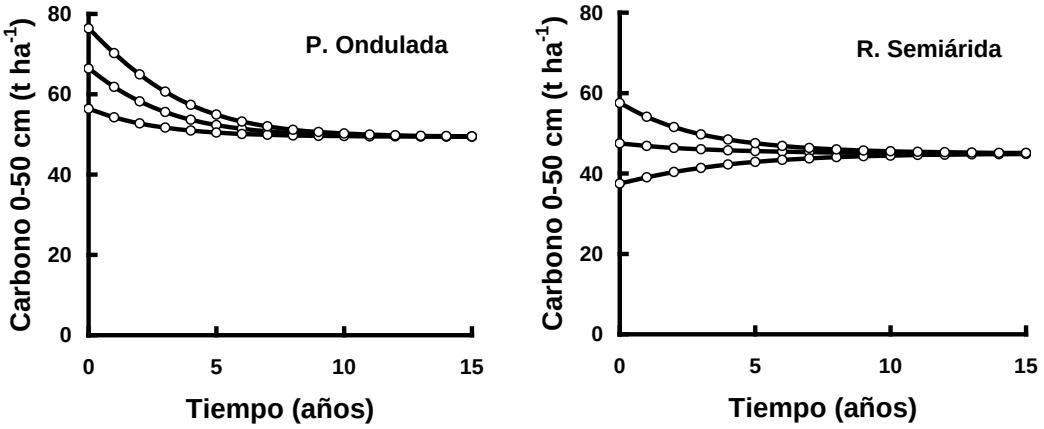


Figura 4: Evolución temporal del carbono del suelo en dos subregiones pampeanas en función del stock inicial. Se ha modelizado la evolución del carbono para niveles medios, altos y bajos de stock inicial y las rotaciones y rendimientos medios actuales de cada subregión.

Los niveles de equilibrio de carbono a que llegarían los suelos serán mayores al aumentar la participación de trigo y maíz en las rotaciones y el rendimiento (Tabla 3). Sin embargo, los efectos de los tratamientos testeados son mucho menores que los esperados sobre el input de carbono. La cosecha de rastrojo de trigo y maíz tiene muy poco efecto en el stock de carbono en las condiciones actuales. Con 30% de rastrojo de trigo y maíz cosechado el stock de carbono del suelo bajaría solamente entre 1 y 3% en los suelos pampeanos. Si se aumenta la proporción de gramíneas en las rotaciones o se logran mayores rendimientos que los promedios zonales, aun cosechando rastrojo, el carbono del suelo podría aumentar.

Tabla 3: Niveles de carbono (0-50 cm) en el equilibrio estimados por un modelo de balance bajo diferentes rotaciones y niveles de rendimiento en dos subregiones pampeanas.

Subregión	Cosecha de C	Rotación actual		Rotación alternativa 1		Rotación alternativa 2	
		Rend, medio	Rend, alto	Rend, medio	Rend, alto	Rend, medio	Rend, alto
	(%)	(t C ha^{-1})					
P, Ondulada	0	49,5	51.0	52,4	54,9	57,7	62,5
	25	48,8	50,1	50,7	52,6	53,9	57,2
	50	48,1	49,3	49.0	50,8	50,4	52,5
R, Semiárida	0	45.0	46,9	45.0	47,2	45,8	48,1
	25	43,9	45,6	43,7	45,7	44,2	46,1
	50	42,9	44,3	42,4	43,9	42,4	44.0

Es posible relacionar el input de carbono con el stock de carbono orgánico en el equilibrio (Figura 5). De esta relación surge que por cada tonelada de carbono que llega al suelo se generan 5 t C ha^{-1} cuando ese stock se equilibra y que existe un pool mínimo de 34 t C ha^{-1} por debajo del cual los suelos no llegarían en períodos cortos de tiempo. Este pool se equiparía al pool estable del carbono del suelo (Parton *et al*. 1993). La ecuación de la Figura 5 permite también estimar el aporte de carbono necesario para mantener el stock de carbono edáfico. Para suelos del Sudeste Bonaerense, usando datos de un experimento de 10 años de duración con diferentes rotaciones que aportaban cantidades variables de carbono al suelo (Studdert & Echeverría, 2000), puede estimarse un coeficiente promedio para el estrato 0-17 cm de 3,4 t C ha^{-1}, con un piso de 25 t C ha^{-1}, lo que es compatible con la función ajustada aquí.

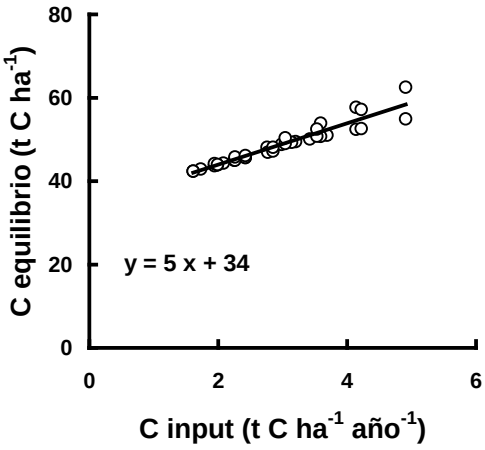


Figura 5: Relación entre el input de carbono en forma de residuos al suelo y el stock de carbono en el equilibrio (0-50 cm) en suelos pampeanos calculado por un modelo de balance.

Un aspecto a tener en cuenta con nuestras estimaciones es que representan el escenario más negativo posible. Esto es así porque el modelo de balance considera solo los inputs de carbono de los residuos de los cultivos ignorando los posibles aportes de la vegetación silvestre. Estos aportes pueden variar entre 0 y 2 t C ha^{-1} $año^{-1}$ (Alvarez *et al.*, 2015) y pueden hacer variar los niveles de equilibrio considerablemente. Otro aspecto a tener en cuenta es que las pérdidas de carbono de la fase agrícola de la rotación son parcialmente recuperadas durante la fase pastoril en suelos bajo explotación mixta. La información local disponible indica que durante la fase pastoril se puede incrementar el nivel de carbono en la materia orgánica en un 7-12% (Casanovas *et al.*, 1995, Galantini, 2005) lo que compensa la cosecha de rastrojo.

CONCLUSIONES

Bajo las rotaciones actuales, con predominio de soja, es esperable que los stocks de carbono orgánico de los suelos pampeanos decrezcan, especialmente en la Pampa Ondulada donde este cultivo ocupa 80% de la superficie agrícola. La cosecha de rastrojo de trigo y maíz tendrá efectos negativos en el carbono del suelo pero de escasa magnitud debido a la poca participación de las gramíneas en la rotación. Si se reduce el porcentaje de soja y se incrementa el de trigo y maíz podrían cosecharse residuos llegando a los mismos niveles de carbono edáfico, o incluso superiores, a que se llevaría los suelos en las condiciones actuales. Lograr altos rendimientos es otra estrategia adecuada para incrementar el carbono del suelo y compensar la cosecha de rastrojo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue subsidiado por la Universidad de Buenos Aires (Proyecto 20020130100484BA) y CONICET (Proyecto 084, programación 2014-2016).

BIBLIOGRAFÍA

- Adler, PR; SJ Del Grosso & WJ Parton. 2007. Life-cycle assessment of net greenhouse-gas flux for bioenergy cropping Systems. Ecol. Appl. 17: 675-691.
- Alvarez, R; C Alvarez & G Lorenzo. 2001. CO2-C fluxes following tillage from a Mollisol in the Argentine Rolling Pampa. Eur. J. Soil Biol. 37, 161-166.
- Alvarez, R; M Russo; P Prystupa; J Sheiner & L Blotta. 1998. Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa. Agron. J. 90, 138-143.
- Alvarez, R; O Santanatoglia; P Daniel & R García. 1995a. Respiration and specific activity of soil microbial biomass under conventional and reduced tillage. Pesq. Agrop. Bras. 30, 701-709.
- Alvarez, R; O Santanatoglia; P Daniel & R García. 1995b. Soil respiration, microbial biomass and organic matter contribution of crops in a wheat-soybean rotation. Soil Use and Management 11, 45-50.
- Alvarez, R; O Santanatoglia; P Daniel & R García. 1996. Plant and microbial contribution to soil respiration under zero and disc tillage. Eur. J. Soil Biol. 32, 173-177.
- Alvarez, R, HS Steinbach & A Bono, A. 2011. An artificial neural network approach for predicting soil carbon budget in agroecosystems. Soil Sci. Soc. Am. J. 75: 965-975.
- Alvarez, R; HS Steinbach & J De Paepe. 2015. Carbono orgánico. En: Fertilidad de suelos y fertilización en la Región Pampeana. Capítulo 5, pág. 47-91. R. Alvarez (Ed.). Editorial FAUBA, Buenos Aires.
- Berhongaray, G; R Alvarez; J De Paepe; C Caride & R Cantet. 2013. Land use effects on soil carbon in the Argentine Pampas. Geoderma 192: 97-110.
- Blanco-Canqui, H. 2010. Energy crops and their implications on soil and environment. Agron. J. 102: 403-419.
- Bonel, JA; CA Puricelli & P Novello. 1972. Influencia de diferentes manejos sobre la disponibilidad de nitrógeno y de agua a través del año en un suelo Brunizem de Marcos Juarez (Cba.) 1965-1970. Publicación técnica 3, EERA Marcoz Juarez, Argentina, 24 pág.
- Bono, A; R Alvarez, D Buschiazzo & R Cantet. 2008. Tillage effects on soil carbon balance in a semiarid agroecosystem. Soil Sci. Soc. Am. J. 72, 1140-1149.
- Casanovas, EM; Echeverría, HE & Studdert, GA. 1995. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. I Contenido total y de distintas fracciones. Ciencia del Suelo 13: 16-20.
- Galantini, J. 2005. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. Actas Jornadas Materia Orgánica y Sustancias Húmicas (Argentina), 8 pág.
- Kochsiek, AE & Knops, JMH. 2012. Maize cellulosic biofuels: soil carbon loss can be a hidden cost of residue removal. Bioenergy 4: 229-233.
- Liska, AJ; H Yang; M Milner; S Goddart; H Blanco-Canqui; MP Pelton; XX Fang; H Zhu & AE Suyker. 2014. Biofuels from crop residue can reduce soil carbon and increase CO_2 emissions. Nature climate change 4: 398-401.
- Menéndez, JE & JA Hilbert. 2013. Cuantificación y uso de biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía. Informes Técnicos Bioenergía Año 2, Nº4, 47 pág.
- Montico, S & N Di Leo. 2017. Energía potencialmente obtenible de los rastrojos de cultivos en Argentina. 8 pág. (www.unr.edu.ar/descargar.php?id=4593, accedido 07/11/2017).
- Parton, WJ; JMO Scurlock; DS Ojima; TG Gilmanov; RJ Scholes; DS Schimel; S Kirchner; JC Menault; T Seastedt; E García Moya; A Kamnalrut & JI Kinyamario. 1993. Observations and modeling of biomass and soil organic matter for the grassland biome worldwide. Global Biogeochemical Cycles 7: 785-809.
- Quiroga, A; O Ormeño & N Peinemann. 1998. Efectos de la siembra directa sobre propiedades físicas de los suelos. En: Siembra Directa. Eds. JL Panigatti, H Marelli, D Buschiazzo, R Gil. Editorial Hemisferio Sur SA, Buenos Aires, Argentina, pág. 57-63.
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2000. Crop rotation and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Sci. Soc. Am J. 64: 1496-1503.

C1P6. LA MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO CONTROLA LA PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS PAMPEANOS

Alvarez, Roberto[1,2]; De Paepe, Josefina L.[1,2]; Gimenez, Analía V.[1], Recondo, Verónica[1], Pagnanini, Federico[1]; Mendoza, María R.[1]; Caride, Constanza[1], Ramil, Denis[1]; Facio, Facundo[1] y Berhongaray, Gonzalo[2].

[1]Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453 (1417). Buenos Aires, Argentina. [2]CONICET. ralvarez@agro.uba.ar

RESUMEN

En la Región Pampeana el carbono orgánico es uno de los factores que controlan la productividad de los suelos. Nuestro objetivo fue establecer si ese efecto puede atribuirse a que la materia orgánica actúa como fuente de nitrógeno para los cultivos. Se utilizaron muestras de suelo de un relevamiento regional en el que se muestrearon 386 sitios distribuidos en la región bajo diferentes usos. Las muestras se tomaron a diferentes profundidades hasta 1m. En las muestras se determinó, entre otras propiedades, nitrógeno total (N-total) y mineralizado en un test aeróbico de 15 días (N-mineralizado). Para cada sitio se elaboraron archivos de temperatura y precipitación medias anuales usando datos históricos. Se generaron modelos explicativos de la variabilidad del N-total (R^2= 0,70) y del N-mineralizado (R^2= 0,59) usando redes neuronales artificiales. Ambas variables estaban reguladas por el uso del suelo, la temperatura y precipitación del sitio, la textura y la profundidad. Estos modelos se combinaron con información sobre superficie asignada a diferentes usos del suelo, obtenida por análisis de imágenes satelitales, mapas climáticos y de textura para generar archivos a nivel partido de N-total y N-mineralizado. El N-total y el N-mineralizado se usaron como inputs en redes neuronales, junto con información climática y de capacidad de almacenamiento de agua útil de los suelos para modelar el rendimiento de trigo. Se calculó, usando datos estadísticos, el rendimiento medio de trigo a nivel partido del período 2000-2006 que fue el output de las redes. El mejor modelo explicativo del rendimiento usó como inputs el N-mineralizado, la precipitación durante barbecho+ciclo y el coeficiente fototérmico (R^2 = 0,85), indicando que el efecto de la materia orgánica sobre el rendimiento puede atribuirse a que actúa como fuente de nitrógeno para el cultivo.

Palabras claves: Modelización de la mineralización del suelo, índice de productividad, trigo

INTRODUCCIÓN

En la Región Pampeana se ha establecido que la productividad de los suelos está regulada por el contenido de carbono orgánico y la capacidad de almacenamiento de agua útil (CAAU) (De Paepe & Alvarez, 2013). Estas propiedades, junto con variables climáticas, permiten explicar el 61% de la variabilidad espacial y temporal del rendimiento de trigo a nivel regional. Se ha postulado que el impacto de la materia orgánica sobre el rendimiento se debe, principalmente, a que es un reservorio de nitrógeno que suministra el nutriente a los cultivos (De Paepe & Alvarez, 2013). Este factor sería más importante que otros efectos que tiene la misma sobre los suelos. Nuestro objetivo fue testear esta hipótesis relacionando el rendimiento de trigo a escala regional con el nivel de materia orgánica de los suelos y con la capacidad de mineralización de nitrógeno para identificar cuál de las dos variables ejerce mayor control sobre el rendimiento. Si ambas variables no se hallan estrechamente correlacionadas y la mineralización se asocia más estrechamente al rendimiento que el contenido de materia orgánica del suelo esto confirmaría la hipótesis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre 2007 y 2008 se muestrearon 386 sitios distribuidos en la Región Pampeana bajo diferentes usos del suelo. Una descripción detallada de la ubicación de los sitios y los métodos experimentales usados se puede encontrar en Berhongaray *et al*. (2013). Brevemente: se muestrearon suelos bajo arboledas, suelos nunca cultivados bajo vegetación herbácea, suelos agrícolas en la fase pastura y en la fase agrícola de la rotación y suelos hidromórficos. Se tomaron muestras cada 20 cm hasta 100 cm de profundidad o hasta la tosca, cuando estaba presente, y se hizo una caracterización edáfica general de las muestras (n= 1456). El contendido de materia orgánica se evaluó determinando nitrógeno total (N-total) en las muestras por el método de Kjeldahl como un proxy, ya que en estos suelos la relación C/N no es afectada por el uso del suelo ni la profundidad (Alvarez *et al*., 2014), indicando una concentración poco variable de nitrógeno en la materia orgánica. La capacidad de mineralizar nitrógeno de las muestras se evaluó en una incubación aeróbica de 15 días

de duración (N-mineralizado (Alvarez *et al*., 2016). Los resultados se expresaron en forma areal usando la densidad aparente de cada muestra para la transformación de concentración a masa.

Utilizando datos de 48 observatorios meteorológicos del Servicio Meteorológico Nacional para el período 1933-2006 se estimó por métodos de kriging la temperatura y precipitación medias mensuales y anuales de cada sitio muestreado y valores medios a nivel partido para 131 partidos de las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Entre Ríos, Santa Fé y Córdoba. El programa empleado fue QGis. Por medio de redes neuronales artificiales se modelizó N-total y N-mineralizado empleando como inputs, entre otras variables, temperatura y precipitación medias anuales del sitio, contenido de arena de las muestras, profundidad y uso del suelo. La metodología de ajuste de las redes fue similar a la descripta en Berhongaray *et al.* (2013). Los datos de contenido de arena de los suelos a nivel partido se obtuvieron de las bases de datos de De Paepe y Alvarez (2013). Los modelos generados para estimar N-total y N-mineralizado, combinados con información sobre uso del suelo a nivel partido obtenida por procesamiento de imágenes satelitales (Berhongaray *et al.*, 2013) permitió elaborar archivos de estas variables a escala partido para la Región Pampeana.

Utilizando información estadística de rendimiento de trigo del período 2000-2006 del Ministerio de Agroindustrria se confeccionó un archivo de rendimiento medio del cultivo a escala partido para ese período. Las precipitaciones durante el barbecho y el ciclo del cultivo (abril a noviembre) se calcularon con las estimaciones mensuales arriba indicadas y se estimó el coeficiente fototérmico del cultivo y la CAAU del suelo como se describe en De Paepe & Alvarez (2013) también a escala partido aplicando kriging. Toda esta información se usó para construir con redes neuronales modelos explicativos del rendimiento de trigo. Los inputs fueron N-total, N-mineralizado, CAAU, precipitación barbecho+ciclo y coeficiente fototémico; el output fue rendimiento.

La asociación entre variables se analizó por métodos de regresión y correlación lineal testeando la significancia por la F. Para la construcción de las redes se partió los sets de datos en 50% para ajuste de pesos y funciones y 25% para detención temprana del ajuste (75% de los datos = set de entrenamiento) y el 25% restante de los datos se usó para una validación independiente de los modelos (set de validación). Los coeficientes de determinación (R^2) de los sets de entrenamiento y validación se compararon estadísticamente por la prueba de Z transformada y las ordenadas y pendientes de datos observados vs. estimados se compararon contra 0 y 1 respectivamente por la t.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fue posible modelizar con buen ajuste N-total y N-mineralizado (Figura 1). Ambas variables estuvieron reguladas por la precipitación y temperatura del sitio, el contenido de arena y la profundidad de la capa del suelo y el uso del sitio. N-total y N-mineralizado aumentaban en sitios con mayor precipitación y decrecían al ser mayor la temperatura del sitio y el contenido de arena o la profundidad del estrato de suelo. Por su lado, el uso del suelo impactaba estas variables en el orden: arboledas > controles no cultivados > pasturas > suelos con cultivos anuales > suelos hidromórficos. Los modelos ajustados tenían buena capacidad de generalización pues no hubo diferencias significativas entre los set de entrenamiento y validación y las ordenadas y pendientes de las rectas de regresión entre datos observados y estimados no difirieron de 0 y 1 respectivamente. La red que estimaba N-total tenía 4 neuronas en la capa escondida y la que estimaba N-mineralizado 6.

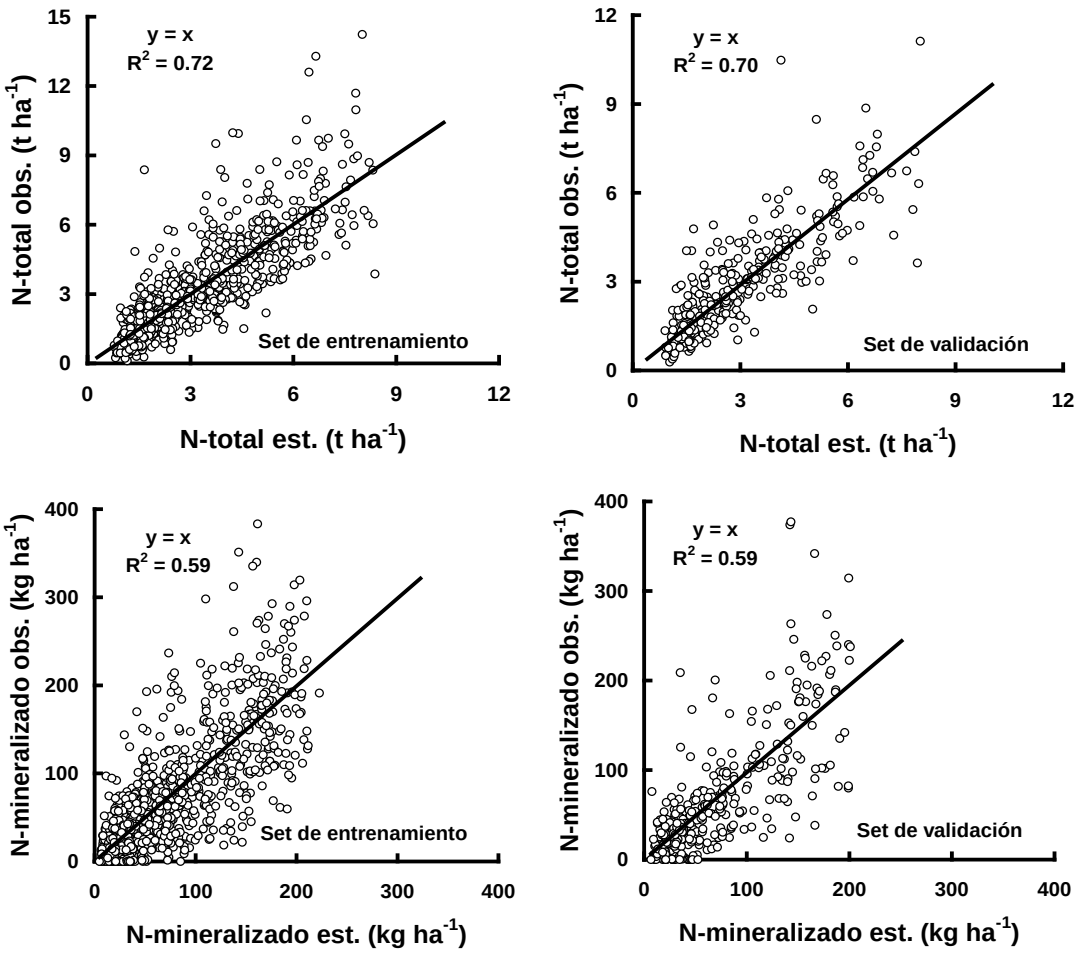


Figura 1: Relación entre datos observados (obs.) y estimados (est.) por modelos de redes neuronales de N-total y N-mineralizado en suelos pampeanos.

A escala partido, el rendimiento estaba muy fuertemente correlacionado con N-mineralizado siendo la asociación con N-total no significativa (Tabla 1). Al modelar el rendimiento con redes neuronales se pudieron ajustar varias redes para explicarlo. El mejor modelo incluyó como inputs N-mineralizado, precipitación y coeficiente fototérmico (Figura 3). Esta red validaba muy bien sus estimaciones teniendo la regresión de datos observados vs. estimados ordenada similar a 0 y pendiente similar a 1. En la capa escondida la red tenía 4 neuronas. Cuando se usó N-total en lugar de N-mineralizado como input, esta variable no entró en muchos modelos indicando que es la capacidad de mineralización de nitrógeno del suelo el principal factor controlador de la productividad. Según la red considerada, la disponibilidad de agua para el cultivo fue mejor representada por la precipitación o la CAAU del suelo lo que puede atribuirse a la estrecha correlación entre ambas variables. Suelos con mayor CAAU se encontraban generalmente en zonas más lluviosas.

Tabla 1: Coeficientes de correlación entre las variables climáticas, de suelo y el rendimiento de trigo estimados a nivel de partido. En negrita: coeficientes significativos a P< 0,05.

	Rendimiento	Precipitación	Coef. fot.	CAAU	N-total
Precipitación	**0,300**				
Coef. fot.	**0,293**	**-0,429**			
CAAU	0,110	**0,541**	**-0,459**		
N-total	0,055	**0,464**	**-0,235**	**0,830**	
N-mineralizado	**0,690**	**0,639**	**0,141**	**0,366**	**0,390**

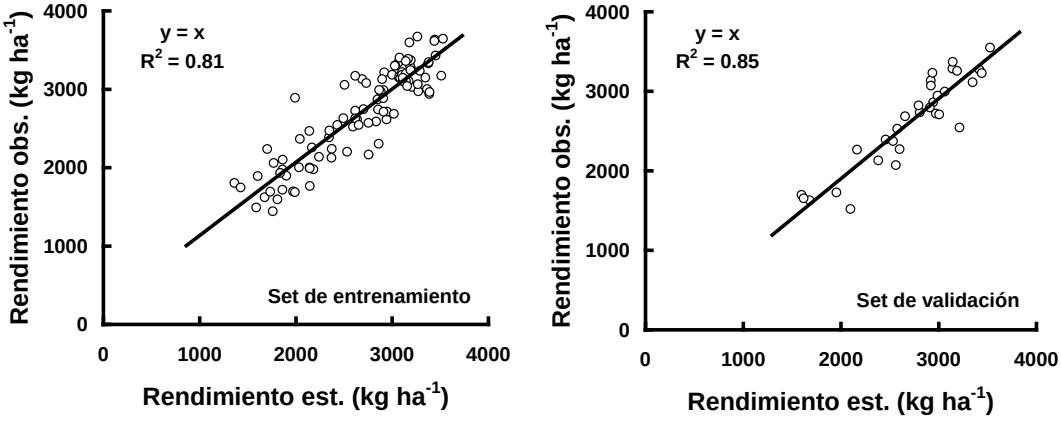


Figura 3: Relación entre el rendimiento observado (obs.) y el estimado (est.) por un modelo de redes neuronales del rendimiento de trigo a nivel parido en la Región Pampeana.

CONCLUSIONES

En la Región Pampeana, la capacidad de mineralización de nitrógeno del suelo está más correlacionada con el rendimiento de trigo que el contendido de nitrógeno total, indicando que es la capacidad de aportar el nutriente a los cultivos la propiedad de la materia orgánica que más modula su impacto sobre la productividad edáfica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue subsidiado por la Universidad de Buenos Aires (Proyecto 20020130100484BA) y CONICET (Proyecto 084, programación 2014-2016).

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R; J De Paepe; H Steinbach; G Berhongaray; M Mendoza; A Bono; N Romano; R. Cantet & C Alvarez. 2014. Cambios de flujos y stocks de carbono y nitrógeno por el uso del suelo: impacto sobre la productividad pampeana. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, actas 29 pág.
- Alvarez R; D Ramil; HS Steinbach; MR Mendoza & G Berhongaray. Mineralización de nitrógeno en suelos pampeanos bajo diferentes usos. Actas XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 6 pág.
- Berhongaray, G; R Alvarez; J De Paepe; C Caride & R Cantet. 2013. Land use effects on soil carbon in the Argentine Pampas. Geoderma 192: 97-110.
- De Paepe, JL & R Alvarez. 2013. Developments of a soil productivity index using an artificial neural network approach. Agron. J. 105: 1803-1813.

C3P7. ESTADO ACTUAL DE SATURACIÓN CON BASES EN HAPLUDOLES DEL OESTE DEL ÁREA AGRÍCOLA DE TUCUMÁN

Arroyo, Esteban A.; Aranda, Nelson D., Sanzano, G. Agustín, Rojas Quinteros Hugo C. y Navarro Di Marco Jessica P.

Sección Suelos y Nutrición Vegetal. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. William Cross 3150. Las Talitas. Tucumán, Argentina. earroyo@eeaoc.org.ar

RESUMEN

Los sistemas productivos actuales se caracterizan por sus altos rendimientos y por el uso continuo del recurso, lo que se relaciona con una alta tasa de extracción de nutrientes. Es por ello que se realizó el estudio del contenido de macronutrientes como calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), en una típica área agrícola tucumana con dos importantes producciones: caña de azúcar y citrus (limón). El objetivo de este trabajo fue elaborar mapas de contenido de estos elementos en el suelo. Se tomaron muestras en 132 sitios hasta 30 cm de profundidad. Se realizó el análisis químico en laboratorio y se relacionó el contenido de cada catión con la Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC) para obtener la relación porcentual de cada uno. Estos datos fueron cargados y procesados en el sistema de información geográfica QGIS 2.14.11-Essen, donde se usó para el procesamiento de datos el método de interpolación ponderación inversa a la distancia. Para realizar estos mapas se clasificaron los porcentajes de cada elemento en dos rangos: bajos y normales. Para cada uno se tomó el siguiente criterio: % Ca intercambiables menores a 50% se consideraron bajos y por arriba de ese valor se consideraron normales; porcentajes menores a 15% de Mg intercambiable se clasificaron como bajos, mientras que valores de K intercambiable menores a 5% fueron clasificados por debajo de los normales. El área de estudio presenta valores de pH de suelo desde ligeramente ácido a fuertemente ácido, asociados a bajos contenidos de calcio y magnesio. El potasio intercambiable tuvo valores bajos en casi la totalidad de la superficie analizada. Los tenores bajos de estos elementos en el suelo, impulsa a continuar con estudios más específicos sobre el comportamiento de los cultivos en suelos con un importante grado de desaturación en bases.

Palabras clave: nutrientes, suelo, mapa.

INTRODUCCIÓN

La agricultura en Argentina se desarrolló inicialmente basándose en la fertilidad natural de los suelos, con bajo uso de fertilizantes en las producciones agrícolas. Los sistemas productivos actuales de alta producción incrementan la tasa de extracción de nutrientes y ocasionan una disminución importante en la disponibilidad de nutrientes (Cruzate & Rivero, 2008). La mayoría de los suelos agrícolas de Tucumán han sido clasificados dentro del orden Molisoles (Zucardi & Fadda, 1985), lo que hace suponer una buena fertilidad química de los mismos. Por otro lado la agricultura continua de los mismos supone una constante exportación de nutrientes. Cultivos como la caña de azúcar, para alcanzar un valor cercano a las 100 t/ha, debe extraer entre 800 y 1.500 kg de nutrientes /ha por año (Alonso *et al.*, 2015). Esto indica que los suelos bajo este cultivo están sometidos a una alta extracción de nutrientes. Aso & Dantur (1971) encontraron aumentos de disponibilidad de nutrientes incrementando el porcentaje de saturación con bases del 50 al 65%. La fertilización con magnesio (Mg) es el segundo problema nutricional más común en las quintas cítricas de Tucumán después del de cinc (Hernández & Figueroa, 2005). Por otro lado Fogliata (1995) en experimentos realizados no encontró respuesta significativa a la fertilización con potasio (K). Sin embargo, Pérez Zamora (1999), revisó 23 series de suelo de la zona pedemontana encontrando valores críticos de K para el cultivo de caña de azúcar. También, Sanzano *et al.* (2017) ha detectado sitios que podrían requerir especial atención para satisfacer los requerimientos nutritivos de Ca, Mg y K.

El objetivo de este trabajo fue elaborar mapas de contenido de Ca, Mg y K en un área agrícola recostada al oeste de la provincia de Tucumán, sobre hapludoles de textura gruesa. Además, se construirá el mapa de distribución del pH de suelo de la capa superficial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra localizada a los 27º 11’ Latitud Sur y 65º 34’ Longitud Oeste, limita al norte con el río Los Sosa hasta su unión con el río Romano, al sur limita con el río Pueblo Viejo, al este con la unión de los ríos Pueblo viejo y Romano; y al oeste con la ruta provincial 324. Esta área comprende aproximadamente 6.500 (ha), donde la parte oeste se ubica en la región del pedemonte húmedo-perhumedo cálido con precipitaciones medias anuales superiores

a los 1200(mm) y la parte este perteneciente a la llanura deprimida subregión no salina con precipitaciones de 1000 mm. La evapotranspiración potencial es de 900 mm. La temperatura media anual es 19ºC.

El principal cultivo es la caña de azúcar, en segundo lugar cítricos (limón), cultivándose en menor medida hortalizas para autoconsumo como maíz dulce, batata, etc.

Se extrajeron muestras compuestas georeferenciadas (GPS Garmin Etrex 35) en 75 sitios distribuidos en la zona de estudio, a 3 profundidades: 0-30; 30-60 y 60-90 cm (en este trabajo solo se analizan 0-30 cm). Las muestras se analizaron en el laboratorio de suelos de la sección suelos y nutrición vegetal de la EEAOC. Los parámetros que se tomaron para este trabajo fueron: calcio intercambiable (Ca), magnesio intercambiable (Mg), potasio intercambiable (K) determinados por acetato de amonio pH: 7 y capacidad de intercambio catiónico determinado por acetato de sodio pH:8,2.

Se dividió el contenido de cada elemento por la capacidad de intercambio de cationes obteniendo la relación porcentual para cada uno de ellos. Se tomó dos categorías para su clasificación: bajo y normal. Para porcentajes de Ca menores a 50% se consideró valores bajos y mayores a este porcentaje como altos; para Mg sitios con porcentajes menores al 15% se consideraron bajos y mayores a este valor como normales; para K se consideraron como bajos porcentajes menores al 5% de la CIC y normales cuando superaron ese valor.

Con los datos porcentuales se construyó el mapa de distribución espacial para cada elemento. Se sumaron 55 sitios colindantes georeferenciados para interpolar la totalidad de la superficie estudiada. Todos los datos fueron cargados y procesados en el sistema de información geográfica libre QGIS 2.14.11-Essen. Se obtuvieron mapas de distribución de cada elemento; el método de interpolación usado fue ponderación inversa a la distancia. También se cargó los valores de pH de suelo para cada sitio georeferenciado construyendo la distribución de pH para la capa superficial del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución de Ca se muestra en la Figura 1, donde se observa que más del 80% de la superficie analizada está desaturada en este elemento, presentando porcentajes de calcio por debajo del 50% siendo una superficie relativamente pequeña con valores normales y/o suficientes de Ca. En Tucumán, los sitios donde se lleva a cabo la práctica de encalado corresponde especialmente a áreas con suelos más bien gruesos y con una pluviometría superior a los 1300 mm año (Hernández & Figueroa, 2005). Sanzano *et al.*, 2017, reportaron un 35% de 2500 sitios analizados con valores de Ca por debajo de lo normal.

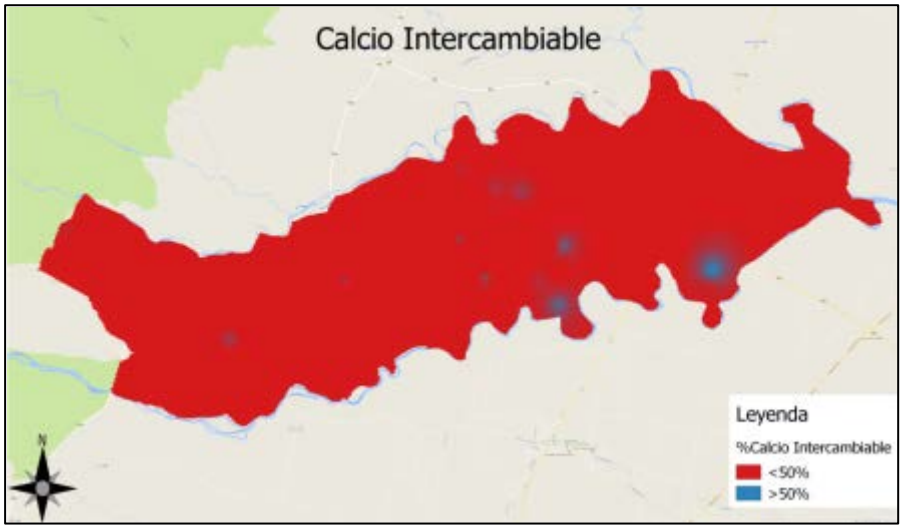


Figura 1: Mapa distribución de calcio intercambiable.

La Figura 2 muestra la disposición de los porcentajes de Mg, los cuales son muy similares que para Ca, siendo predominante la zona con valores bajos de magnesio. Aso & Bustos (1980) encontraron en quintas cítricas suelos de textura más bien gruesa, ácidos, situados en el pedemonte, contenidos de Mg intercambiable y saturación con este elemento claramente inferior a los de los suelos normales. También, se han detectado sitios con suelos fuertemente ácidos, muy lavados y de textura gruesa desaturados en Mg (Sanzano *et al.*, 2017).

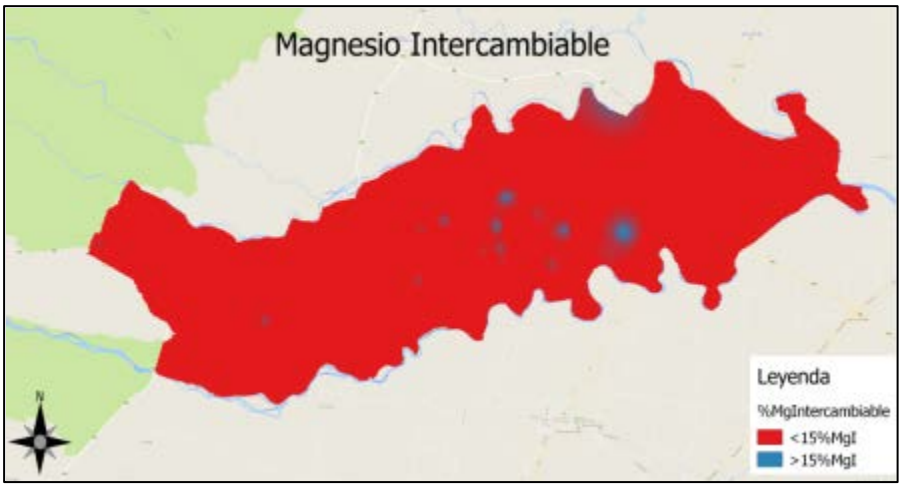


Figura 2: Mapa distribución de magnesio intercambiable.

Con respecto al K, la Figura 3 indica una pequeña zona con valores normales, estando prácticamente la totalidad del área analizada con porcentajes de potasio intercambiable considerados bajos. En la caracterización del área citrícola, tanto Aso y Bustos (1978) como Zuccardi & Fadda (1985), indicaron que la misma está bien provista en este elemento. Sin embargo, Pérez Zamora (1999) revisó 23 series de suelo de la zona pedemontona del área cañera de Tucumán, y determinó que en el 30% de los casos presentaron valores sugeridos como críticos en países cañeros. Este mismo autor señaló que la frecuencia de casos aumentó al 60%, si se incluye el horizonte subsuperficial.

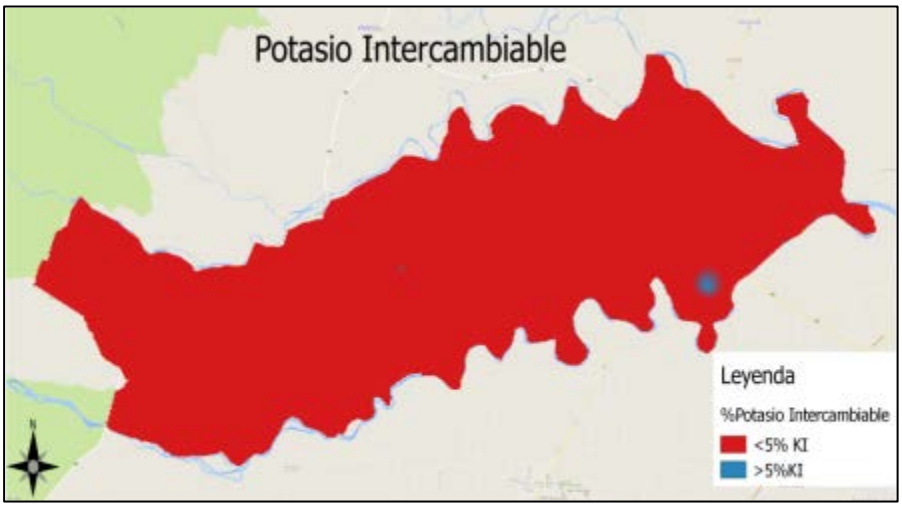


Figura 3: Mapa distribución de potasio intercambiable.

Los valores de pH del suelo se caracterizan por ser ácidos, encontrándose los rangos fuertemente ácidos, pH menores a 5,5; moderadamente a ligeramente ácidos, incluidos en el rango de pH 5,6 a 6,5. En menor medida se detectaron áreas consideradas de pH neutro (6,6 a 7,3), como indica la figura 4. La acidez del suelo es común en todas las regiones donde la precipitación es alta, lo suficiente para lixiviar apreciables cantidades de bases intercambiables de los niveles superficiales de los suelos (Buckman & Brady, 1966). Para estos suelos, Zuccardi & Fadda (1985), describieron una reacción química medianamente ácida con valores de pH entre 5,5 y 6,5.

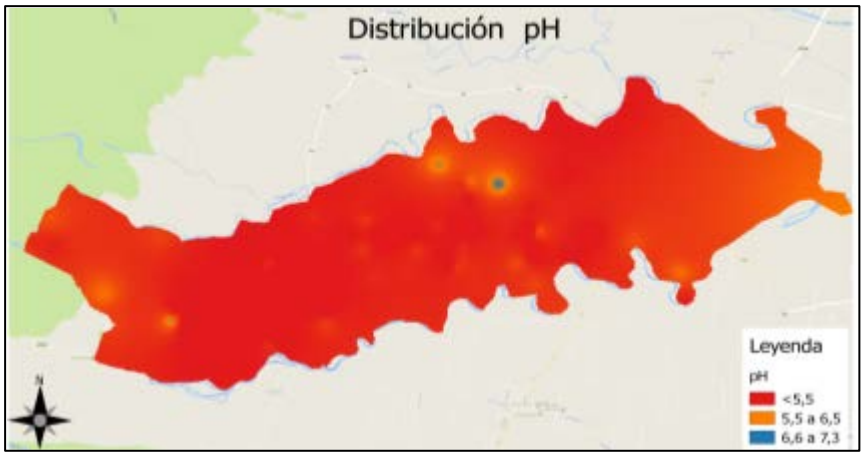


Figura 4: Distribución de valores de pH 0-30cm de profundidad.

CONCLUSIONES

Se han detectado suelos en el pedemonte y llanura deprimida no salina de Tucumán cuya capa superficial presenta una reacción química predominantemente ácida, desde suelos fuertemente ácidos hasta ligeramente ácidos. Esto se relaciona con la desaturación de bases intercambiables de Ca, Mg y K. Más del 80% del área analizada presenta porcentajes de bases considerados bajos, para lo que resultaría interesante conducir estudios relacionados con el comportamiento de los cultivos a la fertilización con estos nutrientes.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero para el análisis de los datos en laboratorio realizados en el marco del Programa para Incrementar la Competitividad del Sector Azucarero (PROICSA).

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, LG; E Romero; F Leggio Neme; L Tortora; P Fernández González; N Grellet Naval; L Vera & J López Guzmán. 2015. Fertilización de la caña de azúcar. En: Digonzelli Patricia Andrea. Guía Técnica del Cañero. EEAOC. Tucumán. Argentina Pag. 187-197.
- Aso, PJ & N Dantur. 1971. Efectos de las aplicaciones de calcio y magnesio sobre el rendimiento y calidad de la naranja Valencia en un suelo ácido. RIAT 49(2): 9-16. ISSN 0370-5404
- Aso, PJ & V Bustos. 1978. Efectos de la fertilización diferencial NPK en una quinta cítrica sobre la composición química del suelo. RIAT 57(2): 9-13. ISSN 0370-5404
- Aso, PJ & V Bustos. 1980. Condiciones de suelo relacionadas con la deficiencia de magnesio de los citrus en Tucumán. RIAT 57(2): 9-13. ISSN 0370-5404
- Buckman, HO & NC Brady. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Montaner y Simon S.A. Aragon 255, Barcelona. España Pág 374-375
- Cruzate, G & E Rivero. 2008. Potasio, Calcio y Magnesio: Mapas de disponibilidad en distintos suelos de la república Argentina. Resúmenes del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. ISBN 978-987-9269-61-6.
- Fogliata, F.A. 1995. Fertilización. En: Agronomía de la Caña de Azúcar, Vol. 3. El Graduado. Tucumán.
- Hernández, CF & RL Figueroa. 2005. Citrus. Editores: Echeverria H y García F. Fertilidad de los suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA. Balcarce. Argentina Pag. 425-443.
- Pérez Zamora, F. 1999. Los suelos y el uso de los fertilizantes en la Caña de Azúcar para la provincia de Tucumán. Tesis Doctoral. INICA. La Habana, Cuba.
- Pérez Zamora, F. 2005. Caña de Azúcar. Editores: Echeverria H y García F. Fertilidad de los suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA. Balcarce. Argentina Pag. 379-397.
- Sanzano, GA; E Arroyo; N Aranda; H Rojas Quinteros; F Madrid & J Di Marco. 2017. Muestreo intensivo para determinar la fertilidad del área cañera de la provincia de Tucumán-Argentina. XIV Congreso Internacional sobre el azúcar y derivados. Cuba.
- Zuccardi, RB & G Fadda. 1985. Bosquejo agroecológico de la provincia de Tucumán. Misc. 86. Facultad de Agronomía y Zootecnia. UNT. Tucumán. Argentina

C3P8. ENCALADO EN SUELOS SUBTROPICALES DEL NORESTE ARGENTINO

Barbaro, Sebastián; Iwasita, Bárbara; Guerrero, Diego; Bálsamo, Maricel; Sosa, Domingo; Moretti, Lucas; Albarracín, Silvia y Alvarenga, Fernando.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Cerro Azul. Ruta Nacional Nº 14 Km. 836 (3313), Cerro Azul, Misiones. Argentina. barbaro.sebastian@inta.gob.ar

RESUMEN

El aporte de enmiendas de tipo calcáreas como corrección de la acidez de suelo es una práctica recomendada en Misiones donde existen suelos ácidos. Los fundamentos de esta práctica se relacionan con la necesidad de que ciertos elementos tóxicos para la planta sean insolubles y por el contrario, que se encuentren disponibles los nutrientes esenciales para su desarrollo y crecimiento. Para determinar la dosis de encalado existen innumerables métodos, habiendo cálculos tendientes a neutralizar el aluminio y otros simplemente para elevar el pH del suelo a rangos más eficientes. Sin embargo no se cuenta con suficiente información local acerca de encalado en suelos rojos. Entre los materiales utilizados con mayor frecuencia se encuentran la dolomita, un mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio y cenizas, esta última obtenida como subproducto de la industria yerbatera. El objetivo de este trabajo fue evaluar dos maneras de calcular la dosis de corrección de pH, una que tiene en cuenta la neutralización de aluminio y otra que considera el estado de saturación del complejo de cambio. Además se midió el efecto sobre el rendimiento de *Stevia rebaudiana* Bertoni ("Stevia") y también se evaluó a la ceniza como correctora de la acidez del suelo. Se llevaron a cabo dos ensayos ubicados en parcelas aledañas a la EEA Cerro Azul, el diseño para ambos ensayos fue de bloques completos aleatorizados con dos tratamientos y tres repeticiones. El primer ensayo se realizó sobre un suelo del orden Ultisol, donde se evaluaron las dos dosis de dolomita resultantes de las formulas propuestas. El segundo sobre un Alfisol, donde se evaluó la ceniza como correctora de pH en comparación a la dolomita. En ambos ensayos se tomaron muestras de suelo de los primeros 5 cm de profundidad en el período de un año con una frecuencia mensual para realizar las determinaciones de pH actual (en agua relación 1:2,5) y pH potencial (utilizando KCl 1N relación 1:2,5). Se realizó el análisis de cada material correctivo empleado. Como resultado, se elevó el pH del suelo Ultisol de 4,1 a 6,6 con la dosis de 2300 Kg y de 4,1 a 6,8 con la dosis de 4800 Kg. Los rendimientos de la Stevia fueron de 1100 kg ha^{-1} y 1200 kg h^{-1}a respectivamente. En el segundo ensayo, el comportamiento de la ceniza fue similar al de dolomita corrigiendo ambos materiales el pH del suelo en forma efectiva. Es posible realizar la corrección de la acidez del suelo considerando una dosis mínima para eliminar el aluminio intercambiable, ya que se obtienen valores de pH y rendimientos similares entre ambas dosis. La ceniza proveniente de la industria yerbatera es una opción válida como material correctivo, teniendo además otros beneficios para mejorar la fertilidad del suelo.

Palabras clave: suelos ácidos, pH, enmiendas.

C3P9. DISTANCIAMIENTO ENTRE HILERAS Y EFICIENCIA DE USO DE FOSFORO EN MAÍZ BAJO SIEMBRA DIRECTA

Barbieri, PA[1,2]; Echeverría, HE[1]; Sainz Rozas HR[1,2] y Andrade, FH[1,2]

[1]Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Ruta Nac. 226 km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. [2]CONICET.
*Autor de contacto: barbieri.pablo@inta.gob.ar

RESUMEN

La reducción de la distancia entre hileras ha demostrado incrementar la eficiencia de uso de nitrógeno (N) en el cultivo de maíz bajo SD. Sin embargo, se dispone de poca información sobre los efectos del espaciamiento entre hileras y de la disponibilidad de N sobre la eficiencia del uso de P. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia de uso de P, en el cultivo de maíz bajo SD en respuesta al espaciado entre hileras bajo diferentes regímenes de N durante dos estaciones de crecimiento. Los tratamientos evaluados fueron tres espaciamientos entre hileras (35, 52 y 70 cm) y tres dosis de N (0, 90 y 180 kg N ha^{-1}). Se determinó la materia seca (MS) en V6 y madurez fisiológica, el rendimiento en grano y el P acumulado por el cultivo. Además se calculó la eficiencia de utilización de P (EUP = g MS o rendimiento de grano por g de P absorbido), eficiencia de absorción de P (EA = g P absorbido / g P disponible), eficiencia de uso de P (EU = g rendimiento MS o grano por g de P disponible). La dosis de N y la reducción de la distancia entre hileras aumentaron la MS total, el rendimiento en grano y el contenido de P acumulado. La concentración de P, EUP, EA, EU en MS o en grano no se vieron afectadas por el espaciamiento entre hileras o la dosis de N. El presente estudio mostró que el espaciamiento entre hileras no afectó la eficiencia de uso de P en maíz bajo siembra directa cuando la disponibilidad de P en el suelo no fue limitante.

Palabras claves: fertilización, manejo de cultivo, eficiencia de uso de nutrientes

INTRODUCCIÓN

Después del nitrógeno, el fósforo (P) es el nutriente más importante que limita la producción de cultivos. La eficiencia del uso de P para la producción de cereales es baja si se evalúa en el corto plazo (a la cosecha del cultivo), y dicho valor puede oscilar del 16 al 20% del P aplicado (Dhillon *et al*., 2017). Por lo tanto, es imprescindible identificar estrategias y prácticas de manejo que mejoren la eficiencia del uso de dicho nutriente. La eficiencia de utilización de fósforo (EUP) puede aumentar de dos maneras: incrementando la eficiencia de uso de P (EU = DM o rendimiento en grano por unidad de P disponible) o eficiencia de recuperación de P (ER = capacidad del sistema de raíces para obtener P del suelo). Existen reportes que indican aumentos en la eficiencia de uso de P según el método de aplicación de P, fuente, dosis o momento de aplicación (Wittry & Mallarino 2004; Lombi *et al.*, 2006; Mosali *et al.*, 2006; Barbieri *et al.*, 2014). Sin embargo, es escasa la información existente del efecto de las prácticas de manejo de cultivo sobre la eficiencia del uso de P.

La disminución del espaciamiento entre hileras, al igual que la densidad de plantas, produce una distribución más equidistante de plantas dentro de la hilera, y ayudará a minimizar la competencia entre las plantas por agua, nutrientes y luz (Shibles & Weber, 1966; Bullock *et al.*, 1988). Ma *et al.* (2003) plantearon la hipótesis que plantas de maíz en hileras estrechas asignan más materia seca acumulada tempranamente a sus raíces aumentando la densidad de raíces, volviéndose así más tolerantes al estrés y más eficientes en la absorción de nutrientes. Dado que las raíces de las plantas entran en contacto con solo 1 o 2% del volumen total del suelo, sería de esperar que los cambios en el tamaño y la distribución del sistema de raíces tengan un impacto en la absorción de nutrientes. Esto sería especialmente cierto para los nutrientes poco móviles como P, donde la absorción se debe principalmente a la difusión y la intercepción radicular. Sharratt & McWilliams (2005) informaron que la densidad de raíces en el entre surco era mayor para cultivos de maíz con distancia entre hileras reducidas que para espaciamientos a 70 cm. Por lo tanto, la reducción de la distancia entre hileras podría aumentar la absorción de P y la eficiencia de recuperación. Aumentos en la eficiencia de recuperación de N por efecto de reducir la distancia entre hileras en el cultivo de maíz fueron informados por Barbieri *et al.* (2008). No obstante, el efecto de la reducción de la distancia entre hileras sobre la eficiencia de uso de P no ha sido cuantificado. La mejora en la

eficiencia del uso de nutrientes es un objetivo esencial para la agricultura sustentable. En tal sentido, el objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia de recuperación de P en maíz en función del distanciamiento entre hileras y la dosis de N.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron durante dos estaciones de crecimiento en la EEA-INTA Balcarce. El suelo fue un complejo de Argiudoll Tipico y un Paleudoll petrocálcico (horizonte petrocálcico inferior a 70 cm), con una textura franca en la capa superficial (0-25 cm de profundidad), franco a franco arcilloso en el subsuelo (profundidad de 25-110 cm) y franco arenoso debajo de la profundidad de 110 cm (horizonte C). El contenido de disponible (P Bray-1) en el suelo fue de 17,2 y 36,9 mg kg^{-1} en la estación de crecimiento 1 y 2, respectivamente. En ambas estaciones de crecimiento, el cultivo antesesor fue maíz y la cobertura del suelo por los residuos fue entre 80 y 90%. En ambas campañas, se fertilizó a la siembra con 20 kg P ha^{-1} y se aplicaron riegos complementarios para garantizar el agua no limitara el crecimiento del cultivo. Las malezas y los insectos fueron controlados de manera efectiva.

El diseño experimental fue en parcelas dividas con tres repeticiones, donde la parcela principal fue la dosis de N (0, 90 y 180 kg de N ha^{-1}) y la subparcela fue la distancia entre hileras (70, 52 y 35 cm). El fertilizante nitrogenado aplicado fue urea (46% N) al momento de la siembra. En los estadios de V6 y madurez fisiológica, se cosecharon 10 plantas de maíz de las tres hileras interiores para determinar la acumulación de materia seca (MS). Las muestras se secaron en estufa (60ºC), se pesaron y se molieron. El P orgánico total se determinó por digestión ácida con HNO_3 y $HClO_4$ (Saunder & Williams 1955) y se cuantificó mediante colorimetría (Murphy & Riley 1962). El P total acumulado en cada fracción se calculó como el producto de la concentración de P (base de peso seco) y el peso seco. En la madurez, tres hileras interiores de 7,15 m de largo de cada unidad experimental fueron cosechadas a mano para determinar el rendimiento de grano expresado al 14% de humedad.

En los estadios de V6 y R6 se determinó: eficiencia de utilización de P (EUP = g MS o rendimiento de grano por g de P absorbido), eficiencia de absorción de P (EA = g P absorbido / g P disponible), eficiencia de uso de P (EU = g rendimiento MS o grano por g de P disponible) (Sandaña & Pinochet, 2014). Los resultados fueron analizados mediante análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el Sistema de Análisis Estadístico (SAS Institute, 2008). Las diferencias entre medias de tratamiento se evaluaron usando el Test de Tukey ($P<0,05$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca acumulada y rendimiento en grano

En ambas campañas, la acumulación de MS en V6 no fue afectada por el espaciamiento entre hileras yla dosis de N aumentó significativamente la MS solo en el año 1 (Tabla 1). En madurez fisiológica, se determinó interacción significativa distanciamiento x dosis de N en el año 1 (Tabla 1). La MS acumulada se incrementó solamente en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sin aplicación de N. En el año 2, la MS acumulada solamente se incrementó significativamente por efecto de la dosis de N (Tabla 1). El incremento en la MS acumulada sería el resultado de una mayor proporción de radiación incidente interceptada en los espaciamientos reducidos (Bullock *et al.*, 1988; Teasdale 1995; Barbieri *et al.*, 2000). Incrementos en la MS acumulada por efecto de reducir el espaciamiento entre hileras han sido informados por otros autores (Bullock *et al.*,1988; Cox *et al.*,1998; Cox *et al.*,2006).

Se determinó interacción significativa distanciamiento entre hileras x dosis de N para el rendimiento de grano en el año 1. Al igual que lo determinado para MS, el rendimiento solamente se incrementó en los tratamientos con distancia entre hileras reducidas sin aplicación de N (Figura 1). En el año 2, el rendimiento en grano se incrementó significativamente por el efecto del espaciamiento y la dosis de N (Figura 1). La respuesta en rendimiento a la reducción del espaciamiento entre hileras fue el resultado de una mayor radiación interceptada durante el período crítico de determinación de rendimiento (Barbieri *et al.*, 2000; Andrade *et al.*, 2002). Incrementos de rendimiento por efecto de la reducción de la distancia entre hileras también han sido informados por Bullock *et al.*(1988), Porter *et al.* (1997), Ottman & Welch (1989), Barbieri *et al.*, 2000; Andrade *et al.* (2002), Widdicombe & Thelen (2002), Shapiro & Wortmann (2005), Acciaresi & Chidichimo (2007).

Fósforo acumulado, eficiencia de utilización, eficiencia de absorción y eficiencia de uso de P

En ambos años, la concentración de P no fue afectada por el espaciamiento entre hileras o la dosis de N (Tabla 1). En madurez fisiológica, la acumulación de P (MS o grano) se incrementó significativamente por efecto del espaciamiento y la dosis de N. Sin embargo, esto se debió principalmente a las diferencias en la acumulación de MS o rendimiento en lugar de la concentración de P (Tabla 1). En ambos años, el índice de cosecha de P no fue afectado por el espaciamiento o la dosis de N siendo en promedio de 0,84 (datos no mostrados).

En ambos años, el espaciamiento entre hileras y la dosis de N no afectaron la EUP, EA ni EU (Tabla 2) como consecuencia de que no hubo cambios significativos en la absorción de P. Los nutrientes y la absorción de agua por las plantas están muy influenciados por el desarrollo y la morfología del sistema radicular (Eghball *et al.*, 1993). Palmer *et al.* (1973) y Fairey & Daynard (1978) informaron que cultivos creciendo con mayores espaciamientos entre hileras resultan en una mayor intercepción de radiación por las hojas inferiores, que suministran carbohidratos a las raíces para la absorción de nutrientes y otros procesos metabólicos. Por otro lado, Ma *et al.* (2003) propusieron que las plantas de maíz que crecen en espacios estrechos entre las hileras podrían asignar más asimilados a las raíces, siendo más eficientes en la absorción de nutrientes. Sin embargo, los resultados de la concentración de P en este estudio (MS o grano) mostraron que el espaciamiento entre hileras no afectó la absorción de P (Tabla 1) y, por lo tanto, EUP, EA, EU y ER no se vieron afectados por el espaciamiento entre hileras (Tabla 2). Ottmann & Welch (1988) informaron que los patrones de siembra no influyeron en la concentración de nutrientes de las plantas. Sin embargo, Hoff &Mederski (1960) encontraron que un espaciamiento de plantas más equidistante daba como resultado una mayor concentración de P en suelos con baja disponibilidad de P. En este experimento, la disponibilidad de P en el suelo fue óptima (17,2 mg kg^{-1}) y muy alta (36,9 mg kg^{-1}) en el año 1 y 2, respectivamente. Barbieri *et al.* (2008) informaron incrementos en la eficiencia de uso de N por efecto de la reducción de la distancia entre hileras. Esto fue debido principalmente al aumento en la eficiencia de recuperación en cultivos deficientes en N. Por lo tanto, futuras investigaciones podrían contemplar el efecto del espaciamiento entre hileras en la eficiencia de uso de P en suelos con baja disponibilidad de P.

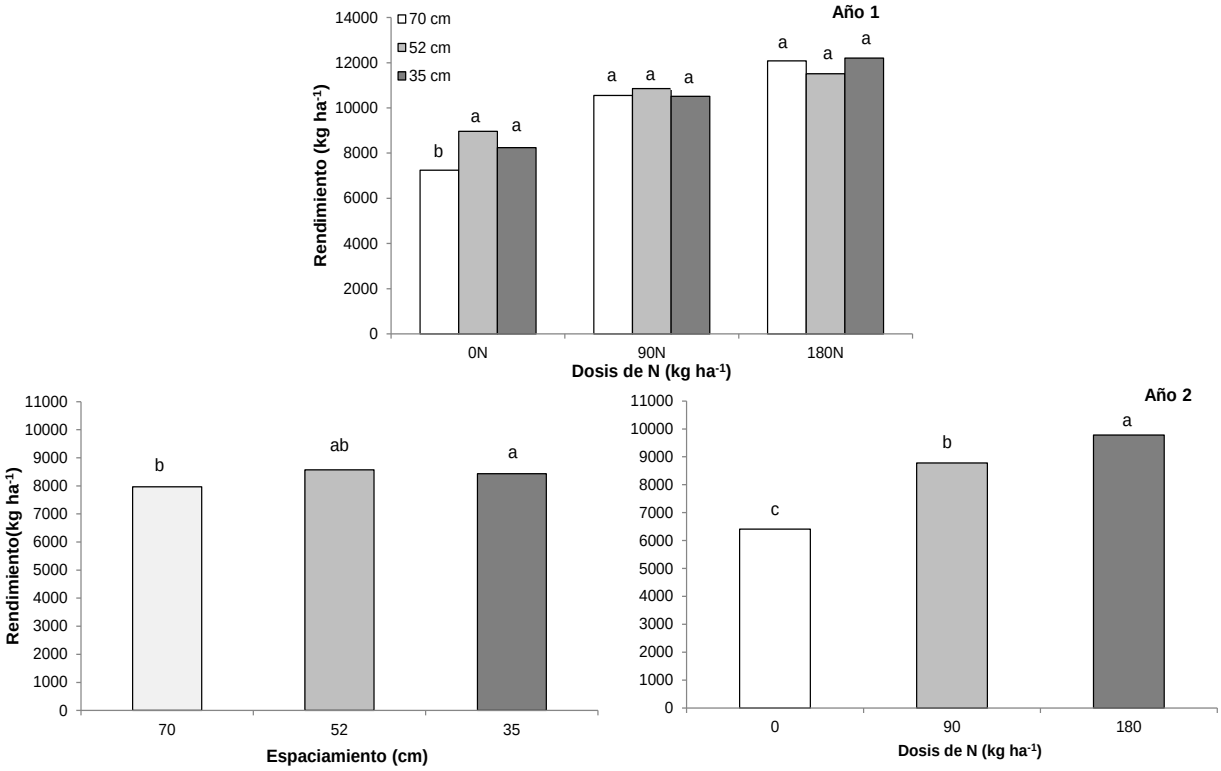


Figura 1: Rendimiento en grano del cultivo de maíz bajo SD afectado por el espaciamiento entre hileras y la dosis de N durante dos años. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5% de probabilidad.

CONCLUSIONES

El presente estudio mostró que el espaciamiento entre hileras no afectó la eficiencia de uso de P en maíz bajo SD cuando la disponibilidad de P en el suelo fue adecuada.

Tabla 1: Materia seca y contenido de P afectado por el espaciamiento entre hileras y la dosis de N durante dos estaciones de crecimiento.

Tratamiento		Año 1							Año 2						
		V6			Madurez Fisiológica				V6			Madurez Fisiológica			
Espaciamiento	N	MS	Contenido de P		MS	P content		P en grano	MS	Contenido de P		MS	P content		P en grano
cm	Kg ha^{-1}	Kg ha^{-1}	%	Kg ha^{-1}	Kg ha^{-1}	%	Kg ha^{-1}	%	Kg ha^{-1}	%	Kg ha^{-1}	Kg ha^{-1}	%	Kg ha^{-1}	%	Kg ha^{-1}
70	180	774,8	0,37	2,8	19094,4	0,17	31,1	0,25	26,2	435,5	0,35	1,41	16646,7	0,17	28,6	0,28	23,4
52	180	762,2	0,37	2,7	18819,9	0,19	35,2	0,30	30,0	459,3	0,35	1,52	17222,4	0,18	31,2	0,29	25,5
35	180	736,8	0,38	2,8	20255,4	0,19	36,3	0,29	31,0	451,6	0,32	1,56	16475,9	0,18	29,3	0,29	22,9
70	90	686,9	0,36	2,5	17706,5	0,17	28,8	0,26	23,9	408,5	0,36	1,30	15252,5	0,18	26,6	0,28	20,1
52	90	681,7	0,36	2,4	18790,5	0,16	29,8	0,26	24,2	419,7	0,33	1,46	15827,8	0,20	30,4	0,32	24,5
35	90	775,4	0,36	2,8	17625,2	0,20	34,8	0,29	26,3	402,5	0,35	1,42	15879,6	0,18	28,4	0,28	22,0
70	0	483,5	0,35	1,7	12990,1	0,17	23,6	0,27	17,2	278,1	0,35	1,03	11058,0	0,17	19,9	0,29	15,5
52	0	550,5	0,37	2,0	15491,2	0,18	27,1	0,31	20,7	385,2	0,35	1,43	11742,7	0,17	20,4	0,29	16,2
35	0	562,9	0,36	2,0	14566,9	0,18	25,0	0,29	20,8	391,4	0,36	1,56	12140,6	0,18	22,1	0,30	17,1
Promedio																	
70	-	648,4 a	0,36 a	2,3 a	16597,0	0,17 a	27,8 a	0,26 a	22,4 a	374,0 a	0,35 a	1,24 a	14319,1 a	0,17 a	25,0 b	0,28 a	19,8 a
52	-	664,5 a	0,36 a	2,4 a	17700,5	0,18 a	30,7 a	0,29 a	25,0 a	421,4 a	0,34 a	1,47 a	14930,1 a	0,18 a	27,3 a	0,30 a	22,0 a
35	-	691,7 a	0,37 a	2,6 a	17482,5	0,19 a	32,0 a	0,29 a	26,0 a	415,2 a	0,34 a	1,51 a	14832,0 a	0,18 a	26,6 a	0,29 a	20,7 a
-	180	758,0 a	0,37 a	2,7 a	19389,9	0,18 a	34,2 a	0,28 a	29,0 a	448,7 a	0,34 a	1,50 a	16781,7 a	0,17 a	29,7 a	0,29 a	23,9 a
-	90	714,6 a	0,36 a	2,5 a	18040,7	0,18 a	31,1 a	0,27 a	24,8 b	410,2 a	0,35 a	1,39 a	15653,3 b	0,19 a	28,4 a	0,29 a	22,2 b
-	0	532,2 b	0,36 a	1,9 b	14349,4	0,18 a	25,2 b	0,29 a	19,6 c	351,5 a	0,35 a	1,34 a	11647,1 c	0,17 a	20,8 b	0,29 a	16,3 c
ANOVA																	
Espaciamiento (E)		ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Nitrógeno (N)		*	ns	*	*	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*
E*N		ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* Significativo 5% de probabilidad. ns, no significativo.

Tabla 2: Eficiencia de utilización de P (EUP = g MS o rendimiento de grano por g de P absorbido), eficiencia de absorción de P (EA = g P absorbido / g P disponible), eficiencia de uso de P (EU = g rendimiento MS o grano por g de P disponible).

Tratamiento		Año 1						Año 2					
		V6			Madurez Fisiológica			V6			Madurez Fisiológica		
Espaciamiento	N	EUP	EA	EU	EUP	EA	EU	EUP	EA	EU	EUP	EA	EU
cm	Kg ha^{-1}												
70	180	271,8	0,046	12,6	338,7	0,501	169,6	288,3	0,014	4,0	290,6	0,263	76,1
52	180	273,1	0,044	12,1	286,2	0,574	161,6	292,6	0,015	4,2	281,5	0,288	80,8
35	180	262,3	0,046	12,0	292,3	0,593	171,4	315,0	0,014	4,2	282,4	0,270	75,5
70	90	279,6	0,040	11,2	316,9	0,468	148,2	280,7	0,014	3,8	276,8	0,245	66,6
52	90	284,2	0,039	10,8	313,1	0,487	152,4	304,7	0,013	3,9	258,5	0,280	71,6
35	90	277,0	0,046	12,7	261,2	0,568	147,6	295,5	0,013	3,7	267,7	0,265	70,5
70	0	284,1	0,041	11,7	266,6	0,573	150,9	282,0	0,011	3,1	256,0	0,225	57,1
52	0	270,8	0,048	12,9	255,4	0,638	163,6	287,2	0,015	4,3	272,6	0,230	62,9
35	0	276,6	0,050	13,6	284,0	0,605	171,7	283,1	0,015	4,4	267,2	0,249	66,7
Promedio													
70	-	278,5 a	0,043 a	11,9 a	307,4 a	0,514 a	156,2 a	283,7 a	0,013 a	3,6 a	274,4 a	0,244 a	66,6 a
52	-	276,0 a	0,044 a	11,9 a	284,9 a	0,566 a	159,2 a	294,8 a	0,015 a	4,1 a	270,9 a	0,266 a	71,8 a
35	-	272,0 a	0,047 a	12,8 a	279,2 a	0,589 a	163,6 a	297,9 a	0,014 a	4,1 a	272,4 a	0,262 a	70,9 a
-	180	269,1 a	0,045 a	12,2	305,8 a	0,556 a	167,5 a	298,6 a	0,014 a	4,1 a	284,8 a	0,274 a	77,5 a
-	90	280,3 a	0,042 a	11,6	297,1 a	0,508 a	149,4 a	293,6 a	0,013 a	3,8 a	267,7 a	0,263 a	69,6 a
-	0	277,1 a	0,046 a	12,8	268,6 a	0,605 a	162,1 a	284,1 a	0,014 a	4,0 a	265,3 a	0,235 a	62,2 a
ANOVA													
Espaciamiento (E)		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Nitrógeno (N)		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
E*N		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* Significativo 5% de probabilidad. ns, no significativo.

BIBLIOGRAFÍA

- Acciaresi, HA & Chidichimo, HO. 2007. Spatial pattern effect on corn (Zea mays) weeds competition in the humid Pampas of Argentina. Int. J. Pest Manag. 53:195-206.
- Andrade, FH; Calviño, PA; Cirilo, A & Barbieri, P.A. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. Agron. J. 94:975–980.
- Barbieri, PA; Sainz Rozas, HR; Andrade, FH & Echeverría, H.E. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. Agron. J. 92:283–288.
- Barbieri, PA; Echeverría, HE; Sainz Rozas, HR & Andrade, FH. 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. Agron. J. 100:1094–1100.
- Barbieri, PA; Sainz Rozas, HR; Covacevich, F & Echeverría, HE. 2014. Phosphorus Placement Effects on Phosphorous Recovery Efficiency and Grain Yield of Wheat under No-Tillage in the Humid Pampas of Argentina. Int. J. of Agronomy Volume 2014, Article ID 507105, 12 pages
- Bullock, DG; Nielsen, RL& Nyquist, WE. 1988. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. Crop Sci. 28:254–258.
- Cox, WJ; Cherney, DJR & Hanchar, JJ. 1998. Row spacing, hybrid and plant density e ff ects and quality. J. Prod. Agric. 11:128–134.
- Cox, WJ; Hanchar, JJ; Knoblauch, WA & Cherney, JH. 2006. Growth, yield, quality, and economics of corn silage under different row spacings. Agron. J. 98:163–167.
- Dhillon, J; Torres, G; Driver, E; Figueiredo, B & Raun, WR. 2017. World phosphorus use efficiency in cereal crops. Agron. J. 109:1670–1677..
- Eghball, B; Settimi, JR; Maranville, JW & Parkursr, AM. 1993. Fractal analysis for morphological description on corn roots under nitrogen stress. Agron. J. 85: 287-289.
- Fairey, NA & Daynard, TB. 1978. Assimilate distribution and utilization in maize. Can. J. Plant Sci. 58: 719-730.
- Hoff, DJ & Mederski, HJ. 1960. Effect of equidistant corn plant spacing on yield. Agron. J. 52:295-297.
- Lombi, E; Scheckel, KG; Armstrong, RD; Forrester, S; Cutler, JN & Paterson, D. 2006. Speciation and distribution of phosphorus in a fertilized Soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 70:2038–2048..
- Ma, BL; Dwyer, LM & Costa, C. 2003. Row spacing and fertilizer nitrogen effects on plant growth and grain yield of maize. Can. J. Plant Sci. 83: 241-247.
- Mosali, J; Desta, K; Teal, RK; Freeman, KW; Martin, KL; Lawles, JW & Raun, WR. 2006. Effect of foliar application of phosphorus on winter wheat grain yield, phosphorus uptake, and use efficiency. J. Plant Nutr. 29:2147–2163.
- Murphy, J & Riley, JP. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta.27: 31-36.
- Ottman, MJ & Welch, LF. 1989. Planting pattern and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. Agron. J. 81:167–174.
- Palmer, AFE; Heichel, GH & Musgrave, RB. 1973. Patterns of translocation, respiratory loss, and redistribution of 14C in maize labeled after flowering. Crop Sci. 13: 371-376.
- Porter, PM; Hicks, DR; Lueschen, WE; Ford, JH; Warnes, DD & Hoverstad, TR. 1997. Corn response to row width and plant populations in the northern Corn Belt. J. Prod. Agric. 10: 293-300.
- Sandaña, P & Pinochet, D. 2014 Grain yield and phosphorus use efficiency of wheat and pea in a high yielding environment. J. Soil Sci. Plant Nutr. 14, 973–986.
- Sander, D; Penas, E & Eghball, B. 1990. Residual effects of various phosphorus application methods on winter wheat and grain sorghum. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:1473–1478.
- SAS Institute. 2008 .The SAS system for windows. Version 9.2. SAS Institute, 384 Cary, NC.
- Saunders, WMH & Williams, EG. 1955. Observations on the determination of total organic phosphorus in soil. J. Soil Sci. 6: 254-267.
- Sharratt, BS & McWilliams, DA. 2005. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. Agron. J. 97:1129–1135.Stivers, R.K., Griffith, D.R. & Christmas, E.P. 1971. Corn performance in relation to row spacings, populations, and hybrids on five soils in Indiana. Agron. J. 63:580–582.
- Widdicombe, WD. & Thelen, KD. 2002. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern corn belt. Agron. J. 94:1020–1023.
- Wittry, DJ & Mallarino, AP. 2004. Comparison of uniform and variable rate phosphorus fertilization for corn–soybean rotations. Agron. J. 96:26–33.

C3P10. RESPUESTA DEL CULTIVO DE SOJA (*Glycine max.*) AL AGREGADO DE ZINC Y BORO

Barbieri, Pablo A.[1,2]; Sainz Rozas, Hernán R.[1,2]; Echeverría, Hernán E.[1]; Salvagiotti, Fernando[3]; Ferraris, Gustavo H.[4]; Sánchez, Héctor A.[5]; Caceres Diaz, Raúl O.[6] y Bustos, Ana N.[7]

[1]Unidad Integrada INTA-FCA, Ruta 226 km 73.5, Balcarce, Argentina (7620); [2]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); [3]Estación Experimental Agropecuaria Oliveros – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ruta 11 km 353, Oliveros, Argentina (2206); [4]Estación Experimental Agropecuaria Pergamino – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Av. Frondizi Km 4,5, Pergamino, Buenos Aires, Argentina (2700); [5]Estación Experimental Agropecuaria Famaillá – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ruta Prov. 301 km 32, Famaillá, Tucumán, Argentina (4132); [6]Estación Experimental Agropecuaria Salta – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ruta Nac. 68 - Km 172, Cerrillos Salta, Argentina (4403); [7]Estación Experimental Agropecuaria Manfredi – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ruta Nac. 9 km 636, Manfredi, Argentina (5988)
Autor de contacto: barbieri.pablo@inta.gob.ar

RESUMEN

El zinc (Zn) y el boro (B) son los principales micronutrientes que se mencionan como factibles de producir mermas en el rendimiento. Existe escasa información sobre modelos de diagnóstico y estrategias de fertilización con Zn y B para soja y sobre la influencia de otros factores edáficos que afectan su disponibilidad. Los objetivos de este trabajo fueron determinar la respuesta en rendimiento en grano (RG) al agregado de Zn y B en el cultivo de soja y evaluar la contribución de algunas variables edáficas a modelos de diagnóstico. Se condujeron 14 experimentos en la región pampeana y extrapampeana evaluando cuatro tratamientos: Testigo (sin la aplicación de Zn y B), y con aplicación foliar de: Zn, B y Zn +B, dispuestos en un diseño en bloques completos aleatorizados. Se tomaron muestras de suelo a 0-20 cm y se analizó: pH, MO, PBray^{-1}, contenido de Zn-DTPA y B extractable con agua caliente. Se determinó un amplio rango de valores de disponibilidad de Zn y B en los sitios experimentales, oscilando entre 0,8 y 7,1 mg kg^{-1} y 0,6 a 2,1 mg kg^{-1}, respectivamente. Los rendimientos promedios a través de los sitios variaron desde 1,89 a 5,49 Mg ha^{-1} y no fueron afectados por la fertilización con Zn, B o Zn+B. Se comprobó una interacción significativa ($P \leq 0,01$) entre sitio*fertilización para el RG, y se observó una respuesta diferente a través de los sitios (desde -0,524 hasta 0,488 Mg ha^{-1}). La inclusión del pH, MO y P-Bray a un modelo de diagnóstico de Zn y B extractables, no fue significativa ($P \geq 0,01$). Para el cultivo de soja, los umbrales internacionales de Zn y B en suelo serían adecuados para el diagnóstico de su deficiencia y no serían limitantes para las condiciones edafoclimáticas evaluadas en esta experiencia.

Palabras claves: micronutrientes; fertilización; disponibilidad

INTRODUCCIÓN

La soja (*Glycine max.*) es el principal cultivo de grano en Argentina y el de mayor producción, cuya superficie sembrada representa el 54% de las casi 35 millones de hectáreas sembradas (2006-2016) (SIIA, 2017). El incremento sostenido de su producción se ha basado fundamentalmente en el aumento del área sembrada en la región pampeana, desplazando al maíz y al girasol, y en regiones extra pampeanas, ya sea desplazando a otros cultivos o abriendo nuevas áreas de producción (García F.O, 2015). Pese a esto, el rendimiento promedio nacional presenta una brecha del 32% respecto a rendimiento potencial que puede alcanzar dicho cultivo en secano (Aramburu Merlos *et al.*, 2015). Una de las causas de la brecha productiva, es la escasa aplicación de tecnología y bajo nivel de fertilizantes utilizados en años favorables, lo que resulta en balances negativos de nutrientes.

La agricultura argentina se desarrolló inicialmente, basándose en la alta fertilidad natural de los suelos, con bajo uso de fertilizantes y, en el caso de la región pampeana, con rotaciones de cultivos anuales y pasturas perennes. El deterioro progresivo de la capacidad de abastecimiento de nutrientes, como resultado de pérdidas de materia orgánica (MO) y de balances negativos de nutrientes, generó deficiencias de N, P, S y, recientemente, de micronutrientes como boro (B) y zinc (Zn) (García & Diaz Zorita, 2015). Además, esta caída se ha producido fundamentalmente a expensas de las fracciones más lábiles de la misma, las que poseen mayor capacidad de liberar nutrientes. Si bien se emplean fertilizantes con nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), los cultivos exportan otros nutrientes que no son repuestos como es el caso de algunos micronutrientes como Zn y B, que podrían afectar el rendimiento de los mismos. Teniendo en cuenta que, las plantas de soja obtienen alrededor del 60% del N a través de la fijación biológica y que el requerimiento

de P, para alcanzar el 90% del rendimiento máximo, es considerablemente más bajo que para el trigo y el maíz, es relevante considerar los requerimientos de otros nutrientes como el S y de micronutrientes, como Zn y B. Dichos micronutrientes, son elementos esenciales en la nutrición de las plantas, requeridos en pequeñas cantidades, pudiendo su deficiencia limitar las funciones metabólicas y con ello, provocar disminución en el rendimiento y calidad de grano. Dichas deficiencias son menos frecuentes que para el caso de N, P y S en los suelos de la región pampeana, ya sea por no manifestarse en forma aguda, o porque debido a la falta de investigación, no se las ha detectado e informado (Fontanetto *et al.*, 2009).

Recientemente, en un relevamiento de los niveles de Zn y B en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana, Eyherabide *et al.* (2012) y Sainz Rozas *et al.* (2012), determinaron que los niveles de Zn en suelos bajo agricultura han disminuido notablemente (65 al 74%, respecto de la condición prístina), encontrándose cercanos a los umbrales de deficiencia mencionados en la bibliografía. Para el caso de B, se produjo una reducción de los niveles en los suelos bajo agricultura siendo la misma de menor magnitud respecto a Zn, y en gran parte de la región pampeana, estos niveles de B no serían limitantes. En cambio, principalmente al norte de dicha región, se han determinado valores cercanos o por debajo de los umbrales críticos internacionales, en coincidencia con lo reportado por Torri *et al.* (2011) y Miretti *et al.* (2012). En este contexto, se comenzaron a realizar estudios de respuesta a la aplicación de B y Zn en cultivos extensivos, como maíz, trigo y girasol en distintas áreas de la región pampeana (Ratto *et al.*, 1999; Melgar *et al.*, 2001; Sainz Rozas *et al.*, 2003; Ferraris *et al.*, 2009; Espósito *et al.*, 2010; Barbieri *et al.*, 2017).

Existe escasa información sobre modelos de diagnóstico y fertilización con Zn y B en el cultivo de soja, debido particularmente a que, en los estudios realizados a campo no se determinaron respuestas o los métodos de diagnóstico utilizados no fueron efectivos para predecir la misma (Enderson *et al.*, 2015). En este contexto, la baja correlación entre los niveles extraídos y la respuesta a la fertilización, sugieren que otras variables edáficas tales como la MO, pH, y P-Bray (Havlin *et al.*, 1999; Catlett *et al.*, 2002; Alloway, 2009) pueden afectar la disponibilidad de Zn y B; por lo que su inclusión a los modelos de diagnóstico podría mejorar las estimaciones de respuesta en el cultivo de soja.

El Zn y el B son los principales micronutrientes que se mencionan como factibles de producir mermas en el rendimiento, ya que se encuentran por debajo del rango de suficiencia en gran parte de los suelos agrícolas de la región pampeana argentina. Es escasa la información que existe sobre la respuesta a la fertilización en el cultivo soja, por lo que surge la necesidad de explorar su ocurrencia en dicho cultivo, que representa más del 50% de la superficie sembrada en nuestro país. Los objetivos de este trabajo fueron determinar la respuesta en rendimiento al agregado de Zn y B en el cultivo de soja y evaluar la contribución de algunas variables edáficas (pH, MO, P-Bray) a modelos de diagnóstico, para mejorar la precisión en las predicciones de respuesta bajo condiciones de campo, prevenir deficiencias y promover un manejo racional de la fertilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 14 experimentos en la región pampeana y extrapampeana (provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Santiago del Estero, Tucumán y Chaco) evaluando cuatro tratamientos: Testigo (sin la aplicación de Zn y B), Zn (foliar aplicado en V6 750 g ha^{-1}, (Fehr & Caviness, 1977), B (foliar aplicado en R1 150 g ha^{-1}, (Fehr & Caviness, 1977) y Zn +B (foliar aplicados en V6 y R1, respectivamente) dispuestos en un diseño en bloques completos aleatorizados. A la siembra se realizó un muestreo de suelo (0-20 cm) y se determinó: pH, MO (Walkey & Black, 1934), P disponible (Bray & Kurtz, 1945), contenido de Zn extractable con DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) y B extractable con agua caliente (Bingham, 1982).

Las prácticas de manejo como variedades, densidad de plantas, espaciamiento entre hileras, control de malezas e insectos fueron las que comúnmente son utilizadas por los productores de cada región. Al momento de la siembra, todos los experimentos fueron fertilizados con 20 kg P ha^{-1} y 15 kg S ha^{-1}. En madurez fisiológica se determinó el rendimiento en grano y fue ajustado al 13,5% de humedad.

Los datos fueron analizados (p=0,05) usando un diseño en parcelas divididas en donde la parcela principal fue el sitio experimental y la sub parcela los tratamientos de fertilización mediante el uso del procedimiento PROC MIXED del programa SAS 9.2 (SAS Inst., 2008). Se realizaron análisis de regresión entre el rendimiento relativo (RR) y las variables edáficas medidas (Zn-DTPA, B, pH, MO, y P-Bray) utilizando las rutinas del programa SAS 9.2 (SAS Inst., 2008). El RR se calculó como el cociente entre el rendimiento en grano promedio de cada tratamiento testigo dividido por el rendimiento promedio de cada tratamiento fertilizado, multiplicado por 100.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sitios en donde se llevaron a cabo los experimentos abarcan una gran área de condiciones edafoclimaticas de la Región Pampeana, esto se ve reflejado en los valores de pH, P disponible y MO de los suelos (Tabla 1). Se determinó un amplio rango de disponibilidad de Zn y B en los sitios experimentales, oscilando entre 0,8 y 7,1 mg kg^{-1} y 0,6 a 2,1 mg kg-1, respectivamente. Similar comportamiento se observó para pH (5.4 -7.8), contenido de MO (1.3-6.2 %) y P disponible (11,2-222,3 mg kg^{-1}) (Tabla 1). Teniendo en cuenta los umbrales de Zn (0,4-0,9 mg kg^{-1} Sims & Johnson, 1991) y B (< 0,5 mg kg^{-1} Gerwing & Gelderman, 2005) citados en la bibliografía, ningún sitio presentaría deficiencias de dichos nutrientes (Tabla 1).

Tabla 1: Características de suelo de los sitios experimentales

Sitio	pH	P	MO	Zn-DTPA	B
		mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
Balcarce 1	6,0	25,4	4,7	1,8	1,27
Balcarce 2	6,2	35,6	6,2	4,0	1,2
Balcarce 3 Secano	6,0	26,3	4,3	1,7	1,0
Balcarce 3 Riego	6,3	32,2	5,1	1,5	1,0
Oliveros 1	5,9	16,1	2,3	1,8	0,7
Oliveros 2	6,3	34,5	2,0	1,6	0,8
El Palomar, Santiago del Estero	8,0	84,2	2,3	3,8	1,4
La Cocha Pintos, Tucumán	7,0	11,2	2,8	1,9	0,7
La Cocha Padovani, Tucumán	7,8	110,3	2,1	7,1	1,7
Pergamino 1	5,5	19,7	3,7	0,8	1,5
Pergamino 2	5,4	15,7	3,4	0,9	0,6
Rafaela	5,8	52,9	2,6	6,3	1,1
Las Breñas, Chaco	7,1	222,3	2,3	2,3	1,8
Famailla, Tucumán	8,0	80,0	1,3	1,8	2,1

El rendimiento en grano fue afectado por la interacción ($P \leq 0,01$) sitio x fertilización. Dicha interacción fue consecuencia de la diferente respuesta a la fertilización a través de los sitios. A pesar de esta interacción, el rendimiento en grano no fue significativamente afectado ($P \geq 0,01$) por la fertilización con Zn, B o Zn+B, siendo la respuesta en redimiendo desde -0,524 hasta 0,488 Mg ha^{-1}. El rendimiento en grano fue afectado significativamente por la variable sitio ($P \leq 0,01$) (Figura 1). Los rendimientos promedios a través de los sitios variaron desde 1,89 a 5,49 Mg ha^{-1}. Como fue mencionado, utilizando los umbrales citados en la bibliografía para ambos micronutrientes ningún sitio se encontraría bajo dicho umbral y por lo tanto, no sería de esperar respuesta a la aplicación de Zn y B.

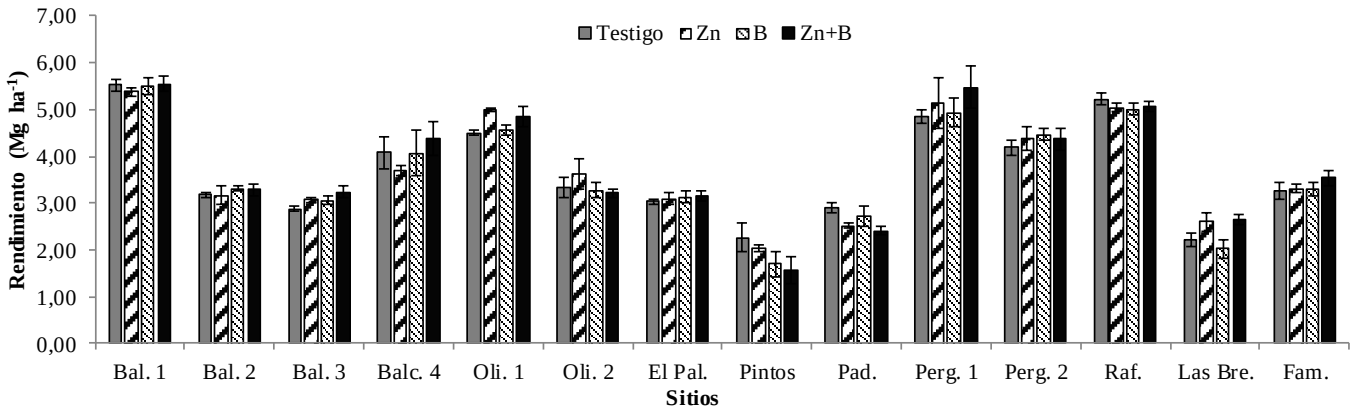


Figura 1: Rendimiento promedio en Mg ha^{-1} del cultivo de soja en 14 sitios de la región pampeana. Bal.= Balcarce (Bs As), Oli.= Oliveros (Santa Fe), El Pal.= El Palomar (Stgo del Estero), Pad. Padovani (Tucumán), Perg.= Pergamino (Bs As), Las Bre.= Las Breñas (Chaco), Fam.= Famailla (Tucumán). Las líneas verticales indican el desvío estándar para cada tratamiento.

Los resultados obtenidos mostraron que no se determinó respuesta a la aplicación de Zn y B. Cuando se relacionó el RR del cultivo de los tratamientos Testigos con el contenido de Zn y B en suelo (0-20 cm) no se determinó ninguna asociación (Figuras 2 y 3), por lo tanto, sería posible inferir que para los sitios evaluados los umbrales informados en la bibliografía internacional serian adecuados para predecir la respuesta a la aplicación de dichos micronutrientes en el cultivo de soja. En investigaciones futuras, se deberían incluir sitios con bajos contenidos de Zn y B en suelo con el objetivo de determinar la respuesta del cultivo a la aplicación de estos micronutrientes. A su vez, sería factible analizar la variación del contenido de estos micronutrientes en los tejidos foliares y grano, ya que podrían correlacionarse con la respuesta del cultivo a la fertilización, y podría utilizarse como herramienta complementaria al análisis de suelo para mejorar la precisión en la recomendación de fertilización.

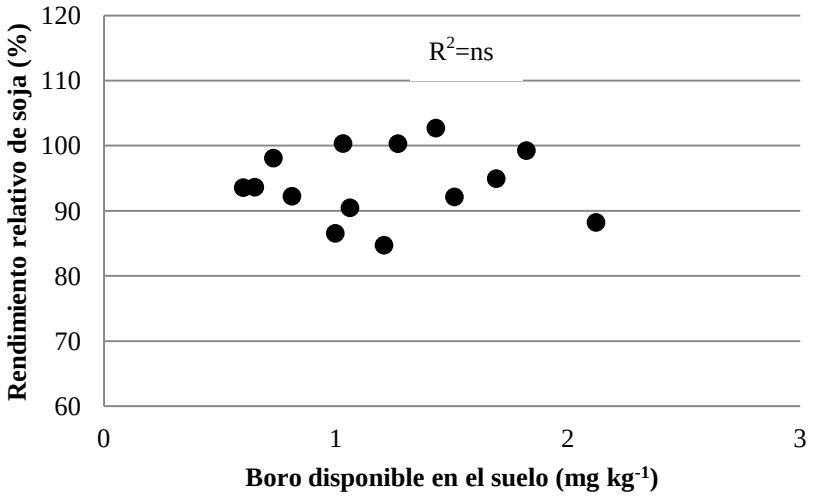


Figura 2: Relación entre el rendimiento relativo de soja en parcelas testigo y el contenido inicial de B disponible en el suelo (0-20 cm) en los 14 sitios experimentales.

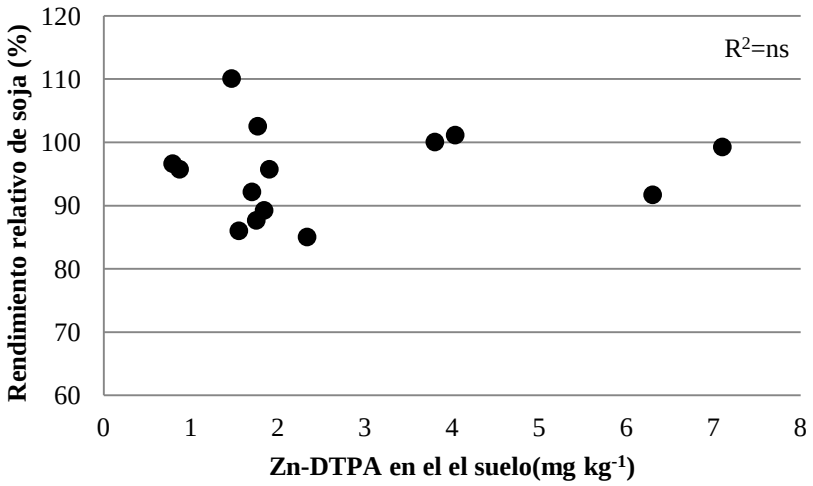


Figura 3: Relación entre el rendimiento relativo de soja en parcelas testigo y el contenido inicial de Zn-DTPA disponible en el suelo (0-20 cm) en los 14 sitios experimentales.

La baja capacidad para predecir la magnitud de la respuesta al Zn y B puede deberse en parte, a la influencia de factores relacionados con la disponibilidad potencial de estos nutrientes que no pueden cuantificarse durante la extracción. Nuestros resultados arrojaron que no fue significativa ($P \geq 0{,}01$) la adición de las variables edáficas pH, MO,

contenido de P-Bray al Zn y B extractables al ajustar modelos de regresión, resultados que se explican principalmente por la falta de respuesta al agregado de Zn y B. Sillampaa (1982) y Barbieri *et al.* (2017) informaron que la predicción de la respuesta a Zn en trigo y maíz no mejoró por la inclusión del pH por lo que su inclusión en un modelo de diagnóstico no mejoró la predicción de la respuesta a la fertilización; este mismo resultado fue hallado en maíz, donde Larsen *et al.* (2016) informaron que la inclusión dichas propiedades junto con el Zn extraído con DTPA no mejoró la predicción de la respuesta, respecto a solo considerar el Zn. Para el caso del fósforo (P), en experimentos de larga duración, Richardson *et al.* (2011) comprobaron que, ante aumentos en la disponibilidad de P, la variación en la disponibilidad de Zn no fue significativa. Por otra parte, mientras algunos trabajos sugieren relación entre el B extraído con agua caliente con algunas propiedades edáficas, tales como la textura del suelo, MO, pH, P-Bray^{-1} y concentración de $CaCO_3$ (Sims & Jhonson, 1991; Havlin *et al.*, 1999; Rashid *et al.*, 2004), otros autores, Arora *et al.* (2014), informaron que el B extractable se correlacionó con la MO (0,93), contenido de arcillas (0,62) y CIC (0,63). Por lo tanto, la inclusión de dichas variables a un modelo basado sólo en el B extractable no contribuiría a mejorar el diagnóstico de la disponibilidad de B.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta experiencia indican que para el cultivo de soja, los umbrales de Zn y B en suelo mencionados en la bibliografía serian adecuados para el diagnóstico de la deficiencia de dichos nutrientes. La falta de respuesta a la fertilización condicionó la posibilidad de analizar si la incorporación del pH, P-Bray^{-1} y MO a un modelo que considera Zn y B extractables podría la capacidad predictiva.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con subsidios del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Proyecto PNSUELO-1134024) y CONICET PIP D3169.

BIBLIOGRAFÍA

- Albrecht J, D Gialivera; C Negro & L Belotti. 2009. Manejo de la fertilización de la soja en la región pampeana norte y en el NOA Argentino. Mejores Prácticas de Manejo. Simposio Fertilidad 2009 (Santa Fe, Rosario, mayo 13-14). 109-118.
- Aramburu Merlos F, JP Monzon; JL Mercau; M Taboada; FH Andrade; AJ Hall; E Jobbagy; KG Cassman & P Grassini. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. F. Crop. Res. 184: 145–154. Available at http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429015300599
- Arora S & D Chahal. 2014. Forms of Boron in Alkaline Alluvial Soils in Relation to Soil Properties and Their Contribution to Available and Total Boron Pool. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 45(17): 2247-2257.
- Barbieri, PA; HR Sainz Rozas; N Wyngaard; M Eyherabide; NI Reussi Calvo; F Salvagotti & JC Colazo. 2017. Can Edaphic Variables Improve DTPA-Based Zinc Diagnosis in Corn?. Soil Science Society of America Journal.
- Bingham FT. 1982. Boron.Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 431-447.
- Bray RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. Soil Sci. (59): 360-361. Brussels, Belgium and Paris, France, 2008.
- Brennan RF, JD Armour & DJ Reuter.1993. Diagnosis of Zn deficiency. In: Zinc in soils and plants A.D. Robson (ed.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.167-181.
- Catlett KM; DM Heil; WL Lindsay & MH Ebinger. 2002. Soil chemical properties controlling Zinc+2 activity in 18 Colorado soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:1182-1189.
- Enderson JT, AP Mallarino & MU Haq. 2015. Soybean yield response to foliar-applied micronutrients and relationships among soil and tissue tests. Agron. J. 107(6): 2143-2161.
- Espósito G, G Balboa; C Castillo& R Balboa. 2010. Disponibilidad de zinc y respuesta a la fertilización del maíz en el sur de Córdoba. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Santa Fe. Argentina. Junio 2010.
- Eyherabide MH, HR Sainz Rozas; HE Echeverría; J Velasco; M Barraco; G Ferraris & H Angelini. 2012. Niveles de cinc disponibles en suelos de la región pampeana Argentina. In XIX Congreso Latinoamericano de la ciencia del suelo. XXIII Congreso Argentino de la ciencia del suelo.
- Fehr WR & CE Caviness. 1977. Stages of soybean development. Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn., Special Report n° 80. Iowa State Univ. Ames. 12p.
- Ferraris G & L Couretot. 2009. Respuesta del maíz a la fertilización complementaria con zinc, boro y otros nutrientes. Revista Agromercado. ISSN. 22-24.

- Fontanetto H, O Keller; J Albrecht; D Giailevra; C Negro & L Belotti. 2009. Manejo de la fertilización de la soja en la región pampeana norte y en el NOA Argentino. In Simposio Fertilidad.109-118.
- García FO & M Díaz Zorita. 2015. La fertilidad de los suelos y el uso de nutrientes en la producción agrícola extensiva de Argentina. En: Casas, R.R y Albarracín G.F. (eds) El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. v.1:183-198.
- Gerwing J & R Gelderman. 2005. Fertilizer recommendations guide. South Dakota State University Extension. EC750.
- Gupta SK. & JWB Stewart. 1975. The extraction and determination of plant-available boron in soils. Schweiz Landw Forsch. 14(2/3):153-169.
- Havlin JL, J.D Beaton; SL Tisdale & WL Nelson. 1999. Micronutrients. En Soil fertility and fertilizers, An Introduction to Nutrient Management. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, New Jersey. 254-279
- Larsen B.; HR Sainz Rozas; M Meyherabide; H Echeverría; EA Rampoldi; P Barbieri; N Reussi Calvo; F Salvagiotti; G Ferraris & P Barbagelata. 2016. Diagnóstico de disponibilidad de cinc en suelo para el cultivo de maíz: comparación de extractantes. Actas XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Río Cuarto Ordenamiento territorial. Un desafío para la ciencia del suelo. Río Cuarto, Córdoba. 51 p.
- Lindsay WL & WA Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42(3): 421-428
- MAGyP. 2013. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Base de datos sistema integrado de información agropecuaria. [En línea] <http//www.minagri.gob.ar> [consulta: agosto 2013].
- Mandal B, GC Hazra & AK Pal. 1988. Transformation of Zinc in soils under submerged conditions and its relation with zinc nutrition of rice. Plant Soil 106:121-126.
- Melgar RJ, J Lavandera; MT Duggan & Ventimiglia, L. 2001. Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. Ciencia del Suelo. 19(2): 109-114.
- Pais I & J Benton. 2000. The handbook of trace elements. ST. Lucie Press, Boca Raton, p 223.
- Rashid A & J Ryan. 2004. Micronutrient constraints to crop production in soils with Mediterranean-type characteristics: a review. J. Plant Nutr. 27(6): 959-975.
- Ratto De Míguez S, C Diggs & C Ras. 1999. Effect of some soil properties on extractable boron content in Argentine Pampa Soils. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 30(15&16): 2083-2100.
- Richards JR, H Zhang; JL Schroder; JA Hattey; WR Raun & ME Payton. 2011. Micronutrient availability as affected by the long-term application of phosphorus fertilizer and organic amendments. Soil Sci. Soc. Am. J. 75(3): 927-939.
- Sainz Rozas HR & HE Echeverria. 2008. Relevamiento de la concentración de fósforo asimilable en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana. Simposio Fertilidad 2009. Organizado por IPNI y Fertilizar Asociación Civil. Rosario, 12 y 13 de Mayo de 2009. Actas. 221-223
- Sainz Rozas HR, HE Echeverria; M Eyherabide; M Barraco; HG Ferraris & HP Angelini. 2012. Niveles de boro disponible en suelos de la Región Pampeana Argentina. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 6 pp
- Sainz Rozas HR, HE Echeverría; PA Calviño; P Barbieri & M Redolatti. 2003. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de zinc y cobre en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo. 21: 52-58.
- Sainz Rozas HR, HE Echeverría & HP Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y de pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana Argentina. Ciencia del Suelo 29:29-37.
- SAS INSTITUTE. 2008. SAS/STAT user's guide, Version 9.2. SAS Inst., Cary, NC
- SIIA. 2017. Sistema integral de información administrativa. Datos abiertos agroindustria. Ministerio de Agroindustria. Consultado mayo 2017. http://www.siia.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.phpApellido1, NN & NN
- Sims JT & GY Johnson. 1991. Micronutrient soil tests. In: Micronutrients in agriculture (Book series 4): 427-476. Mortvedt,J.J,Cox F.R., Shuman L.M. & M.R.Welch (Eds.) Ed. SSSA Madison, Winsconsin, USA.
- Miretti MC, M Pilatti; RS Lavado & S Del Carmen Imhoff. 2012. Historia de uso del suelo y contenido de micronutrientes en Argiudoles del centro de la provincia de Santa Fe (Argentina). Ciencia del suelo. 30(1): 67-73.
- Torri S, AS Urricariet & R Lavado. 2011. Micronutrient availability in crop soils of the Pampas region, Argentina. En: Soil Nutrients. M. Miransari, Nova Science Publishers, Inc., Hauppauge, NY 11788. In press, ISBN: 978-1- 61324-785-3 ALLOWAY, B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environ. Geochem. Health 31: 537-548.
- Walkley A & Y Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-37.

C3P11. BALANCE DE NUTRIENTES EN SUELOS DE TAMBOS

Berhongaray, Gonzalo [1,2,3]; Cañada, Pablo [3,4] y Palladino, Rafael Alejandro [1,3,4].

[1]CONICET, [2]Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, Kreder 8503, Esperanza, Argentina,[3] AACREA, [4] Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av San Martin 4453, Buenos Aires, Argentina. bgonzalo@agro.uba.ar.

RESUMEN

El balance de nutrientes (ingresos - egresos) fue utilizado en 12 modelos de producción lechera para evaluar el efecto de distintas rotaciones sobre el suelo. Para los balances se consideró nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), cobre (Cu), zinc (Zn) y sodio (Na). Los balances de suelo tendieron a ser más positivos a medida que la proporción de pasturas se incrementaba, estando esto relacionado a una mayor permanencia, y por lo tanto más excretas de los animales en los lotes. Nutrientes como K, S, Mg, Na y Zn fueron los que presentaron mayores desbalances. Este estudio remarca la importancia de considerar macro y micronutrientes en los balances de nutrientes de los suelos de tambos.

Palabras claves: macronutrientes; micronutrientes; cationes.

INTRODUCCIÓN

La lechería argentina, al igual que en otros países del mundo, atraviesa un proceso de intensificación. Entre los mayores cambios se ha visto un aumento de la carga animal y una mayor proporción de cultivos anuales, específicamente silo de maíz, en detrimento de pasturas perennes. Los cultivos anuales y perennes difieren en la cantidad de nutrientes que necesitan y en la capacidad de captar N de la atmósfera. Además, al cosechar la planta entera, la extracción de nutrientes y el bajo aporte de residuos por parte de cultivos destinados a silo, pueden generar una disminución en el nivel de los nutrientes en suelo (Basanta *et al.*, 2012). Estos recientes cambios preocupan a investigadores, técnicos y productores sobre el efecto que tienen sobre la fertilidad de los suelos y finalmente sobre la sostenibilidad de las producciones.

El balance de nutrientes (ingresos - egresos) es una herramienta sólida para entender el ciclo de los nutrientes a nivel de agroecosistema, y con él se pueden predecir las tendencias futuras de los flujos y se puede evaluar su impacto en el ambiente, así como pueden determinarse prácticas de manejo que incrementen su eficiencia de uso. Los trabajos realizados en la región pampeana hasta el momento han sido en general a escala predial y considerando solo dos nutrientes: nitrógeno y fosforo. Sin embargo, la alta dinámica y complejidad de los tambos hace difícil saber cuál es el destino final de los nutrientes en los tambos. Otros nutrientes como cationes y micronutrientes son importantes para la producción de pasturas, para la nutrición, producción de leche y sanidad de los animales. El objetivo de este trabajo es realizar un balance de nutrientes en el suelo de distintos sistemas de tambos para entender cuál es su balance, cuánto se pierde y cuánto finalmente se recicla volviendo a los suelos. Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto Rotaciones en Tambo de AACREA que intenta responder cuál es el efecto de las distintas rotaciones sobre la sostenibilidad del recurso suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Escenarios y cálculos realizados

Para la realización de los balances se utilizó como base la caracterización de sistemas de producción lechera realizada por el proyecto MIRAS (Fariña *et al.*, 2015). La misma consta de tambos de 156 hectáreas (ha) efectivas, de las cuales 94 se destinan a pasturas de alfalfa, 54 a cultivos para silo (50% maíz y 50% sorgo) y 28 para verdeo de invierno (raigrás anual). El proyecto analiza sobre esos establecimientos sistemas con 3 niveles de carga de vacas totales (VT): 1,4; 2,1 y 2,8 VT/ha, y dos niveles de consumo de concentrado por parte de las vacas de ordeñe (VO): 7 y 10 kg MS/VO/día. A partir de esa caracterización se plantearon variaciones en las rotaciones con tres niveles de pasturas: 30, 60 y 75 % de ocupación, variando consecuentemente la proporción de cultivos anuales. Se generaron en total 12 escenarios de producción. La producción de cada recurso forrajero fue obtenida del proyecto MIRAS, y la precipitación media utilizada fue de 900 mm.

Para cada escenario se realizaron balances a escala de lote (Figura 1), y una conjunción de balances a escala de predio y del rodeo de ordeñe. Para los balances se consideró nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), cobre (Cu), zinc (Zn) y sodio (Na).

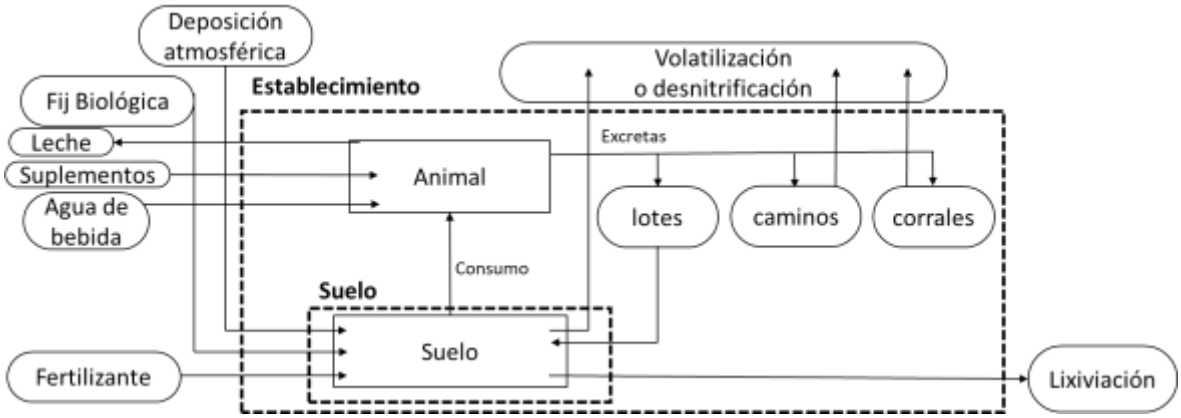


Figura 1: Representación de los balances de nutrientes a nivel de establecimiento y de lote o suelo.

El ingreso de nutrientes se computó a partir de la cantidad de fertilizantes utilizada (Proyecto Rotaciones), así como de concentrados y alimentos externos, del aporte atmosférico (fijación biológica de nitrógeno y deposición de nutrientes; Alvarez *et al.*, 2016) y el consumo de agua de bebida por parte de los animales y la concentración de cada nutriente en el agua. También se consideraron los nutrientes extraídos por las plantas según requerimientos (IPNI, 2013) y cosechados por los animales según una eficiencia de cosecha que variaba según la carga animal (Baudracco *et al.*, 2013). Las pérdidas por volatilización, desnitrificación y lixiviación se calcularon según metodología IPCC (IPCC, 2006).

A partir del consumo de los animales se estimó la producción de leche según la relación: 1 kg MS = 0.93 L leche (a partir de las encuestas del Proyecto Rotaciones). Luego se calculó la cantidad excretada de cada nutriente como la diferencia entre la cantidad consumida y la cantidad exportada en la leche. El tiempo de actividad de los animales (16 h) se dividió entre tiempo en la sala de ordeñe y corrales (3 h por día), el tiempo en encierre (silo) y tiempo en los lotes para pastoreo (pasturas y verdeos). El tiempo de ocupación de encierre y cada lote se calculó en función de la disponibilidad de MS que cada uno ofrecía, y en función del tiempo se ponderó la proporción de las excretas en cada sector del establecimiento. Para los contenidos de nutrientes en leche, en alimentos, en agua de bebida y deposiciones atmosféricas se realizaron revisiones bibliográficas y se encuentran disponibles por pedido al primer autor del trabajo.

Una vez determinado el balance del suelo para cada nutriente, se estableció un balance de eficiencia (BE), calculado como el cociente entre el balance del nutriente dividido por la cantidad de nutriente exportado en la leche.

$$\mathrm{BE} = \frac{Balance\ de\ nutriente\ (kg/ha)}{Nutriente\ exportado\ en\ la\ leche\ (kg/ha)}$$

Este balance permite estimar qué nutriente está en exceso o es exportado de nuestros suelos por cada unidad de nutriente que exige la producción de leche, y permite la comparación entre nutrientes al ser una escala estandarizada. A partir de la suma de los balances de eficiencia de todos los nutrientes en valores absolutos se generó un índice de balance nutricional (IBN), un valor mayor de IBN supone un mayor desbalance nutricional, mientras que un valor cercano a cero indicará un mayor balance nutricional entre distintos nutrientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La recirculación de nutrientes a nivel de establecimiento varió enormemente con la proporción de pasturas (Tabla 1). En planteos de baja proporción de pasturas, los balances de nutrientes en los lotes fueron negativos para casi todos los nutrientes, excepto para P, Ca y Na. Para P y Ca los suplementos dietarios significaron entre el 65 y 75 % de la entrada, mientras que el agua de bebida representó cerca del 90% de ingreso de Na. En general los balances tendieron a ser más positivos a medida que la proporción de pasturas se incrementaba, exceptuando K y Zn que los balances fueron siempre negativos en los lotes. Esta tendencia a aumentar el balance positivo a medida que aumenta la proporción de pasturas se debe a una mayor permanencia y por lo tanto excreta de los animales en los lotes. La acumulación de nutrientes en sala de ordeñe, caminos y encierres fue importante, revalorizando el potencial uso de los efluentes como fertilizantes. En el caso de nitrógeno los mayores ingresos se debieron a la fijación bilógica, sin embargo, gran proporción de los ingresos se perdió por vías de volatilización, desnitrificación y lixiviación en todos los modelos planteados, remarcando la importancia de trabajar en la mejora de la eficiencia de uso de este nutriente.

Tabla 1: Destino de los nutrientes calculado como la relación entre el flujo neto de cada variable (ingresos y salidas) y la cantidad total ingresada al establecimiento, para distintos niveles de pasturas en la rotación. Valores por encima del 100% significan flujos positivos netos mayores a los ingresos y agotamiento de ese nutriente. La suma de los balances da 100%. Las pérdidas se refieren a la desnitrificación, volatilización y lixiviación del nitrógeno.

Pastura (%)	Destino de los nutrientes	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Zn	Na
30	Leche	24%	18%	28%	1%	20%	3%	28%	143%	6%
	Lotes	-20%	22%	-155%	-14%	3%	-8%	-44%	-127%	42%
	Pérdidas	51%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sala de ordeño y caminos	14%	19%	71%	35%	24%	33%	36%	26%	16%
	Encierre	31%	41%	156%	77%	53%	72%	80%	57%	36%
60	Leche	18%	16%	24%	1%	16%	3%	24%	125%	5%
	Lotes	18%	44%	-75%	24%	21%	26%	8%	-61%	56%
	Pérdidas	38%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sala de ordeño y caminos	11%	17%	64%	32%	27%	30%	29%	15%	16%
	Encierre	15%	23%	86%	43%	36%	40%	39%	21%	22%
75	Leche	15%	16%	23%	1%	15%	3%	22%	116%	5%
	Lotes	33%	55%	-34%	44%	34%	45%	32%	-34%	65%
	Pérdidas	34%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sala de ordeño y caminos	10%	16%	61%	30%	28%	29%	25%	10%	16%
	Encierre	8%	13%	50%	25%	23%	24%	21%	8%	13%

El balance de eficiencia, que estandariza los balances entre nutrientes, muestra que los mayores desbalances se dan en S, Mg y Na, siendo algo menores en los otros nutrientes. En general todos los BE tendieron a positivos a mayor proporción de pasturas (Figura 2). Estos balances muestran que el balance de S es casi 50 veces mayor que la necesidad de producción de leche en el caso de una rotación con 70% de pasturas. Esto se debe a que hay un alto ingreso de este nutriente por distintas fuentes, mientras que muy poco es necesitado para la producción de leche. En el otro extremo encontramos al K, un nutriente muy demandado por las plantas, pero que retorna poco a los lotes, incluso en sistemas con alta proporción de pasturas y por lo tanto pastoreo directo. Para el caso de Ca y Mg, la relación Ca:Mg de los alimentos fue de 2:1, mientras que la exportada en la leche fué de 12:1, esto significó que relativamente poco Mg es exportado y mayoritariamente es excretado. El balance general de cationes dio negativo solo en planteos de muy baja proporción de pasturas. La pérdidas de cationes, la alta entrada de N así como su pérdida por lavado son fenómenos que pueden desencadenar la acidificación de los suelos y comprometer la productividad de los suelos en el largo plazo (Rengel, 2003).

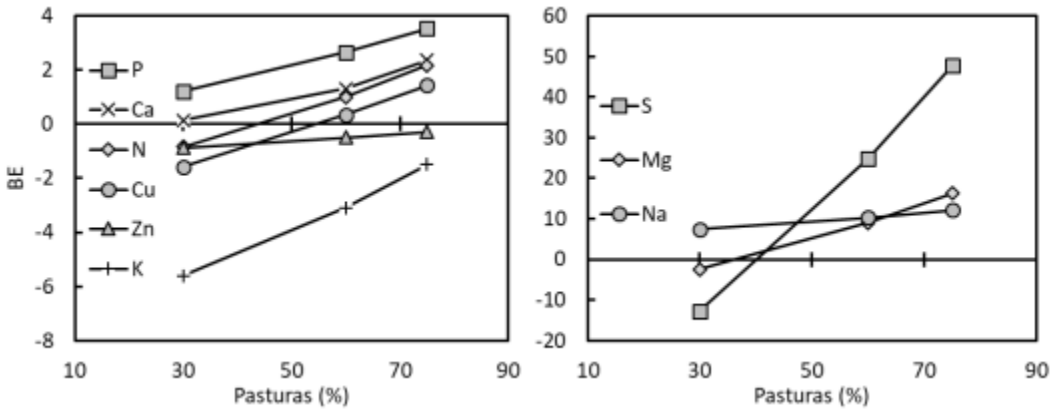


Figura 2: Balances de eficiencia (BE) calculados como la relación entre el balance de cada nutriente en el suelo y el exportado en la leche. Los balances fueron representados en dos gráficos distintos por cuestiones de escala.

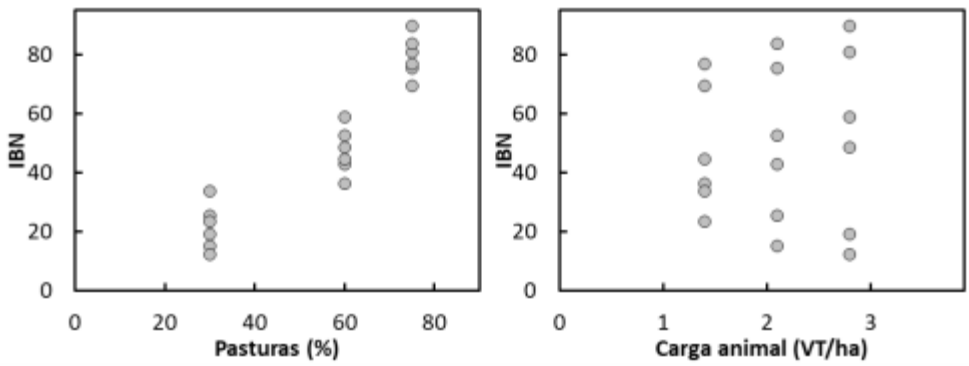


Figura 3: Índice de balance nutricional (IBN) para tambos con distinta proporción de pasturas (panel izquierdo) y distinta carga animal (panel derecho).

Si bien el aumento de proporción de pasturas generó balances más positivos para cada uno de los nutrientes, también incrementó el desbalance general cuando los nutrientes fueron analizados en su conjunto mediante el IBN (Figura 3). El S fue responsable del 55% de este mayor desbalance, seguido por Mg con 18-22% y Na entre 10-15%, el resto de los nutrientes en general mejoraron su balance a mayor proporción de pasturas (Figura 2). Los nutrientes más estudiados como N y P no fueron los de mayor desbalance. No se encontraron patrones de balances a distintas cargas animales.

CONCLUSIONES

Nutrientes poco explorados en los estudios de balances de nutrientes en tambos fueron los que presentaron más desbalances. Este estudio remarca la importancia de considerar otros nutrientes incluyendo micronutrientes y observar con detalle relaciones de cationes como Ca/Mg, y balances de cationes y aniones que pueden influir a futuro en el pH de los suelos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue subsidiado por la Universidad Nacional del Litoral (CAI+D Orientado 2016 Cod. 3-6), AACREA (Proyecto Rotaciones en Tambo) y la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA). Agradecemos a Fabricio Fontana y Santiago Fariña por el relevamiento de tambos, así como Javier Baudracco por información referida al proyecto MIRAS.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R; HS Steinbach & JS De Paepe. 2016. Historical balance of nitrogen, phosphorus, and sulfur of the Argentine Pampas. Ciencia del suelo, 34: 231-244.
- Basanta, MV; VS Faggioli; LS Peirone; CI Milán; C Cesaretti; E Bonadeo & MB Aimetta. 2012. Intensificación de los sistemas de producción lechera y sus efectos sobre el suelo. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Baudracco, J; N Lopez-Villalobos; CW Holmes; EA Comeron, KA McDonald & TN Barry. 2013. e-Dairy: a dynamic and stochastic whole-farm model that predicts biophysical and economic performance of grazing dairy systems. Animal 7: 870-878.
- Fariña, S; J Baudracco; E Demarchi; D Lovino & R Giorgis. 2015. Intensificación rentable y ambientalmente sustentable de sistemas lecheros de Santa Fe: Proyecto MIRAS Parte I. Rev Arg Prod Animal Supl. 1: 83-136.
- IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/. Fecha de consulta: 20/03/2017
- IPNI. 2013. CalcRec. Disponible en: http://lacs.ipni.net/. Fecha de consulta: 5/03/2017.
- Rengel, Z (Ed). 2003. Handbook of soil acidity. CRC Press. New York. 512p.

C3P12. RELACIONES ENTRE VARIABLES EDÁFICAS, DE BIOMASA Y RENDIMIENTO EN CULTIVARES DE MANDIOCA IMPLANTADOS EN CORRIENTES

Bertollo, Javier de Jesús[1]; Paredes, Federico Antonio[1, 2]; Medina, Ricardo Daniel[3]

[1]Ingeniero Agrónomo. INTA EEA Corrientes, Ruta Nacional Nº 12, Km 1008, El Sombrero, Corrientes, Argentina. E-mail: bertollo.javier@inta.gob.ar. [2](M. Sc.) Ingeniero Agrónomo. INTA EEA Corrientes y Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE. [3](Dr.) Ingeniero Agrónomo, Instituto de Botánica del Nordeste (UNNE-CONICET), Facultad de Ciencias Agrarias (UNNE). Sargento Cabral 2131 (3400), Corrientes, Argentina.

La mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), constituye una de las fuentes de energía para la alimentación más importantes del mundo. En el Nordeste Argentino se la cultiva y comercializa por sus raíces tuberosas frescas destinadas a la alimentación, mientras que parte de ésta es empleada para la obtención de almidón con diferentes destinos. La información sobre los cultivares difundidos localmente respecto a productividad y calidad es escasa, en particular, considerando su interacción con el tipo de suelo donde se las cultivan. El objetivo del estudio fue evaluar las relaciones entre producción de biomasa, componentes del rendimiento y calidad de dos cultivares de mandioca difundidos en la región, y algunas propiedades químicas de tres series de suelo contrastantes y características de la cuenca mandioquera correntina. Durante la campaña 2015-2016, se implantaron los cultivares Palomita y Rama Seda en un diseño completamente aleatorizado, con 4 repeticiones, en tres series de suelos: Treviño (Argiudol ácuico), Loreto (Hapludalf típico) y Ensenada Grande (Udipsament árgico). Previo a la plantación se tomaron muestras compuestas de suelo por parcela. Se determinó Porcentaje de Materia Orgánica (%MO) y Nitrógeno Aprovechable (%NA), Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio (Kg ha^{-1}). A los 280 días post-plantación, se cosecharon 3 plantas por parcela y se determinó Peso Seco (PSRT) y Número de Raíces Tuberosas (NRT), peso de raíces tuberosas individuales (PSRTi), contenido de almidón (%Almidón), Biomasa Seca total (PSplanta) y aérea (PSaérea) y se calculó el índice de cosecha (IC). Se aplicaron análisis de correlación mediante el coeficiente de Pearson para determinar la relación entre las variables químicas del suelo y las variables relacionadas al cultivo, y análisis de componentes principales (ACP) para distinguir qué variables del suelo fueron más influyentes en cada sitio. El Ca, Mg, NA y K presentaron correlación positiva con PSaérea. Esto derivó en una correlación negativa, de los primeros tres, con el IC. El Ca presentó correlación negativa con %Almidón. Hubo correlación negativa entre Mg y PFRTi, dada su relación positiva con el NRT. El P se correlacionó positivamente con %Alimdón, y negativamente con PSaérea. En el ACP, dos ejes explicaron el 84% de la variabilidad entre sitios/cultivares, siendo el eje 1 el más influyente (56,9%), mientras que el eje 2 explicó el 27%. En el primero, las variables más determinantes fueron K, Mg, %MO y %NA, las cuales fueron superiores en Treviño. Allí también, se encontraron los menores valores de P y por ende del %Almidón. En el segundo eje, las variables más influyentes fueron PSraíces, PSplanta y PSRTi, los cuales fueron superiores para Rama Seda, en Loreto. El P fue mayor en Ensenada, relacionándose con un mayor %Almidón, en lo cual se destacó Palomita. Mediante los métodos de análisis utilizados se pudo distinguir las variables edáficas de mayor importancia en cada sitio, y sus posibles relaciones con las variables de importancia para el cultivo, lo que contribuye a mejorar las recomendaciones de manejo para los cultivares empleados en la zona productora de mandioca de Corrientes.

Palabras claves: propiedades químicas, raíces tuberosas, correlación

C3P13. INDICADORES DE LA RESIDUALIDAD DE LA FERTILIZACIÓN CON P Y S EN UNA SECUENCIA AGRICOLA

Biassoni, M. Micaela[1*]; Gutiérrez Boem, Flavio H. [2]; Vivas, H.[3] y Salvagiotti, Fernando[1]

[1] INTA Estación Experimental Agropecuaria Oliveros, Oliveros, Santa Fe, Argentina; [2] Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina; [3] Asesor independiente. *biassoni.micaela@inta.gob.ar

RESUMEN

En suelos Argiudoles de la región pampeana se han observado efectos residuales de la fertilización con fósforo (P) y también con azufre (S). Se entiende por 'efecto residual' a la respuesta que se observa en los cultivos subsiguientes de una secuencia por el manejo nutricional de los cultivos antecesores. Ante este escenario, es necesario contar con indicadores que estudien el impacto de la residualidad, la cual dependerá de la interacción de los iones con la matriz del suelo y de las fracciones de la materia orgánica. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto acumulado de diez años de fertilización fosforada y azufrada sobre: (i) el rendimiento en grano del cultivo de maíz; (ii) la capacidad del suelo de brindar P y S a través de la absorción de P y S de un cultivo prueba (maíz) y (iii) cambios en los contenidos de P y S en la materia orgánica particulada (MOP), como posible indicador de residualidad. Se analizaron muestras provenientes de un ensayo de larga duración que estudiaba la respuesta a la aplicación de diferentes dosis de P y S iniciado en el año 2000 y finalizado en 2011, sobre una rotación agrícola con trigo, soja de segunda, maíz de primera y soja de primera en la localidad de Bernardo de Irigoyen (32°10′01″S 61°09′20″O) sobre un suelo serie Clason con más de 50 años de agricultura continua. Los tratamientos consistieron en la combinación factorial de tres dosis de P (0, 20 y 40 kg de P ha^{-1}) y cuatro dosis de S (0, 12, 24 y 36 kg de S ha^{-1}) aplicados en las gramíneas. En 2011 se sembró un cultivo de maíz que recibió solo fertilización nitrogenada y se usó para estudiar el efecto residual de P y S. El rendimiento de maíz se incrementó en un 56% para los tratamientos de fertilización azufrada con respecto al testigo ($p<0,05$); por el contrario, no hubo diferencias significativas en el caso de los tratamientos con fósforo ni interacción entre factores PxS ($p>0,05$). El efecto residual de la fertilización con P y S se reflejó en un 38% y 106% de incremento en la absorción de P y S en el cultivo prueba, respectivamente, sin interacción PxS ($p>0,05$). Los cambios en los contenidos de P y S en la MOP no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($p>0,05$), arrojando un promedio de 0,99 mg P 100 g $suelo^{-1}$ y de 2,87 mg S 100 g $suelo^{-1}$ respectivamente. Tampoco se observó relación entre estos indicadores y la absorción de P y S en el cultivo prueba. Estos resultados indicarían que el contenido de P y S en la MOP no sería un buen indicador de la residualidad de estos nutrientes.

Palabras claves: fertilización prolongada, P en MOP, S en MOP

C3P14. IMPACTO DE LA AGRICULTURIZACIÓN: ANÁLISIS DE TRES PARÁMETROS DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Bocchio, María V.[1]; Alonso, Andrea[23]; Almirón, Amalia[23]; Requesens, Eduardo[4]; Narvaja, Valeria[23] y Mestelan, Silvia[23]

[1] Becaria CICPBA; [2] NACT CRESCA Facultad de Agronomía de Azul-UNCPBA; [3]Laboratorio de Análisis de Suelos, Facultad de Agronomía de Azul UNCPBA; [4] NACT NUCEVA Facultad de Agronomía de Azul-UNCPBA. Azul, Buenos Aires. bocchio.veronica@gmail.com

RESUMEN

Desde mediados de los ´90 fundamentalmente, el agro pampeano ha sufrido profundas transformaciones como consecuencia de la expansión de la superficie agrícola y los cambios en los cultivos dominantes. Estos procesos afectan una serie de atributos fundamentales para el buen funcionamiento de los agroecosistemas, entre los que se destacan las propiedades edáficas. En el Centro de la provincia de Buenos Aires, las tendencias de los cambios en el uso de la tierra presentan características similares al resto de la región pampeana y, frente a ello, el presente trabajo plantea como objetivo analizar la evolución de algunos parámetros relevantes de fertilidad de suelos como la materia orgánica (MO), el fósforo disponible (P) y la reacción del suelo (pH).Los datos utilizados a tal fin corresponden a muestras de lotes de establecimientos ubicados en el partido de Azul, obtenidos en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNCPBA. El estudio abarcó tres periodos de tiempo: 1993/97, 2008/2010 y 2011/15, y los tres parámetros fueron analizados por medio de estadística descriptiva. La MO se mostró relativamente estable con valores por encima de los 45 g.kg-1, si bien se registró una leve caída hacia el periodo 2011/15. Esta disminución podría atribuirse al decrecimiento de la fracción lábil de la misma, vinculada con la fertilidad y con la estabilidad estructural del suelo. La ausencia de un impacto mayor sobre el contenido de MO puede ser explicada por el significativo avance de la siembra directa que ha acompañado la expansión agrícola, particularmente del cultivo de soja. Con respecto al P disponible, el primer periodo mostró un predominio de muestras con valores inferiores a 10 mg.kg-1, mientras que en los dos últimos periodos se incrementó el número de muestras con valores entre 10 y 20 mg.kg-1. Ello reflejaría un aumento en la fertilización para cubrir los requerimientos de los cultivos. Por otra parte, esta práctica se aplicaría sobre suelos con uso dominantemente agrícola antes que suelos con manejo integrado agrícola-ganadero, dado que los productores suelen no aplicar nutrientes al momento de realizar verdeos. En los tres periodos analizados, los valores de pH se encontraron mayoritariamente dentro de un rango ligeramente ácido, entre 6 y 6.5,por lo que no se evidencia un proceso de acidificación que podría derivarse de una excesiva aplicación de fertilizantes amoniacales. Desde el punto de vista agronómico, el proceso de intensificación agrícola, no ha implicado significativas modificaciones en cuanto a las variables analizadas en la zona bajo estudio por lo que ciertas estrategias de manejo (como la siembra directa o labranza reducida) y la fertilización fosfatada podrían tener un efecto compensatorio.

Palabras Claves: materia orgánica, pH, fosforo

C3P15. FERTILIZACION NITROGENADA EN EMERGENCIA Y ANTESIS EN CEBADA CERVECERA, USO DE CURVAS DE DILUCIÓN COMO HERRAMIENTA DE DIAGNOSTICO

Boero, José J. [1.2.3]*, Federico M. Gomez[1], Pablo Prystupa[1.2], Gustavo N. Ferraris[4] y Flavio H. Gutierrez Boem[1.2]

[1]Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, UBA.; [2]INBA, CONICET-UBA; [3]Universidad Nacional de Lujan; [4]INTA EEA Pergamino

*Autor de contacto: Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martin 4453, CABA CP1417 josejboero@yahoo.com.ar

RESUMEN

La calidad de grano en cebada es un parámetro clave para la producción. El manejo de la fertilización nitrogenada debe ajustarse para lograr altos rendimientos y un adecuado contenido proteico. Existen alternativas para lograr la calidad comercial, como la fertilización basal y complementaria con N. Los objetivos de este trabajo fueron: Determinar el efecto del agregado de N basal y en antesis sobre los parámetros de rendimiento, contenido de proteína y calibre en cebada cervecera, relacionar el estado nutricional del cultivo en antesis con el rendimiento, proteína y calibre a cosecha final y predecir el contenido proteico mediante un índice de nutrición nitrogenada obtenido a través de una curva de dilución crítica. Se realizaron 39 ensayos sobre cultivos comerciales durante 3 años con 2 tratamientos de fertilización nitrogenada: 150 kg ha^{-1} en emergencia y 20 kg ha^{-1} foliar en antesis. En antesis se midió la biomasa y el N en planta. A cosecha final se midió rendimiento, componentes y calidad de grano. La fertilización en emergencia aumentó el rendimiento, el contenido proteico y disminuyó el calibre, mientras que la fertilización en antesis aumentó la proteína y rendimiento sin afectar el calibre. El rendimiento estuvo asociado a la biomasa en antesis y al N absorbido en antesis, mientras que el contenido proteico solo se asoció a la concentración de N en biomasa aérea. Se ajustó una curva de dilución al tratamiento N150, que resultó ser menor a las reportadas en bibliografía. El INN obtenido a partir de curvas de dilución se relacionó con la concentración de proteína de los granos, aunque sólo en una forma levemente mejor que la concentración de N en antesis. El INN en antesis no mostró relación con el rendimiento.

Palabras claves: Cebada cervecera, nitrógeno, curva de dilución crítica.

INTRODUCCIÓN

En la última década, en la región pampeana se ha observado que los cultivos de cebada cervecera presentan valores de proteína inferiores a los requeridos por las malterías. Las principales razones son por un lado, el progreso genético de los cultivares, con el consiguiente incremento de rendimiento y, por el otro, la oferta de N (suelo y fertilizante) no ha acompañado la mayor demanda del cultivo (Brihet, 2015).

La industria maltera y cervecera requieren valores de proteínas en un estrecho rango (10-12 %), por lo que es necesaria una regulación precisa del contenido proteico en grano sin detrimento del rendimiento. Se puede aumentar el rendimiento y la proteína en grano simultáneamente fertilizando al comienzo del ciclo del cultivo (siembra-macollaje). Otra alternativa es complementar las fertilizaciones nitrogenadas de base, con aplicaciones foliares durante antesis-espigazón. Como esta aplicación se realiza cuando el cultivo está desarrollado y transcurrido el período crítico, se podría diagnosticar el estado nutricional del cultivo con mayor precisión que a la siembra-macollaje.

Tanto el contenido proteico como la necesidad de fertilización, podrían predecirse mediante la evaluación en antesis de variables del cultivo como la biomasa aérea, el N absorbido o la concentración del N en el cultivo. Estas variables se pueden relacionar directamente a variables de interés como ser proteína o rendimiento. Una alternativa para estimar el estado de nutrición nitrogenada de un cultivo en un momento de su ciclo es comparar su concentración de N con un valor crítico obtenido a partir de curvas de dilución crítica para N para un determinado valor de biomasa. De esta manera se obtiene un índice de nutrición nitrogenada (INN), que refleja el estado nutricional del cultivo respecto al óptimo. Los objetivos de este trabajo fueron:

- Determinar el efecto del agregado de N basal y en antesis sobre el rendimiento, contenido de proteína y calibre en cebada cervecera.
- Relacionar el estado nutricional del cultivo en antesis con el rendimiento, proteína y calibre a cosecha final.

- Predecir el contenido proteico mediante un índice de nutrición nitrogenada obtenido a través de una curva de dilución crítica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre los años 2014 y 2016 se realizaron 39 experimentos en el área de cultivo de cebada del norte de la Provincia de Buenos Aires y sur de la provincia de Santa Fe. Los mismos se realizaron sobre cultivos destinados a producción. Las variedades, las prácticas de manejo y la fertilización fueron las empleadas por los productores. Por lo tanto, las dosis de fertilización correspondientes a cada tratamiento se adicionaron a las fertilizaciones ya realizadas. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con dos repeticiones. Las parcelas tuvieron 4 m de ancho por 16 m de longitud. Los tratamientos fueron los siguientes:

1- Control: sin fertilización adicional a la realizada por el productor a la siembra

2- N20f: 20 kg N ha^{-1} como urea líquida, vía foliar en floración (aparición de aristas).

3- N150: 150 kg N ha^{-1} en 2 hojas- inicio de macollaje (sin limitación de N).

Al momento de instalar los ensayos (emergencia-inicio de macollaje) se midió N disponible hasta los 60 cm. En el estrato 0-20 cm, se midió: P extractable (Bray 1), materia orgánica, pH y textura. Además se cuantificó el contenido total de agua hasta el metro de profundidad. En antesis se determinó la biomasa aérea mediante cosecha (2 m lineales de surco) y la concentración de N en planta mediante una digestión húmeda y posterior colorimetría. En suelo se midió contenido de agua hasta un metro y N-NO_3 en los primeros 60 cm. La cosecha final, a madurez fisiológica, se realizó en forma manual y se trilló en trilladora estacionaria. Sobre las muestras obtenidas se determinó la concentración de N. El contenido proteico del grano se calculó multiplicando la concentración de N por el coeficiente 6,25. Se midió el calibre de los granos como el porcentaje, en peso, de granos mayores a 2.5 mm, usando una calibradora Sortimat K-3 (Pfeuffer).

Con los datos de biomasa en antesis y la concentración de N en biomasa aérea se ajustó una curva de dilución crítica usando la metodología de Justes et. al. (1994). A partir de las curvas de dilución crítica se calcularon los índices de nutrición nitrogenada (INN) Se realizaron análisis de regresión entre las variables de cultivo medidas en antesis (biomasa, concentración de N en la biomasa aérea y N absorbido por unidad de superficie) y las medidas a cosecha final (rendimiento, proteína y calibre). Se calcularon los índices de nutrición nitrogenada, como la diferencia entre la concentración de N para un determinado valor biomasa dividido el valor de N crítico para la misma biomasa. Los datos de rendimiento, proteína y calibre de los granos se analizaron mediante ANOVA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimientos, contenidos proteicos y calibre de los sitios experimentales

Los valores del tratamiento control representaron las condiciones de los sitios, ya que tuvieron el mismo manejo que el cultivo realizado por el productor. El rendimiento medio fue de 5295 kg ha^{-1}, con un amplio rango de valores, oscilando entre 1882 y 8596 kg ha^{-1} debido a las variaciones entre las condiciones de sitio y año. Para el caso de proteína se observaron en general valores inferiores al mínimo requerido por la industria maltera. El contenido proteico medio fue de 8,4% variando entre 6,6 y 10,4 %. El promedio los calibres observados fue de 84,5%, un 30% de los sitios tuvieron un calibre inferior al mínimo requerido por la industria maltera (85%), con un amplio rango, entre 32,9 hasta 97,2, reflejando la variabilidad existente entre los diferentes sitios y años durante el llenado (Tabla 1).

Efecto de aplicación de N en emergencia sobre rendimiento, contenido de proteína y calibre.

La aplicación de 150 kg de N en emergencia incrementó significativamente el rendimiento respecto al tratamiento control a nivel general. La media de rendimiento para este tratamiento fue de 5848 kg ha^{-1}. El incremento medio observado, respecto al control, fue de 553 kg ha^{-1}, representando un incremento porcentual de 10,4%. La respuesta fue variable entre sitios (interacción sitio x tratamiento significativa) (Tabla 1).

El contenido de proteína medio para este tratamiento fue 10,5%, variando entre 7,1 y 13,3%. La fertilización incrementó significativamente la proteína respecto al control, siendo este incremento de 2,14 puntos, representando un incremento porcentual de 9,5%. Un 18% de los casos superaron el valor límite requerido por la industria (12%). Por otro

lado, la fertilización en emergencia afectó negativamente el calibre respecto del tratamiento control, generando una disminución de 7,4 puntos en el calibre, representando una disminución de porcentual de 9,6. Un 48% de los sitios mostraron un calibre inferior al mínimo requerido por la industria.

Efecto de aplicación de N en antesis sobre rendimiento, contenido de proteína y calibre.

Los tratamientos fertilizados en antesis tuvieron un rendimiento medio de 5563 kg ha^{-1}. Este tratamiento incrementó el rendimiento en 268 kg ha^{-1} (un 5% más que el control) y dependiente del sitio (Tabla 2). El contenido de proteína medio para este tratamiento fue 9,0%, con un rango entre 6,6 y 9,8%, lo que representó un incremento de 0,59 puntos respecto del control (un 7% mayor que el control). En ningún caso este tratamiento superó el valor límite requerido por la industria (12%). Esta aplicación foliar de N no afectó el calibre de los granos.

Tabla 1 Medidas resumen para las variables rendimiento, proteína y calibre. Letras diferentes junto a las medias indican diferencias significativas por test LSD Fischer (p<0.05).

	Rendimiento (kg ha.$^{-1}$)			**Proteína (%)**			**Calibre (%)**		
	Control	N 20 foliar	N 150	Control	N 20 foliar	N 150	Control	N 20 foliar	N 150
Promedio	5295 **A**	5563 **B**	5848 **C**	8.42 **A**	9.01 **B**	10.56 **C**	84.5 **B**	85.4 **B**	77.1 **A**
Cuartil 25	3868	4133	4091	7.65	8.40	9.69	81.5	79.5	72.2
Cuartil 75	7018	7193	7492	9.06	9.82	11.68	93.1	94.7	91.4
Mínimo	1882	1693	2554	6.60	6.66	7.14	32.9	30.5	19.7
Máximo	8596	9221	8724	10.69	11.21	13.34	97.2	96.3	96.7

Tabla 2: Análisis de varianza para rendimiento, proteína y calibre. Valores de *p* para los efectos Sitio, Tratamiento, su interacción y los contrastes (test de t) entre el control y los tratamientos.

	Rendimiento	**Proteína**	**Calibre**
Sitio	<0.01	<0.01	<0.01
Tratamiento	<0.01	<0.01	<0.01
Sitio x Tratamiento	<0.01	<0.01	<0.01
Contrastes			
Control vs N 150	<0.01	<0.01	<0.01
Control vs N 20 f	0,02	<0.01	0,50

Relación entre el status nutricional del cultivo en antesis con rendimiento, proteína y calibre.

El rendimiento del cultivo estuvo relacionado positivamente a la biomasa en antesis (R^2= 0,49; p<0,01) y en menor medida al N absorbido por unidad de superficie (R^2= 0,23; p<0,01), mientras que no se relacionó a la concentración de N en planta (Figura 1). El rendimiento suele estar fuertemente asociado al número de granos, y el número de granos suele relacionarse al crecimiento del cultivo antes de antesis, donde se encuentre el período crítico para el cultivo (Prystupa *et al*., 2004; Arisnabarreta & Miralles, 2008). Por lo tanto, la biomasa acumulada en antesis es un indicador de este crecimiento y del rendimiento.

El contenido de proteína estuvo asociado positivamente a la concentración de N en planta en antesis (R^2= 0,57; p<0,01), también al N absorbido por unidad de superficie, aunque en menor medida (R^2= 0,31; p<0,01) (Figura 1). Proteína no se relacionó con la biomasa acumulada en antesis (Figura 1). La concentración de N es un indicador de la disponibilidad de N que puede ser removilizado durante el llenado para ser incorporado al grano.

El calibre de los granos se correlacionó negativamente con la concentración de N en planta en antesis, aunque su ajuste fue bajo (R^2= 0,32; p<0,01). Esta relación podría explicarse dado que las plantas con mayor disponibilidad de N tienen tendencia a fijar mayor cantidad de granos en los extremos de las espigas y macollos siendo estos granos de menor tamaño (Eagles *et al.*, 1995). Por otro lado, el calibre no se relacionó significativamente con biomasa ni N absorbido. Esta falta de relación con el estado del cultivo en antesis se podría explicar porque el calibre está determinado principalmente por el crecimiento del cultivo durante el llenado de granos.

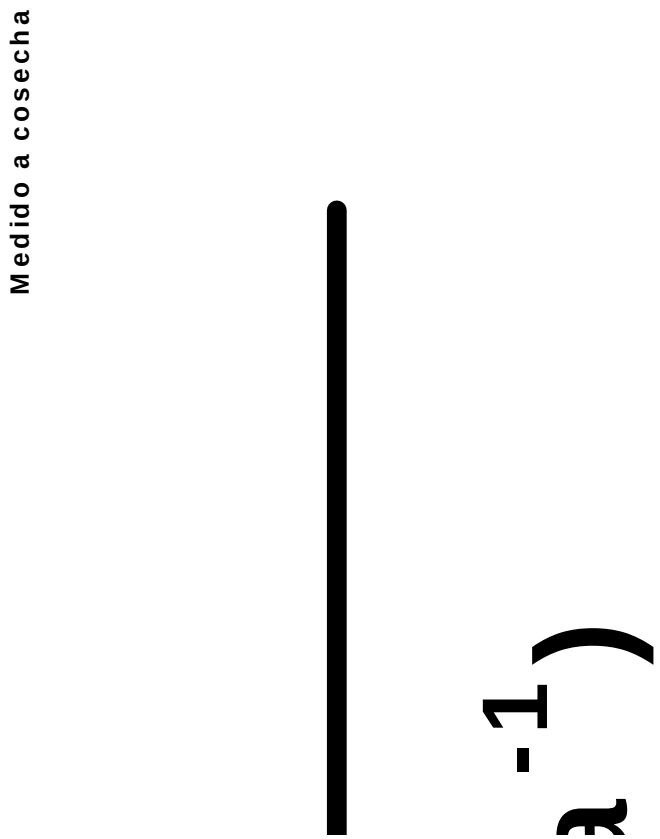


Figura 1: Rendimiento, proteína y calibre a cosecha final en función de biomasa, concentración de N y N absorbido en antesis.

Ajuste de las curvas de dilución crítica y cálculo del INN.

Con los valores de biomasa y concentración de N en planta en antesis del tratamiento fertilizado en emergencia (N 150), se ajustó una curva de dilución para N (N150 = 4,6*Biomasa-0,533). El valor de N de referencia obtenido con los datos experimentales fue inferior al de curvas de N crítico determinadas para cebada por otros autores (Justes *et. al*. 1994; Zhao *et. al*. 2014), para todo el rango de valores de biomasa (Figura 2). Si bien no se puede afirmar que la curva de N150 sea una función de valores críticos, llama la atención que todas las observaciones del tratamiento N150 estén por debajo de las curvas informadas para cebada. Estos resultados sugieren que estas curvas no representan adecuadamente la población de cultivos de cebada de nuestra red. Estas diferencias podrían atribuirse a que las curvas de referencias fueron realizadas con cebada de invierno.

El INN, calculado a partir de las curvas de dilución crítica se relacionó significativamente con la concentración de proteína en los granos (Figura 3). Usando la función ajustada con los datos experimentales (N150) se obtuvo una relación significativa con el contenido proteico (R^2= 0.56; p<0.01). Por otro lado, el INN calculado con la curva de referencia de Zhao *et. al*. (2014) también se ajustó a los datos, presentando una mejor relación con proteína (R^2= 0.63; p<0.01). Estos ajustes no fueron mucho mejores que los observados directamente con la concentración de N en antesis (R^2=0.57). Por otro lado, los INN calculados no se relacionaron al rendimiento del cultivo.

N en planta (%)

Figura 2: Concentración de N en planta en función de la biomasa en etapa de antesis con la curva de dilución del tratamiento N150 y dos curvas de dilución crítica de referencia.

Figura 3: Proteína en función del índice de Nutrición nitrogenada (INN), obtenido mediante la curva de dilución ajustada al tratamiento N 150 y la curva de Zhao *et. al*. 2014.

CONCLUSIONES

Fertilización de base incrementó rendimiento y proteína, fertilización foliar aumentó proteína y, en menor medida el rendimiento. Rendimiento se asoció a biomasa en antesis, proteína se asoció concentración de N en planta.

El NNI resultó un buen estimador del contenido de proteína aunque las curvas críticas informadas en literatura no parecen representar adecuadamente los cultivares actuales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de: Nicolás y Tati Casella de Italsem S.A., Gustavo Franco; Gustavo Herrá de ASP S.A, Alejandro Alegre y Esteban Marré de El Mayoral S.R.L., Sebastian Arias, Carlos Gutiérrez, Gustavo Falconi de El Ceibo Cereales, Emilio Secreto, Marcelo Sabione y Jorge Álvarez.

BIBLIOGRAFÍA

- Arisnabarreta, S. & D. Miralles. 2008. Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two- and six-rowed barley. Field Crops Res. 107:196-202.
- Brihet, J.M. 2015. Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada. Campaña 2012/13. Bolsa de Cereales, Buenos Aires, 206 pp.
- Eagles, H.A., A.G. Bedgood, J.F. Panozzo & P.J. Martin. 1995. Cultivar and environmental effects on malting quality in barley. Aust. J. Agric. Res. 46: 831-844
- Justes E., Mary B., Meynard J.-M., Machet J.-M., Thelier-Huche L. (1994). Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Winter Wheat Crops. Annals of Botany 74:397-407.
- Prystupa, P., R. Savin & G.A. Slafer. 2004. Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to NxP fertilization in barley. Field Crops Res. 90: 245-254.
- Zhao, B., 2014. Determining of a critical dilution curve for plant nitrogen concentration in winter barley.Field Crops Res. 160, 64-72.

C3P16. USO DE ÍNDICES ESPECTRALES COMO DIAGNOSTICO DE NUTRICIÓN NITROGENADA EN CEBADA CERVECERA

Boero, José J.[1,2,3]*, Federico Gomez[1], Pablo Prystupa[1,2], Susana Urricariet[1], Gustavo Ferraris[4] y Flavio Gutierrez Boem[1,2]

[1]Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, UBA; [2]INBA, CONICET-UBA; [3]Universidad Nacional de Lujan; [4]INTA EEA Pergamino

*Autor de contacto: Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martin 4453, CABA CP1417 josejboero@yahoo.com.ar

RESUMEN

El manejo de la fertilización nitrogenada debe ajustarse para lograr altos rendimientos y un adecuado contenido proteico (alrededor del 11%). Dicha práctica se basa en aplicaciones al inicio del ciclo (para aumentar rendimiento y proteína) y en antesis en bajas dosis, como complementaria a la aplicación basal, principalmente para incrementar proteína. Actualmente no hay una metodología ajustada para estimar la necesidad de fertilización complementaria para ajustar proteína. El uso de índices espectrales surge como una alternativa rápida y económica para diagnosticar la necesidad de fertilizar durante el ciclo del cultivo. Los objetivos de este trabajo fueron: Estimar el estado nutricional del cultivo en antesis y predecir el rendimiento y el contenido proteico a cosecha usando índices espectrales. Se realizaron 39 ensayos sobre cultivos comerciales, con 2 tratamientos: Control (Dosis de N usada por el productor); N 150 (150kg N ha^{-1} en emergencia + N productor). En antesis se determinó: biomasa, concentración de N en planta, N absorbido, índice SPAD y se calcularon varios índices espectrales a partir de la reflectancia del cultivo medida con un sensor terrestre portátil (Cropscan MSR 16). A cosecha se midió rendimiento y contenido proteico. Se establecieron relaciones entre los parámetros medidos en antesis con rendimiento y proteína. Los índices espectrales NDVI, GNDVI, TCARI, OSAVI y REIP correlacionaron con biomasa, mientras que la concentración de N en biomasa solo se relacionó a SPAD relativo (SPAD control/SPAD N150). Los índices NDVI, GNDVI y OSAVI permitieron una adecuada estimación del rendimiento. Por otro lado, proteína solo tuvo una débil correlación con SPAD. Proteína se asoció al N disponible inicial (N-nitrato + N fertilizante) por unidad de rendimiento. Usando NDVI medido en antesis como estimador de rendimiento se pudo predecir satisfactoriamente el contenido proteico de los granos.

Palabras claves: sensores remotos, índices espectrales, proteína

INTRODUCCION.

El uso de la fertilización nitrogenada en estadios avanzados del cultivo, cercano a antesis, surge como una alternativa para ajustar el contenido proteico en cebada cervecera y cumplir con los requisitos de calidad exigidos por la industria maltera. Como esta aplicación se realiza cuando ya ha transcurrido una buena parte del ciclo del cultivo y transcurrido el período crítico, se podría diagnosticar el estado nutricional del cultivo con mayor precisión que a la siembra-macollaje (Prystupa et al., 2004). La respuesta del cultivo a la aplicación de N en este momento del ciclo podría predecirse mediante la evaluación de variables del cultivo como la biomasa aérea, el N absorbido o la concentración del N en el cultivo. Estas variables pueden determinarse en forma directa, o estimarse a través de sensores remotos (radiómetros espectrales) (Clevers & Kooistra, 2012; Freeman *et a*l. 2003; Thenkabail, *et al*. 2002).

A partir del uso de sensores multiespectrales es posible generar numerosos índices que permiten evaluar distintos aspectos del canopeo de los cultivos (Hatfield *et al*., 2008). El NDVI (Rouse *et. al.*, 1973) es uno de los más usados. Gitelson *et al.*, (1996) proponen al GNDVI como un mejor estimador de biomasa con alta cobertura vegetal. Otros índices que se han propuesto son el Índice transformado de la absorción de la clorofila TCARI y el Índice de vegetación ajustado por la reflectancia del suelo OSAVI (Rondeaux *et. al*., 1996). A su vez, se pueden emplear combinaciones de estos índices como el cociente TCARI/OSAVI (Haboudane *et a*l. 2002) y el cociente MCARI/MTVI2 (Eitel *et al.* 2007).

La relación entre el nitrógeno disponible (Nd) y el rendimiento (R) (Nd/R), es un buen estimador del contenido proteico en cebada. En una red experimental anterior se determinó que para alcanzar un contenido proteico óptimo para la industria maltera (entre 10 y 12%) se debe disponer entre 22 y 40 kg ha^{-1} de N disponible por tonelada de rendimiento (Prystupa et al., 2008). Este modelo permite calcular el requerimiento de N para un rendimiento esperado. La limitación que tiene este procedimiento es que al comienzo del ciclo del cultivo no se puede realizar una buena estimación del rendimiento alcanzable, ya que este último depende de las condiciones ambientales durante el ciclo del cultivo. Dado que mediante índices espectrales se podría predecir el rendimiento con buena precisión, este modelo podría usarse para

estimar la necesidad de N considerando el estado nutricional del cultivo cercano al período crítico y, por lo tanto, obtener una mejor estimación que a la siembra.

Los objetivos de este trabajo fueron:

- Estimar el estado nutricional del cultivo en antesis mediante sensores remotos, a través de índices espectrales
- Predecir el rendimiento y contenido proteico del grano en cultivos de cebada cervecera a partir de índices medidos en antesis.
- Relacionar el cociente Nd/R con el contenido proteico y usarlo como predictor de necesidad de fertilización, usando el rendimiento estimado mediante índices.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 39 experimentos en el área del norte de la Provincia de Buenos Aires y sur de la provincia de Santa Fe, entre los años 2014 y 2016, sobre cultivos destinados a producción. Se usaron dos tratamientos: Control (sin fertilización adicional a la realizada por el productor a la siembra) y N150 (150 kg N ha^{-1} en 2 hojas- inicio de macollaje; sin limitación de N). Los sitios experimentales se encuentras descriptos Boero *et al*. (2018). Para este trabajo se realizaron las mediciones con sensores remotos y SPAD. En la semana previa a antesis se determinó el índice de verdor mediante un clorofilómetro (Minolta SPAD 502) en la anteúltima hoja en 20 plantas por parcela. Se calculó el valor de SPAD relativo de la siguiente manera: SPAD Control/SPAD N150. Se midió la reflectancia del cultivo con un radiómetro multiespectral portátil (CropScan MSR16, Rochester, EE.UU.), que permite medir la reflectancia del cultivo en 16 bandas comprendidas entre los 450 y 1600 nm. A partir de las lecturas obtenidas se calcularon varios índices espectrales (Clevers & Kooistra, 2012; Thenkabail *et a*l., 2000; Eitel, 2008; Haboudane, 2002): NDVI (Rouse *et. al.*, 1973); GNDVI; OSAVI; TCARI y REIP. En antesis se determinó la biomasa aérea mediante cosecha, la concentración de N en el material vegetal, por colorimetría sobre digestos Kjeldahl, y el N absorbido.

La cosecha a madurez se realizó en forma manual y se trilló en trilladora estacionaria. Sobre las muestras obtenidas se determinó la concentración de N del grano (y proteína multiplicando este valor por 6.25). Se realizaron análisis de regresión entre los índices espectrales y las variables medidas tanto en antesis como en cosecha final.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación de los índices espectrales medidos en antesis con la biomasa y la concentración de N en planta.

La biomasa del cultivo en antesis se relacionó significativamente con los siguientes índices evaluados: NDVI, GNDVI, OSAVI y REIP (Figura 1). En todos los casos las funciones cuadráticas presentaron mejor ajuste que las funciones lineales. El NDVI mostró el mejor ajuste (R^2= 0.60), siendo este resultado similar a lo observado por otros investigadores tanto para cebada como trigo (Freeman, 2003; Fox, 2008; Hatfield, 2002). Este índice tendió a saturase en altos valores de biomasa. El GNDVI y el OSAVI, propuestos como alternativa al NDVI por su menor tendencia a saturarse no mejoraron el ajuste (R^2=0.56-0.58). Por otra parte, REIP también reportado como buen estimador de biomasa (Redel & Zubillaga, 2014), mostró una menor tendencia a saturarse con valores altos de biomasa, aunque su ajuste fue menor que el de los índices anteriores. La concentración de N en la biomasa aérea no se relacionó con la mayoría de los índices probados. Solo se observó una relación con el SPAD relativo y el REIP del tratamiento control (Figura 2). La medición del índice SPAD relativizada a un tratamiento suficiente de N permite eliminar los efectos ambientales y de cultivar (Wienhold & Krupinsky, 1999). La falta de relación entre los índices espectrales y esta variable podría deberse principalmente a la alta sensibilidad de los índices a la cobertura por parte del cultivo. Por lo tanto, diferencias en la cobertura del suelo, debida a factores ambientales y prácticas de manejo, que fueron variables entre los sitios, podrían haber afectado esta relación. Estas observaciones coinciden con lo reportado en otros trabajos, donde se establecieron relaciones entre los índices y la concentración de N en planta a nivel local, bajo las mismas condiciones de cultivo, mientras que a nivel regional el ajuste fue más débil (Eitel, 2008; Haboudane *et al.*, 2002).

Biomasa (g m^{-2})

Figura 1: Relación de la biomasa del cultivo en antesis con los índices espectrales y SPAD

N en planta (mg g^{-1})

Figura 2: Relación de la concentración de N en planta en antesis con los índices espectrales y SPAD. Las regresiones para SPAD relativo y REIP fueron ajustadas solo al tratamiento control.

Relación de los índices espectrales medidos en antesis con el rendimiento y contenido proteico en grano

El rendimiento estuvo asociado a varios de los índices evaluados, siendo el NDVI y GNDVI los que mostraron un mejor ajuste. Las funciones que lograron los mejores ajustes fueron cuadráticas, excepto para REIP (Figura 3). Los índices que mejor ajustaron con el rendimiento fueron los que mejor se relacionaron con la biomasa en antesis.

Rendimiento (tn ha^{-1})

Figura 3: Relación entre el rendimiento del cultivo con los índices espectrales y SPAD.

Proteína (%)

Figura 4: Relación entre el contenido proteico en grano con los índices espectrales y SPAD

El contenido de proteína en grano no mostró relación con ninguno de los índices espectrales. Sólo la medición de SPAD se relacionó débilmente con la proteína (Figura 4). La falta de relación observada puede deberse por un lado, a que ninguno de los índices probados se relacionó con la concentración de N en planta en antesis. Como se observó previamente (Boero *et. al.* 2018, este Congreso), el contenido proteico de los granos estuvo relacionado con la concentración de N en la etapa de antesis. En el caso del SPAD relativo y REIP, si bien se asociaron a la concentración de N en antesis para el grupo control, no mostraron relación con la concentración de proteína de los granos.

Relación entre el N disponible con el rendimiento y contenido de proteína, uso del rendimiento estimado en antesis como diagnóstico.

La concentración de proteína de los granos estuvo relacionada al N disponible para el cultivo (sumatoria del N en el suelo como nitrato más el N agregado en el tratamiento N150) (R^2= 0.34, $p<0.01$) (datos no mostrados) y en mayor medida el cociente Nd/R (N disponible por unidad de rendimiento, R^2= 0.47, $p<0.01$) (Figura 5). Este cociente permitió explicar la concentración de proteína mejor que el N disponible debido a que considera la dilución de la proteína debido al incremento de rendimiento. A partir de la función obtenida se puede calcular la cantidad de N necesaria para lograr un contenido proteico deseado para un rendimiento logrado. Con la regresión observada se calculó que se requieren entre 32.8 y 47.1 kg de N por tn de rendimiento para obtener contenidos proteicos de 10 y 11%, respectivamente. Los valores obtenidos fueron superiores a los observados en una red anterior por Prystupa et. al. 2008, que fueron de 22 y 40 kg de N por tn de rendimiento. El rendimiento puede estimarse en antesis mediante alguno de los índices que se relacionaron a esta variable según lo descrito en la Figura 3. Usando la relación entre NDVI y rendimiento (Rendimiento = $25.71*(NDVI)^2 - 24.66*NDVI + 7.98$, Figura 5), se puede estimar en antesis el rendimiento del cultivo. Se encontró una relación significativa entre el N disponible por tonelada de rendimiento estimado con el contenido de proteína (R^2= 0.40; $p<0.01$), por lo que el rendimiento estimado en antesis puede ser usado para predecir la concentración de proteína de los granos. Según la relación obtenida, se deben disponer entre 28.7 y 39.g kg de N por tonelada por tonelada de rendimiento predicho mediante NDVI para lograr contenidos de proteína entre 10 y 11% respectivamente.

Figura 5: Proteína en función del N disponible por tonelada de rendimiento (Nd/R) (Izquierda) y proteína en función del N disponible por tonelada de rendimiento predicho mediante NDVI medido en antesis (Derecha).

CONCLUSIONES

En antesis, varios de los índices espectrales se relacionaron con la biomasa del cultivo, y el NDVI fue el que logró el mejor ajuste. Por otro lado, no se observó una relación entre la concentración de N del cultivo y ninguno de los índices. Sólo se pudo ajustar el índice SPAD y REIP para el grupo de tratamiento control. Una estrategia para mejorar el ajuste sería agrupar los datos por alguna variable, ya sea ambiental o de cultivo, para disminuir la interferencia de otros factores diferentes a la nutrición nitrogenada.

El rendimiento se relacionó a varios de los índices probados, y el NDVI mostró el mejor ajuste. La concentración de proteína sólo se relacionó débilmente a SPAD. Dado que proteína se relacionó con la disponibilidad de N por unidad

de rendimiento logrado, esta relación puede usarse para predecir el contenido proteico usando el rendimiento predicho en etapa de antesis con el NDVI. Con esta relación, conociendo el aporte de N del suelo más el fertilizante agregado, puede estimarse la concentración de proteína que se va a obtener a cosecha y, por lo tanto, la necesidad de fertilización complementaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de: Nicolás y Tati Casella de Italsem S.A., Gustavo Franco; Gustavo Herrá de ASP S.A, Alejandro Alegre y Esteban Marré de El Mayoral S.R.L., Sebastian Arias, Carlos Gutiérrez, Gustavo Falconi de El Ceibo Cereales, Emilio Secreto, Marcelo Sabione y Jorge Álvarez.

BIBLIOGRAFÍA

- Boero J.J. Gomez F.M. Prystupa P.P. Ferraris G.N. y. Gutierrez Boem F.H. (2018) Fertilización nitrogenada en emergencia y antesis en cebada cervecera, uso de curvas de dilución como herramienta de diagnóstico. XXVI CACS, Tucumán, 2018.
- Clevers, J.G. & L. Kooistra. 2012. Using hyperspectral remote sensing data for retrieving canopy chlorophyll and nitrogen content. IEEE J Selected Topics Applied Earth Observations Remote Sensing, 5(2): 574-583.
- Eitel, J.U.H.; Long, D.S.; Gessler, P.E.; Hunt, E.R.; Brown, D.J. 2008 Sensitivity of ground-based remote sensing estimates of wheat chlorophyll content to variation in soil reflectance. Soil Sci. Soc. Am. J. 2009, 73, 1715–1723.
- Freeman, K.W., W.R. Raun, G.V. Johson, R.W. Mullen, M.L. Stone & J.B. Solie. 2003. Late-season prediction of wheat grain yield and grain protein. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 34: 1837-1852.
- Fox, R.H. & C.L. Walthal 2008 Crop Monitoring Technologies to Assess Nitrogen Status. Nitrogen in Agricultural Systems. 647-674.
- Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman, and M.N. Merzlyak, 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS, Remote Sens. Environ,. 58:289-298.
- Haboudane, D., J.R. Miller, N. Tremblay, P.J. Zarco-Tejada, and L. Dextrazec.2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of cropChlorophyll content for application to precision agriculture. Remote Sens.Environ. 81:416–426.
- Hatfield, J.L., A. A. Gitelson, J. S. Schepers, and C. L. Walthall. 2008. Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions. Agronomy Journal 100: 117-131.
- Prystupa, P., R. Savin & G.A. Slafer. 2004. Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to NxP fertilization in barley. Field Crops Res. 90: 245-254.
- Prystupa, P., G. Ferraris, R. Bergh, T. Loewy, L. Ventimiglia, L. Couretot & F.H. Gutierrez Boem. 2008. Fertilización de cebada cervecera cv. Scarlett: IV. Estimación de la respuesta del contenido proteico a la fertilización nitrogenada. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, San Luis, Mayo.
- Redel M. & M Zubillaga. 2014. Aproximaciones para el manejo sitio-específico de la fertilización nitrogenada en maíz a través de índices espectrales. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. N° 15 IPNI Cono Sur, Bs As, pp 15-21.
- Rondeaux, G., M. Steven, and F. Baret. 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. Remote Sens. Environ. 55:95–107.
- Rouse, J.W., Jr., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. ERTS Symp. 3rd, Washington, DC. 10–14 Dec. 1972. NASA SP-351. Vol. I:309–317. NASA, Washington, DC.
- Thenkabail, P.S., R.B. Smith & E. de Pauw. 2000. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. Remote Sens. Environ. 71: 158-182.
- Wienhold, B.J.,& J.M. Krupinsky. 1999. Chlorophyll meter as nitrogen management tool in malting barley. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 30:2551–2562.

C3P17. USO DE DIGESTATO COMO BIOFERLIZANTE DERIVADO DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

Bongiovanni Marcos D., Marzari Rosana y Amin, Silvana.

Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 8 Km 601. Rio Cuarto. Córdoba mbongiovanni@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

El digestato es un subproducto de la producción de biogás (metano) a partir del proceso de digestión anaeróbica de productos vegetales y estiércoles de animales. Presenta un alto valor nutricional, por lo que puede ser utilizado como biofertilizante, promoviendo la recirculación de nutrientes y considerando la posibilidad de reemplazar parcial o totalmente el uso de fertilizantes sintéticos, disminuyendo su uso y evitando así problemas de contaminación por concentración. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del digestato como biofertilizante en un cultivo de maíz, estudiando sus posibles efectos a nivel físico-químico y químico del suelo y la respuesta productiva del cultivo. Se plantearon cinco tratamientos con aplicación de biofertilizante en dosis y momentos de aplicación variables, un tratamiento con fertilizante químico comercial en la dosis usada normalmente por el productor y un testigo sin aplicación de fertilizante. El uso de digestato como biofertilizante no modificó significativamente propiedades físico-químicas del suelo como son pH y CE, manteniendo los niveles dentro de los parámetros óptimos para el crecimiento de maíz. La aplicación del biofertilizante tuvo efectos positivos en los nivele de P disponible en el suelo y en la respuesta del rendimiento del cultivo de maíz, existiendo diferencias significativas con el tratamiento testigo, sin la aplicación de biofertilizante.

Palabras claves: suelo, nutrición, bioenergía

INTRODUCCIÓN

La situación ambiental actual requiere cada vez más la utilización de alternativas más eficientes y amigables con el medio ambiente, con el objetivo de tender hacia una producción más sustentable que permita también altos niveles productivos pero sin perder en el proceso recursos no renovables y contaminar el medio. Tecnologías limpias como la energía solar, eólica, geotérmica y la producción de biocombustibles están comenzando a tener más atención en un contexto donde el uso de energía fósil como principal fuente de energía comienza a tener más repercusiones en varios aspectos, tanto sociales, económicos, políticos como ambientales.

Como externalidades de la generación de energía por medio de biocombustibles se generan subproductos de alto valor nutricional. El digestato utilizado como biofertilizante es el producto remanente luego de que ocurrió la digestión anaeróbica en el reactor del ingestato (Cecchi *et al.*, 1988). El digestato es un subproducto de la producción de biogás (metano) a partir del proceso de digestión anaeróbica de productos vegetales y estiércoles de animales, el cual puede ser utilizado a modo de biofertilizante. El procedimiento de digestión anaeróbica en las plantas de biogás básicamente gradúa las fracciones orgánicas de la materia prima a metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y residuos digeridos, conservando el nitrógeno como amonio (NH_4^+) (Barbosa, 2014). Es biológicamente más estable que la materia orgánica propia del ingestato, por lo que no es rápidamente degradado, tiene un gran valor nutritivo ya que posee nutrientes esenciales como N, P, K, Mg y algunos elementos traza que se conservan en el residuo y que son requeridos por las plantas. El digestato mejora el rendimiento del cultivo cuando se usa como fertilizante en la producción de plantas, ya que nutrientes como el nitrógeno y fósforo, entre otros, que se mineralizan en el digestor, pasan a estar disponibles y no se pierden en el proceso (Masse, 2007). A su vez, presenta beneficios para la estructuración y agregación del suelo y provee en mayor proporción moléculas recalcitrantes (lignina, cutina, ácidos húmicos), las cuales son bien conocidas como precursoras en el proceso de humificación (D'Imporzano & Adani, 2007; Schievano *et al*., 2008), aumentando la materia orgánica del suelo y todos los beneficios que esto conlleva. Otro dato importante del proceso es que el nitrógeno mineralizado se acumula mayormente como (NH_4^+) (Sorensen & Moller, 2008), siendo este ion muy disponible y absorbible por el cultivo.

Considerando la posibilidad de reemplazar parcial o totalmente el uso de fertilizantes sintéticos con la aplicación al suelo de digestato, promoviendo así la recirculación de nutrientes y evitando problemas de contaminación por concentración, se desarrollo el presente trabajo con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de digestato como

biofertilizante en un cultivo de maíz, estudiando sus posibles efectos a nivel físico-químico y químico del suelo y la respuesta productiva del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó en la campaña 2015-2016 en un establecimiento agropecuario ubicado unos 7 km al sur oeste de la ciudad de Río Cuarto, Córdoba. Los suelos predominantes en el área son Haplustoles típicos con textura franca.

El diseño de la investigación fue en bloques completos al azar con tres repeticiones, cada parcela tuvo una dimensión de 18 m x 130 m. Se plantearon cinco tratamientos con el biofertilzante, los cuales fueron variando en la dosis y en el momento de la aplicación, un tratamiento con fertilizante químico comercial en la dosis usada por el productor y un tratamiento testigo sin fertilizar.

Tratamientos:

T1: 100 m^3. ha^{-1}, un mes antes de la siembra del cultivo de maíz.
T2: Testigo sin la aplicación de digestato
T3: 50 m^3. ha^{-1}, una semana antes de la siembra.
T4: 100 m^3. ha^{-1}, una semana antes de la siembra.
T5: 150 m^3. ha^{-1}, una semana antes de la siembra.
T6: 200 kg de una mezcla de fosfato diamónico y urea.

El digestato utilizado como biofertilizante posee en promedio: 63,5 g l^{-1} de sólidos totales, pH de 7,9 y conductividad eléctrica de 17 dS m^{-1}. Aportando 2,73 g l^{-1} de N y P disponible de 13,5 mg l^{-1}. Se sembró el maíz DK190 MGRR a razón de 3,4 semillas por metro, el 16 de diciembre de 2015.

El digestato utilizado como fertilizante se enmarca con la reglamentación de estándares y normas de vertidos para la preservación del recurso hídrico provincia de Córdoba (MAAySP, 2017)

Determinaciones:

Las determinaciones se realizaron en el suelo a dos profundidades: 0-20 y 20-40 cm y en tres momentos del ciclo del cultivo de maíz: a la semana de siembra (Dic), a los a los 80 días de la siembra (Feb) y a cosecha (Agos). A las muestras se le determinó contenido de Materia orgánica total (MOt) mediante el método de Walkley-Black (Nelson & Sommer, 1982), Nitrógeno de Nitratos (Fenoldisulfónico), fósforo disponible (Bray & Kurtz), pH actual, conductividad eléctrica (C.E.) 1:1(Page, 1982) y actividad biológica global (ABG) del suelo en condiciones controladas durante 14 días de incubación (Frioni, 1990). En el cultivo se determinó densidad de plantas logradas, rendimiento de granos por medio de cosecha manual y la relación en peso grano/marlo de todos los tratamientos estudiados. En el tratamiento testigo (T6) sólo se midió rendimiento del cultivo, sin realizar determinaciones en suelo.

El análisis de los datos obtenidos se realizó por medio de estadísticas descriptivas, análisis de varianza y comparación de medias por Fisher ($p<0,05$) (DiRenzo, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se observaron efectos fitotoxicos por parte del digestato usado como bifertilizante, dado que la densidad de plantas lograda en promedio fue de 60 000 pl ha^{-1} y no hubo diferencias significativas entre la cantidad de plantas de maíz emergidas en los diferentes tratamientos.

La aplicación del biofertilizante no produjo cambios en los niveles de M.O. del suelo de 0-20 cm a corto plazo, encontrándose valores entre 1,85 y 2.06 % con un CV de 9,88% para los diferentes tratamientos utilizados y para las dos fechas en que se determino esta variable (Dic y Feb).

El bioferiliznate tampoco genero cambios significativos en los niveles de C.E. del suelo, siendo este dato muy importante debido a los altos niveles de C.E. que posee el digestato. Los valores de C.E. en el suelo variaron del más bajo en el T3 (0,23 dS m^{-1}) al más alto en T1 (0,29 dS m^{-1}) en el muestreo de Dic., disminuyendo a lo largo del ciclo del maíz a valores menores a 0,1 dS.m^{-1}, esto se prodía atribuir principalmente al lavado de sales por efecto de las precipitaciones, ya que entre la aplicación del biofertilizante y la cosecha la lluvia fue de 619 mm (Fig. 1a). El pH determinado en el suelo no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre tratamientos para cada fecha de muestreo (Dic, Feb y Ago), encontrándose una tendencia a incrementar los valores de pH de 5,9 en el muestreo de Dic a 6,3 en el muestreo de Agos (Fig 1b).

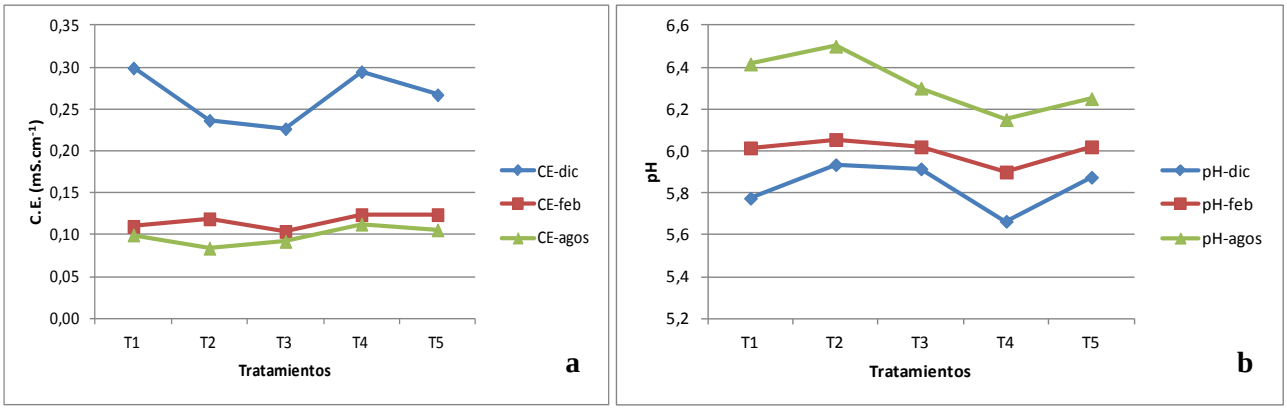


Figura 1. a: Conductividad eléctrica (C.E) de 0-20 cm en el suelo para los muestreo de diciembre, febrero y agosto. **b**: pH de 0-20 cm en el suelo para los muestreo de diciembre, febrero y agosto.

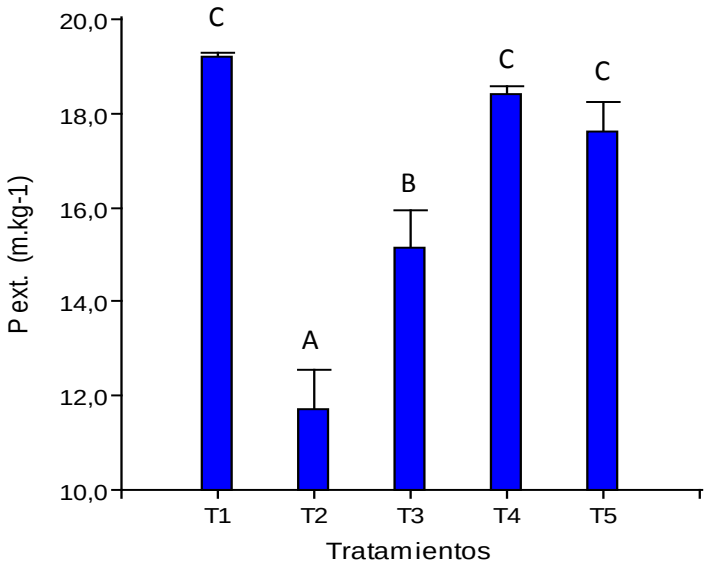


Figura 2: Fósforo extractable de 0 a 20 cm de profundidad para los distintos tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05). Las barras indican el valor del error estándar de las medias.

La aplicación anticipada (T1) un mes antes de la siembra incrementó los niveles de P extractable cuando se lo compara con el testigo (T2). Este resultado es destacable ya que estos niveles altos de P se mantuvieron hasta el momento de la siembra, que es cuando el cultivo lo comienza a necesitar disponible. Los tratamientos aplicados una semana antes de la siembra también modificaron el P ext, cuando se lo compara con el testigo (T2). La disponibilidad de P se incrementa, estando con más disponibilidad al momento de floración, sobre todo en la dosis máxima, donde encontraron valores que superan 1,9 veces al T2 (Fig. 2).

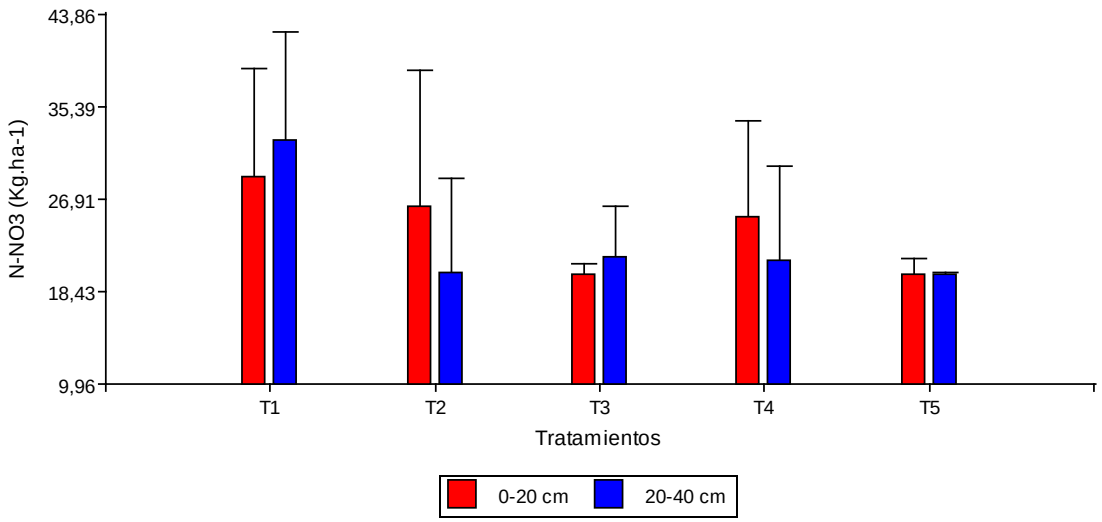


Figura 3: Nitrógeno de Nitratos a dos profundidades para los distintos tratamientos con digestato. Las barras indican el valor del error estándar de las medias.

Los niveles de nitratos en el suelo se diferenciaron en las dos profundidades estudiadas (0-20 y 20-40 cm) y para los dos momentos del cultivo (semana de siembra diciembre y floración, datos no mostrados), no existiendo diferencias marcadas entre tratamientos. Con la disponibilidad de NO_3^- sucedió algo similar que con el P, en la medición a floración las aplicaciones de biofertilizante en la semana anterior a la siembra, se encontraron los mayores niveles en el suelo a la floración del maíz, hecho muy importante ya que es cuando se dan las mayores demandas del nutriente por parte del cultivo. Con la aplicación temprana (T1) las mayores disponibilidades de NO_3^- se encontraron más cercanas a la siembra del maíz (Fig. 3). En el presente ensayo no se registraron acumulación de nitratos en el suelo ya que no se presentó asincronia entre la mineralización del nitrógeno orgánico del digestato y el absorbido por la planta, disminuyendo los potenciales efectos negativos por lixiviación. Otro punto importante que puede influir en los bajos niveles de nitratos encontrados en el suelo es a que una graparte del aporte del bofertilizante se hace en forma de amonio (Sorensen and Moller, 2008)

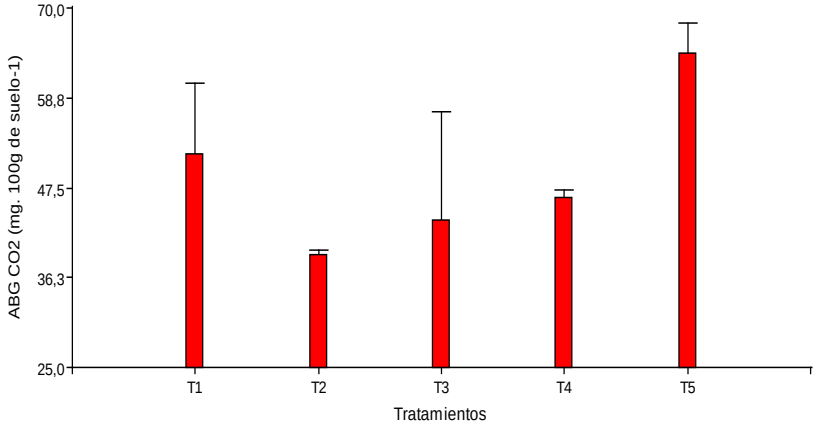


Figura 4: Respiración del suelo para los diferentes tratamientos con biofertilizante de 0 a 20 cm de profundidad para los distintos tratamientos. Las barras indican el valor del error estándar de las medias.

La medida de la respiración permite evaluar la actividad total de un suelo o la transformación de un determinado sustrato (Cabrera y Crespo, 2001). La ABG medida en el CO_2 desprendido debido a la respiración del suelo no fue significativamente diferente por efecto de la aplicación del digestato, existiendo una tendencia a una mayor liberación de CO_2 en los tratamientos con mayor dosis y en la de dosis anticipada (Fig. 4).

Tabla 1: Rendimiento de maíz en función de los diferentes tratamientos de digestato como biofertilizante

Tratamientos	Rendimiento Maíz (Kg.Ha-1)	Relación Grano/Marlo
T1	8428,5 a	7.99 a
T2	6251,5 b	7,26 a
T3	7492,2 a	7.75 a
T4	7560,0 a	7,67 a
T5	8354,8 a	7,96 a
T6	7394,3 a	7,64 a
CV %	9,4	6,57

Medias con una letra común en las misma columna no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

La aplicación del biofertilizante (T1, T3, T4 y T5) tuvo efectos significativos sobre el rendimiento cuando se lo compara con el tratamiento testigo (T2) (Tabla 1). Con la aplicación del biofertilizante se obtuvieron rendimientos que superaron entre 1200 a 1600 Kg ha^{-1} al testigo. Se destaca que con la aplicación del biofertilizante en dosis bajas y medias (T3 y T4) se obtuvieron rendimientos similares a la fertilización con Urea y Fósforo (T6). Con la dosis máxima (T5) y media anticipada un mes antes de la siembra (T1), se observa una tendencia a obtener rendimientos superiores a la aplicación de fertilizantes comerciales. Estos resultados concuerdan con Barbosa *et al.* (2014), en la que evaluaron la potencial fuente de nutrientes del digestato para la producción de biomasa a partir de cultivo de maíz.

CONCLUSIONES

El uso de digestato como biofertilizante no modificó significativamente propiedades físico-químicas del suelo como son pH y CE, manteniendo los niveles dentro de los parámetros óptimos para el crecimiento de maíz. La aplicación del biofertilizante tuvo efectos positivos en los nivele de P disponible. Se encontraron respuestas en el rendimiento de maíz con las distintas dosis del biofertilizante, existiendo diferencias con el testigo sin la aplicación de biofertilizante, respondiendo en forma positiva y en forma comparable a la aplicación de fertilizantes sintéticos. La importante presencia de nutrientes en el biogás-digestato en nuestro estudio condujo a un efecto fertilizante positivo para las plantas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Ing. Agr. G. Andreo y G.Dibella de la empresa Biomass Crop. S. A. por la ayuda prestada para llevar adelante la experiencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbosa, DBP; M Nabel & ND Jablonowski. 2014. Biogas-digestate as nutrient source for biomass production of Sida hermaphrodita, Zea mays L. and Medicago sativa L. Energy procedia, 59, 120-126
- Cabrera G. y G. Crespo. 2001. Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 35:3-5.
- Cecchi, F. 2008. State-of-the-art of R&D in the anaerobic digestion process of municipal soil waste in Europe. Biomass. 16: 257-284.
- D'Imporzano, G. 2007. The contribution of water soluble and water insoluble organic fraction to oxygen uptake rate during high composting. Biodegradation. 18: 103-113.
- Di Rienzo JA; F Casanoves; M G Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2016. Infostat Versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar
- Frioni L. 1990. Ecología Microbiana del suelo. Dpto. de Publicaciones Ediciones de la Universidad de La República. Montevideo. Uruguay. 519p Masse, D. I. 2007. The fate of crop nutrient during digestión swine manure in psychrophilic anaerobic sequencing batch reactor. Bioresource technology. 98: 2819-2823.
- Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos. 2017. Boletín oficial de la provincia de Córdoba Nº 81
- Nelson, DW & LE Sommers. 1982. Total carbon, Organic carbon and Organic Matter in A. Klute (ed.) Methods of of soil analysis Chemical and Microbiological Properties Part 2. edAgron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI. pp. 539-577.

- Page, AL. 1982. Methods of soil analisis Part 1 Number 9. American Society of Agronomy, Inc. Sail Science Society of American, Inc. Segundaedición. Madison, Wisconsis. USA. 1159 p.
- Schievano, A. 2008. Predicting anaerobic biogasification potential of ingestate and digestate of a full-scale biogas plant using chemical and biological parameters. Bioresource technology. 99: 8112-8117.
- Sorensen, P. Moller, H. B. 2008. The faith of nitrogen in pig and cattle slurries applied to the soil-crop system. Publicación.

C3P18. APORTE DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA DE LARGO PLAZO A LAS FRACCIONES ORGÁNICAS DE FÓSFORO DEL SUELO

Bressan, Eliana S.[1]; Appelhans, Stefania C.[1,2,3]; Barbagelata, Pedro A.[1,3] y Melchiori, Ricardo J. M.[3]
[1]Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta 11 km 10,5. Oro Verde, Entre Ríos. bressaneliana@gmail.com
[2]CONICET
[3]INTA EEA Paraná

RESUMEN

La fertilización se ha utilizado para aumentar el rendimiento y la biomasa de los cultivos, y en consecuencia el aporte de residuos al suelo y sus componentes fosfatados. Las metodologías actuales para el diagnóstico de la fertilidad fosfatada de los suelos solo contemplan una fracción inorgánica de fósforo del suelo para estimar su disponibilidad para los cultivos, sin contemplar el aporte de P desde las fracciones orgánicas. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización fosfatada sobre fracciones de P que incluyan el P orgánico en un suelo Molisol y Vertisol bajo siembra directa, y su relación con el P absorbido y el rendimiento de los cultivos de soja y maíz. Se utilizó un ensayo de larga duración establecido en la EEA Paraná de INTA, con y sin fertilización fosfatada inicial (control y 200 kg P ha^{-1}) y anual (control y 36 kg P ha^{-1}). Los tratamientos están dispuestos en un diseño en bloques completos aleatorizados con 4 repeticiones. Las muestras de suelo se separaron en la fracción asociada a minerales (FAM) y particulada (FP), y en ambas se determinó en P inorgánico (Pi), orgánico (Po) y total (Pt). Se determinó: rendimiento, rendimiento relativo, biomasa, concentración de P en grano, P absorbido por los cultivos. Se determinaron las relaciones entre el rendimiento en soja y las fracciones P. La aplicación inicial de P afectó a las fracciones de P inorgánicas del suelo. La aplicación anual afectó las fracciones orgánicas e inorgánicas de P del suelo Molisol e inorgánicas del Vertisol. El rendimiento de soja se relacionó positivamente con el Pt-FAM, Pt-FP y Po-FP. El mayor ajuste en la relación con el rendimiento de soja fue del Po-FP comparado al Pt-FP, por lo que podría ser un buen indicador de la disponibilidad de Po en el Vertisol.

Palabras claves: fracción particulada, fósforo orgánico, fertilización anual

INTRODUCCIÓN

En Argentina, la actividad agrícola se ha intensificado debido al aumento de la productividad de los cultivos, haciendo que los sistemas agropecuarios sean cada vez más demandantes. Resulta fundamental diagnosticar correctamente el estado nutricional de los cultivos para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos e insumos involucrados, y contribuir de manera sostenible a la producción (Correndo & García, 2014).

En las últimas décadas, se ha adoptado en forma generalizada la siembra directa, como medio efectivo para contener y eventualmente revertir el deterioro del suelo, y disminuir las pérdidas de materia orgánica y nutrientes (Selles, 2003). Los efectos de esta práctica se vieron reflejados en mayores niveles de materia orgánica y de la actividad biológica en superficie, y en diferencias en cuanto a la disponibilidad de nutrientes, como el fósforo (P) (Picone *et al.*, 2007).

Diferentes autores han reportado la estratificación del P, y aumentos en la concentración del P Bray en los primeros 5 cm de suelo (Picone *et al.*, 2007; Zamuner *et al.*, 2008; Ciampitti *et al.*, 2011). Esta estratificación ha sido favorecida por el reciclaje de P que realizan los cultivos, la falta de incorporación del fertilizante en profundidad y su naturaleza inmóvil, resultando en la formación y acumulación de formas más biodisponibles de P orgánico con potencial de renovar rápidamente el pool de P disponible para las plantas a través de su mineralización (Picone *et al.*, 2007; Galantini & Suñer, 2008; Zamuner *et al.*, 2008).

Los cultivos absorben el P de la solución del suelo, y la fracción soluble de este mineral está en equilibrio con las formas lábiles, que comprende el P orgánico fácilmente mineralizable y los fosfatos débilmente adsorbidos a las arcillas (Picone & Zamuner, 2002). Se ha reportado que las fracciones orgánicas de fósforo lábil y moderadamente lábil predominan respecto a las inorgánicas (Boschetti *et al.*, 2003), y que el P orgánico disminuye, sugiriendo que el P absorbido por los cultivos y exportado en la cosecha tiene su origen en la mineralización del mismo (Picone & Zamuner, 2002; Selles, 2003). Esto permitiría suponer que el P orgánico es una importante fuente de P, más aún en suelos deficientes. En Argentina se han reportado valores de P orgánico (Po) entre el 78 y 83% del P total en suelos molisoles de Buenos Aires; mientras que en suelos Vertisoles y Alfisoles de Entre Ríos oscila entre el 41 y 74% del P total, en los horizontes superiores (Picone & Zamuner, 2002).

La cantidad de P total en los suelos es muy superior a lo que requieren los cultivos, pero la baja solubilidad del P y los sitios de sorción que compiten con las plantas generan una baja disponibilidad (Tiessen, 2003). En los suelos

mesopotámicos, el P total en superficie es medio a bajo, no superando generalmente los 700 mg kg^{-1} de P, y niveles de P disponible normalmente bajos o muy bajos (Boschetti *et al.*, 2003). Es por ello que se recurre a fertilizaciones fosfatadas.

Mediante la aplicación de fertilizantes inorgánicos se aumenta la disponibilidad de nutrientes y, en consecuencia, la producción de los cultivos. Este último se asocia a un incremento de la materia seca total, que lleva a un mayor aporte de residuos al suelo con efecto positivo sobre la materia orgánica (Galantini & Suñer, 2008) y sus componentes fosfatados (Anderson, 1980; Picone *et al.*, 2007; Ciampitti *et al.*, 2011). Además, se ha observado que esta práctica afecta en forma diferente a las fracciones orgánicas del suelo, modificando la relación entre ellas (Galantini & Suñer, 2008). Tanto en situaciones de déficit como de exceso de P, deberían producirse con el tiempo cambios en la distribución de algunas fracciones que se verían reflejados en la capacidad de reabastecimiento de P del suelo (Picone *et al.*, 2007). Ciampitti *et al.* (2011) mostraron que la fertilización con P promovió el aumento en el contenido de P total, especialmente en el horizonte superficial del suelo, debido a los cambios en la cantidad y calidad de los residuos de cultivos aportados.

Por otra parte, es esperable que el aporte del P de fertilizantes fosfatados al P disponible para los cultivos pueda diferir entre suelos con diferente productividad y capacidad de retención del P. La productividad de los Molisoles es mayor que la de los Vertisoles (Tasi, 2009), lo que afecta el aporte de residuos de los cultivos al suelo. En consecuencia, tanto el P aportado desde los residuos como el aportado desde los fertilizantes y desde fracciones orgánicas lábiles sobre el P disponible, podría ser menor en suelos Vertisoles que en suelos Molisoles, debido a su mayor capacidad de retención del P (Boschetti *et al.*, 1998).

La metodología actual de diagnóstico de la fertilidad fosfatada del suelo comúnmente utilizado en la región se basa en el método de Bray y Kurtz (1945) (P Bray) para estimar el nivel de P disponible del suelo y la probabilidad de respuesta a la fertilización fosfatada en los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y soja (*Glicine max* L.), a 0-20 cm de profundidad (Correndo & García, 2014). El nivel crítico de P Bray para soja oscila entre 9 y 14 mg P kg^{-1} (Echeverría & García, 1998; García & Ciampitti, 2011), y para maíz se encuentra entre 13 y 18 mg P kg^{-1} (Echeverría & García, 1998; García & Ciampitti, 2011; Barbagelata, 2012; Correndo & García, 2014).

Sin embargo, este método sólo considera la fracción inorgánica del suelo, sin tener en cuenta el P que puede ser liberado por la mineralización desde las fracciones orgánicas (Selles, 2003; Wyngaard *et al.*, 2013). Se ha sugerido que en suelos con manejos que tienden a aumentar el P orgánico, los métodos de análisis para la determinación del requerimiento de fertilizantes deberían considerar las fracciones de P orgánico fácilmente mineralizables (Selles, 2003).

Contenido de P en la materia orgánica particulada

Una fracción de P que ha sido sugerida como posible predictor del estado nutricional de los cultivos es el contenido de P de la materia orgánica particulada (P-FP) (Ciampitti *et al.*, 2011). La materia orgánica del suelo se particiona en materia orgánica asociada a minerales (FAM) y materia orgánica particulada (FP). La primera es una fracción compuesta de partículas de limo y arcillas, estable, poco sensible a las prácticas agrícolas y con una mayor capacidad de adsorción de P. En contraposición, la FP está conformada por partículas cuyo tamaño es mayor a 53 µm, e incluye arenas y residuos animales y vegetales parcialmente descompuestos, representando una fracción lábil y activa (Wyngaard *et al.*, 2013). Esta última tiene una alta respuesta a las prácticas de manejo y contribuye significativamente a la dinámica de nutrientes en el corto y mediano plazo (Wyngaard *et al.*, 2013).

El P-FP ha mostrado una relación positiva con la acumulación de P a R1 por las plantas de maíz, sugiriendo que podría ser un parámetro de la disponibilidad de P orgánico (Ciampitti *et al.*, 2011). Sin embargo, Appelhans *et al.* (2016) mostraron que el P-FP no se relacionó rendimiento relativo del cultivo de soja. Alternativamente, Wyngaard *et al.* (2016) sugirió que el P orgánico de la FP es un indicador de la mineralización potencial de P, ya que se relacionó con la mineralización de P medida mediante dilución isotópica. Tanto el P-FP y el Po-FP han sido reportadas como fracciones sensibles a la fertilización con P (Ciampitti *et al.*, 2011, Wyngaard *et al.*, 2013). Sin embargo, aún no se ha demostrado su relación con el P total acumulado por los cultivos. En este sentido, resulta relevante determinar si la fertilización fosfatada en ensayos de larga duración afecta estas fracciones de P para poder establecer prácticas de fertilización más sustentables.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización fosfatada sobre fracciones de P que incluyan el P orgánico en un suelo Molisol y Vertisol bajo siembra directa, y su relación con el P absorbido y el rendimiento de los cultivos de soja y maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron ensayos de larga duración ubicados en la EEA Paraná del INTA con diferentes dosis fertilización fosfatada, en dos tipos de suelo (Barbagelata, 2012). En el suelo Molisol Serie Tezanos Pinto (Argiudol ácuico) el ensayo presenta una secuencia trigo/soja-maíz e inició en el año 2007; y en el suelo Vertisol Serie Febré (Peluderte árgico crómico), trigo/soja-maíz-soja, iniciado en el año 2006. La fuente fosfatada fue superfosfato triple de calcio (0-46-0).

Se evaluaron cuatro tratamientos para el año 2016: 1) Control sin aplicación inicial y sin aplicación anual de P; 2) Control sin aplicación inicial de P y con 36 kg de P ha^{-1} $año^{-1}$; 3)Aplicación inicial de 200 kg de P ha^{-1} sin aplicación anual de P; y 4) Aplicación inicial de 200 kg de P ha^{-1} con 36 kg de P ha^{-1} $año^{-1}$.Los tratamientos están dispuestos en un diseño en bloques completos aleatorizados, con 4 repeticiones y las unidades experimentales son de 4,8 m x 12 m.

Se analizaron muestras de suelo tomadas en el año 2016 a 0-5 cm y 5-20 cm de profundidad. Los valores de cada fracción de P a 0-20 cm de profundidad fueron calculados como un promedio ponderados de los valores de P a 0-5 cm y 5-20 cm. Las muestras se secaron al aire, se molieron y tamizaron a 2 mm.

Las muestras de suelo se fraccionaron en fracción asociada a minerales y fracción particulada (FAM y FP, respectivamente) utilizando el método propuesto por Cambardella & Eliott (1992) con modificaciones, utilizando bolitas de vidrio como agente dispersante (Irizar *et al.*, 2010) en vez de hexametafosfato como indica la técnica original, ya que interfiere en la determinación del P. Se determinó el P total (Pt), inorgánico (Pi) y orgánico (Po) en ambas fracciones.

Para determinar el Pt se utilizó el método de calcinación (Kuo, 1996), sometiendo cada una de las muestras a 550°C durante una hora en una mufla, convirtiendo el Po en Pi, y la posterior extracción del P con H_2SO_4 0,5M por 16h. Se procedió a la determinación del P por colorimetría a 882 nm, siguiendo el método del ácido ascórbico propuesto por Murphy & Riley (1962). De igual manera se determinó el Pi de las muestras sin calcinar mediante extracción con H_2SO_4. Y el Po se obtuvo por diferencia entre el Pt y el Pi.

Para cuantificar el P absorbido por el cultivo, se tomaron muestras de 1 m^2 de biomasa aérea total acumulada hasta R7 en soja y R6 en maíz de la campaña 2016-17, correspondientes a las parcelas bajo los distintos tratamientos de fertilización mencionados. En cada muestra se separaron los granos de la biomasa total. Las muestras fueron secadas a 65ºC y molidas a 1mm. El rendimiento de soja y maíz fue determinado utilizando una cosechadora experimental en 12 m^2 en cada sub-parcela, y el rendimiento fue corregido a 135 y 145 g kg^{-1} de humedad, respectivamente. La concentración de P en la biomasa y granos fue determinada por digestión con HNO_3–$HClO_4$ (Kuo, 1996), y análisis colorimétrico. El rendimiento relativo (RR) del cultivo de soja y maíz fue calculado como el cociente entre el rendimiento de cada tratamiento y el rendimiento del tratamiento con máxima dosis de P (200 kg P ha^{-1} iniciales y 36 kg P ha^{-1} anuales).

Las variables determinadas se analizaron mediante ANOVA, y las medias de los tratamientos mediante LSD, utilizando el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011). Las relaciones entre el rendimiento del cultivo de soja y las fracciones P, fueron determinadas con TableCurve 5.0 (Systat Software Inc), utilizando un modelo lineal-plateau.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra los valores de P de las diferentes fracciones en un suelo Molisol y Vertisol.

Respecto a la aplicación inicial con P, solo se observan diferencias significativas en los valores de Pi de la FAM y en el P Bray del suelo Molisol; y en los valores de Pi y Pt de la FP del suelo Vertisol.

Para la aplicación anual se observan diferencias significativas para todas las fracciones determinadas del suelo Molisol. En cambio, el suelo Vertisol solo hubo diferencias significativas en el Pi y Pt de la FP y FAM, y en el P Bray. Esto concuerda con trabajos anteriores (Bunemann *et al.*, 2006; McLaughlin *et al.*, 2011, Wyngaard *et al.*, 2013), donde la fertilización con P en el largo plazo produjo un aumento principalmente de las fracciones inorgánicas del suelo. Por lo tanto, los incremento en las fracciones de Pt pueden deberse a un aumento principalmente de las fracciones inorgánicas. Los aumentos en el contenido de Pi y Pt de la FP en ambos suelos, coincide con lo reportado anteriormente (Ciampitti *et al.* 2011; Wyngaard *et al.*, 2013, 2016)

Respecto al Po de la FP, el cual ha sido reportado como un indicador de la mineralización potencial de Po y un índice sensible a cambios de manejo (Wyngaard *et al.*, 2013, 2016), solo aumentó para el suelo Molisol cuando se fertilizó anualmente. En este sentido, el suelo Molisol presenta una mayor productividad de los cultivos comparado con el suelo Vertisol, y por lo tanto un mayor reciclado de P a través de los residuos de los cultivos. A pesar de que el incremento en el aporte de residuos de cultivos resulta en una mayor mineralización de Po por adición de C, este mayor pool de Po podría enmascarar dicho proceso (Maltais-Landry & Frossard, 2015).

Los datos de los cultivos para los distintos tratamientos analizados se muestran en la Tabla 2.

En maíz, en el suelo Molisol solo se observó diferencias significativas en la biomasa cuando se aplicó P anualmente. En cambio, para soja en el suelo Vertisol se observaron diferencias significativas para la fertilización anual de P en todas las variables del cultivo analizadas, excepto en el ICP. Estos resultados coinciden con lo informado por Galantini & Suñer (2008), quienes indicaron que la aplicación anual de fertilizantes fosfatados aumenta la disponibilidad de nutrientes, asociado a un incremento de la materia seca total, con efecto positivo sobre la materia orgánica del suelo.

El cultivo de maíz no presentó respuesta a la fertilización fosfatada, debido a que el nivel de P Bray del suelo estaba por encima del umbral crítico calibrado para la zona, el cual oscila entre 12y 18 mg P kg^{-1} (Echeverría & García, 1998; García & Ciampitti, 2011; Barbagelata, 2012).

Tabla 1: Concentración de fósforo orgánico (Po), inorgánico (Pi), total (Pt) y P Bray para las fracciones de suelo asociada a minerales (FAM) y particulada (FP) en un suelo Molisol y Vertisol a 0-20 cm para los distintos tratamientos.

Suelo	Dosis de tratamiento		FAM			FP			P Bray
	Inicial	Anual	Po	Pi	Pt	Po	Pi	Pt	
			---mg kg^{-1}---						
MOLISOL	0	0	206	180	386	10	13	22	15
		36	232	222	454	15	20	35	24
	200	0	232	218	450	12	14	27	23
		36	239	256	494	14	25	39	32
	Inicial	0	219 a	201 a	420 a	12 a	16 a	28 a	20 a
		200	235 a	237 b	472 a	13 a	20 a	33 a	27 b
	Anual	0	219 a	199 a	418 a	11 a	13 a	24 a	19 a
		36	235 b	239 b	474 b	14 b	22 b	37 b	28 b
	Interacción Inicial x Anual		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
VERTISOL	0	0	165	41	206	9	6	16 a	4,0
		36	194	72	264	10	15	25 b	8,6
	200	0	192	82	276	9	14	24 b	7,4
		36	203	183	386	13	30	43 c	9,7
	Inicial	0	178 a	56 a	235 a	10 a	11 a	20 a	6,3 a
		200	198 a	132 a	331 a	11 a	22 b	33 b	8,5 a
	Anual	0	179 a	62 a	241 a	9 a	10 a	20 a	5,7 a
		36	197 a	127 b	325 b	12 a	23 b	34 b	9,2 b
	Interacción Inicial x Anual		ns	ns	ns	ns	ns	*	ns

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (P<0,05).

Tabla 2: Valores de rendimiento de grano, rendimiento relativo (RR), biomasa del cultivo, P en grano, P extraído, P absorbido e índice de cosecha de P (ICP) del cultivo de maíz en Molisol y de soja en Vertisol para los distintos tratamientos.

Cultivo	Dosis de tratamiento Inicial	Anual	Rendimiento	RR	Biomasa	P en grano	P extraído	P absorbido	ICP
			kg ha^{-1}		kg ha^{-1}	mg g^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	
MAÍZ	0	0	11.727	0,95	18.808	4,2	42	48	0,88
		36	11.820	0,96	22.036	4,5	46	56	0,80
	200	0	11.580	0,94	20.398	4,0	40	45	0,88
		36	12.363	1,00	24.368	4,3	45	58	0,80
	Inicial	0	11.773 a	0,96 a	20.422 a	4,4 a	44 a	52 a	0,84 a
		200	11.971 a	0,97 a	22.383 a	4,1 a	43 a	51 a	0,84 a
	Anual	0	11.653 a	0,95 a	19.603 a	4,1 a	41 a	46 a	0,88 a
		36	12.091 a	0,98 a	23.202 b	4,4 a	46 a	57 a	0,80 a
	Interacción Inicial x Anual		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SOJA	0	0	2.454	0,59	6.143	3,4	7	10	0,79
		36	4.234	1,02	8.503	5,0	18	24	0,78
	200	0	3.166	0,76	7.611	4,2	12	17	0,77
		36	4.178	1,00	9.866	5,2	19	28	0,69
	Inicial	0	3.344 a	0,80 a	7.323 a	4,2 a	13 a	18 a	0,78 a
		200	3.672 a	0,88 a	8.738 a	4,7 a	15 b	22 a	0,73 a
	Anual	0	2.810 a	0,67 a	6.877 a	3,8 a	9 a	14 a	0,77 a
		36	4.206 b	1,01 b	9.185 b	5,1 b	19 b	26 b	0,73 a
	Interacción Inicial x Anual		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (P<0,05).

En la Figura 1 se muestra la relación entre el rendimiento del cultivo de soja en el suelo Vertisol y las fracciones de P del suelo que mostraron mejores ajustes (r^2> 0,44), y el P Bray a 0-20 cm como índice de diagnóstico de la fertilidad fosfatada comúnmente utilizado en la región pampeana (Correndo & García, 2014). Se observó una relación positiva entre las distintas fracciones de P evaluadas y el rendimiento del cultivo de soja, de tipo lineal-plateau. Las fracciones P mostraron un mayor r^2 en comparación al P Bray. Estos resultados concuerdan con trabajos anteriores donde se demostró que el Pt-FP se relacionaba con el P acumulado en maíz (Ciampitti *et al.*, 2011), y que el Pt-FAM se relacionaba con el rendimiento del cultivo de soja, mejorando la predicción de la respuesta del cultivo respecto al P Bray (Appelhans *et al.*, 2016). El Po-FP mostró un ajuste mayor que el Pt-FP, con un valor umbral de 10,7 mg Po-FP kg^{-1} de suelo, indicando que podría ser un buen indicador de la disponibilidad de Po del suelo Vertisol.

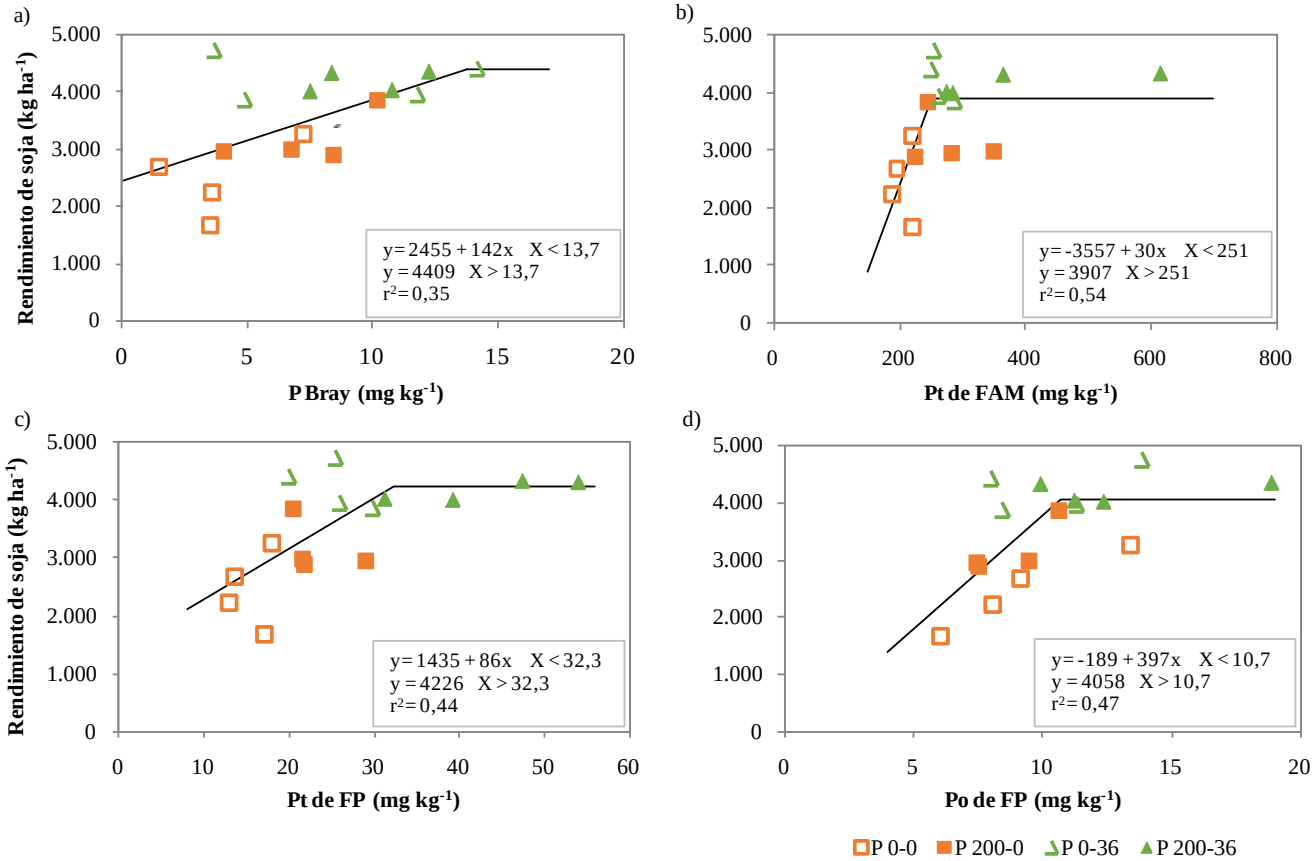


Figura 1: Relación entre el rendimiento de soja y: a) P Bray, b) P total en la fracción asociada a minerales (FAM) (Pt-FAM), c) P total en la fracción particulada (Pt-FP), y d) P orgánico en FP (Po-FP) para los distintos tratamientos a 0-20 cm de profundidad.

CONCLUSIONES

La aplicación inicial de P no modificó las fracciones orgánicas de P del suelo en ninguno de los suelos evaluados.

En el suelo Vertisol, incrementó el P total de la fracción particulada debido al aumento del P inorgánico.

La aplicación anual de P afectó las fracciones orgánicas e inorgánicas de P del suelo Molisol, y solo las fracciones inorgánicas del suelo Vertisol, las cuales explicarían el incremento en el P total.

Respecto a la respuesta por parte de los cultivos, la soja mostró un aumento del rendimiento y del P absorbido en relación a la aplicación anual de fósforo. A su vez, el rendimiento se relacionó positivamente con el Pt-FAM y el Pt y Po-FP. El Po-FP mostró un ajuste mayor en su relación con el rendimiento del cultivo de soja, indicando que podría ser un buen indicador de la disponibilidad de Po en el suelo Vertisol.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por los siguientes proyectos de investigación de INTA: PNSUELO-1134024, PNCYO 1127033, ERIOS-1263101 y ERIOS-1263102.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, G. 1980. Assessing organic phosphorus in soils. En: FE Khasawneh; EC Sample & EJ Kamprath (eds). The Role of Phosphorus in Agriculture. Pp 411-431. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI. 910 pág.
- Appelhans S; R Melchiori; P Barbagelata & L Novelli. 2016. Assessing Organic Phosphorus Contributions for Predicting Soybean Response to Fertilization. Soil Sci. Soc. Am. J. 80: 1688-1697.
- Barbagelata, PA. 2012. Manejo del fósforo en suelos de regiones templadas. Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Argentina.
- Boschetti, NG; CE Quintero; RA Benavidez & L Giuffre. 2003. Cuantificación de las fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo en suelos de la Mesopotamia Argentina. Cienc. suelo. 21: 1-8.
- Boschetti, NG; CE Quintero & RA Benavidez. 1998. Caracterização do fatorcapacidade de fósforo em solos de Entre Ríos, Argentina. Rev. Bras. Ciên. Solo. 22: 95-99.

- Bray, RH y LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Bunemann, EK; DP Heenan; P Marschner & AM McNeill. 2006. Long-term effects of crop rotation, stubble management and tillage on soil phosphorus dynamics. Aust. J. Soil. Res. 44: 611-618.
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate soil organis-matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 777-783
- Ciampitti, IA; FO Garcia; LI Picone & G Rubio. 2011. Soil carbon and phosphorus pools in field crop rotations in Pampean soil of Argentina. Soil Sci. Soc. Am. J. 75: 616-625.
- Correndo, A & F García. 2014. Bases de la nutrición del cultivo de maíz. En Andrade F. *et al.* (eds). Maíz: Técnicas probadas para una producción rentable. Pp 37-44. 1ra edn. AACREA. Buenos Aires. 96 pág.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, and C.W. Robledo. 2011. InfoStat versión 2011. http://www.infostat.com.ar. Noviembre 2017.
- Echeverría E & F García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. EEA INTA Balcarce. Boletín técnico N° 149: 1-16.
- Galantini, JA & L Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. Agriscientia. 1: 41-55.
- García, F & IA Ciampitti. 2011. Enfoques alternativos para el diagnóstico de fertilidad de suelos el enfoque “tradicional”. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. 3: 17-25.
- Irizar, A; A Andriulo; D Consentino & D Amendola. 2010. Comparación de dos métodos de fraccionamiento físico de la materia orgánica del suelo. Cienc. Suelo. 28: 115-121.
- Kuo, S. 1990. Phosphorus. En: DL Sparks (ed.). Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Pp 869-919. SSSA Book Series N° 5. SSSA. Madison, WI.
- Maltais-Landry G & E Frossard. 2015. Similar phosphorus transfer from cover crop residues and water soluble mineral fertilizer to soils and a subsequent crop. Plant. Soil. 393: 193-205.
- McLaughlin MJ; TM McBeath; R Smernik; SP Stacey; B Ajiboye & C Guppy. 2011. The chemical nature of P accumulation in agricultural soils—implications for fertiliser management and design: an Australian perspective. Plant. Soil. 349: 69-87.
- Murphy, J & HP Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. 27: 31-36.
- Picone, L & E Zamuner. 2002. Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. Informaciones agronómicas del Cono Sur. 16: 11-15.
- Picone, L; I Capozzi; E Zamuner; HE Echeverría & H Sainz Rozas. 2007. Transformaciones de fósforo en un molisol bajo sistemas de labranza contrastantes. Cienc. suelo. 25: 99-107.
- Selles, F. 2003. Influencia de la siembra directa en la dinámica del fósforo en el suelo. Actas Simposio “El fósforo en la agricultura argentina.” INPOFOS Cono Sur. Argentina.
- Tasi, H. 2009. Aplicación de cartas de suelo de Entre Ríos, Argentina, para evaluar índices de productividad específicos para los principales cultivos agrícolas. Tesis Doctoral. Universidad de la Coruña. España.
- Tiessen, H. 2003. Ciclado y disponibilidad de fósforo: Manejando procesos y cantidades. Acta Simposio “El fósforo en la Agricultura Argentina”. INPOFOS Cono Sur. Argentina.
- Wyngaard, N; A Vidaurreta; HE Echeverría & LI Picone. 2013. Dynamics of phosphorus and carbon in the soil particulate fraction under different management practices. Soil Sci. Soc. Am. J. 77: 1584-1590.
- Wyngaard, N; ML Cabrera; KA Jarosch & EK Bünemann. 2016. Phosphorus in the coarse soil fraction isrelated to soil organic phosphorus mineralization measured by isotopic dilution. Soil Biol. Biochem. 96: 107-118.
- Zamuner, EC; LI Picone & HE Echeverria. 2008. Organic and inorganic phosphorus in Mollisol soil under different tillage practices. Soil Tillage Res. 99: 131-138.

C3P19. FITASAS PURIFICADAS COMO ALTERNATIVA PARA APROVECHAR EL P ORGÁNICO DEL SUELO

Caffaro, María.M[1,2]; Hernández, Alejandra I[1] y Rubio, Gerardo[1,2].

[1]INBA-CONICET.

[2]Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Avenida San Martín 4453. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. caffaro@agro.uba.ar.

RESUMEN

El fósforo (P), es normalmente el segundo nutriente que limita el crecimiento de las plantas. El pool de P orgánico representa en los suelos de Argentina entre el 30 al 60% del P total. Se han estudiado diferentes estrategias para aprovechar ese pool como alternativa a la fertilización. Una es la utilización de microorganismos solubilizadores de P. En esta investigación en marcha, se está evaluando el empleo de fitasas purificadas. En ensayos previos observamos que los suelos con agregado de fitasas purificadas aumentaban el P disponible en 3 mg kg^{-1}. Se comparó el crecimiento de plantas de trigo, colza, lino y vicia soja en macetas de 3 kilos con una mezcla de suelo extraído de la localidad de Pergamino con arena (relación 1:1). Las plantas crecieron durante 45 días en invernáculo con los siguientes tratamientos: T1, control negativo sin agregado de P inorgánico ni enzima; T2, macetas sin agregado de P inorgánico y con 200 mg de fitasa purificada; T3, macetas con una dosis de P inorgánico equivalente a 20 kg P ha^{-1} sin enzima y T4, macetas con una dosis de P inorgánico equivalente a 20 kg P ha^{-1} con 200 mg de enzima. Finalizado el ensayo, en el ANOVA general no se observaron diferencias significativas en el crecimiento total de las plantas por el agregado de fitasas. Cuando realizamos contrastes para evaluar las diferencias por el agregado de enzimas entre las diferentes especies observamos que en el caso de la colza en el T2 acumulan 13% más de biomasa cuando crece con fitasas purificadas (23 vs. 20 g), siendo estas diferencias significativas. Cuando las plantas crecen con buena nutrición fosforada, el agregado de enzimas tiene en todas las especies un efecto neutro o negativo en el crecimiento, lo cual indicaría que sería una opción solo para suelos pobres en P. En este experimento, las plantas crecieron durante 60 días, deberían realizarse ensayos donde las plantas se lleven a cosecha final para evaluar si el agregado de fitasas purificadas sería una alternativa viable a la fertilización con P inorgánico.

Palabras claves: enzimas, fertilización, crecimiento, cultivos.

C3P20. FERTILIZACIÓN CON BORO EN PAPA PARA INDUSTRIA

Cassino, M. N.[1], Fioriti, P.[1], Giletto, C.M.[1]; Zamuner, E.C.[1] y Barbieri, P.A.[2]
[1] Facultad de Ciencias Agrarias- UNMdP [2] CONICET. Ruta 226 Km 73,5. CP 7620 Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
cassino.marianatalia@inta.gob.ar.

RESUMEN

La intensificación agrícola ocurrida en los últimos años ha provocado la disminución de la materia orgánica (MO) del suelo, por lo que se esperaría una reducción en los niveles de boro (B) disponible pudiendo ser limitante para el crecimiento de la papa. Se planteó como objetivo evaluar el efecto de la fertilización con B sobre la producción de biomasa, el rendimiento y el contenido de materia seca (MS) en los tubérculos. Se realizaron ensayos de fertilización con B en dos lotes de producción de papa para industria variedad Innovator, durante la campaña 2016/2017 en los partidos de General Pueyrredón y Balcarce (Provincia de Buenos Aires). Los tratamientos fueron: un testigo, 150 y 300 g B ha^{-1} aplicados al follaje a los 60 días después de la plantación (ddp). Se determinó efecto significativo de la fertilización con B en la producción de biomasa en el estadio de llenado de tubérculos (100 ddp), alcanzando una mayor producción los tratamientos fertilizados. El rendimiento total y comercial variaron de 61,2 -74,5 Mg ha^{-1}, y 54,9 -70,9 Mg ha^{-1}; respectivamente y el contenido de MS de los tubérculos a la cosecha varió de 15,9-17,2 g 100 g^{-1} y fueron afectados significativamente por la fertilización con B, solo bajo condiciones de crecimiento donde fue menor el contenido de MO del suelo. Estos resultados son prometedores, pero es necesario seguir evaluando la respuesta de la papa a la fertilización con B.

Palabras claves: Biomasa total, Rendimiento, Materia seca.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum spp tuberosum*) ocupa el cuarto lugar en importancia en el mundo después del trigo, maíz y arroz. Se destina principalmente a la alimentación humana como producto fresco (Bouzo, 2009). El tubérculo de papa es una importante fuente de carbohidratos (almidón), proteínas de alta calidad, vitamina C y minerales (Huarte & Capezio, 2013). En el Sudeste Bonaerense (SEB) se concentra aproximadamente el 45 % de la producción de papa de la república Argentina con destino para industria, siendo Innovator la variedad de mayor difusión (Caldiz, 2007; Napolitano *et al*., 2011). En cultivos de papa de alta producción, bajo condiciones no limitantes de macronutrientes, pueden presentarse deficiencias de micronutrientes. En la llanura pampeana y para los cultivos extensivos, existen antecedentes que indican que uno de los micronutrientes con mayor potencial de deficiencia es el boro (B). En los últimos años, en el norte y oeste de la región pampeana se han reportado respuestas significativas a la fertilización con B en sistemas de alta productividad de maíz y girasol (Torri *et al*., 2010).

El B llega a las raíces fundamentalmente por flujo masal y es absorbido como ácido bórico (H_3BO_3). Los principales factores asociados con la aparición de deficiencias de B en las plantas son la actividad agrícola intensiva, la utilización de suelos con bajos contenidos de materia orgánica (MO), de textura gruesa y con elevado pH, el estrés hídrico y el uso de fertilizantes pobres en micronutrientes (Welch *et al*., 1991). En el cultivo de papa, las deficiencias de B afectan tanto la producción como la calidad de los tubérculos (Lora Silva *et al*., 2008). El requerimiento de B para la papa es de 3,57 g B Mg^{-1} de tubérculo fresco (Westermann, 2005). En el SEB los niveles de B disponibles en el suelo se encuentran en un rango de 1 a 1,9 mg kg^{-1}, asociado al contenido de MO (Sainz Rozas *et al*,. 2012). La intensificación agrícola ocurrida en los últimos años ha provocado una disminución del 37 % en la MO, por lo que se esperaría una reducción en los niveles de B disponible pudiendo ser limitante para el crecimiento de los cultivos en los próximos años. Por lo que en condiciones de crecimiento en las que el B se torna limitante se esperaría un efecto negativo en la producción y rendimiento del cultivo de papa. En relación a lo planteado anteriormente y debido a que es escasa la información referida el efecto de la fertilización con B en el cultivo de papa, se planteó como objetivo evaluar el efecto de la fertilización foliar con B sobre la producción de biomasa en la etapa de llenado de tubérculos, el rendimiento total, comercial y el contenido de materia seca (MS) de los tubérculos a la cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron ensayos de fertilización con B en dos lotes de producción de papa para industria variedad Innovator (110-120 días de ciclo), durante la campaña 2016/2017 en los partidos de General Pueyrredón (Sitio 1) y Balcarce (Sitio 2), provincia de Buenos Aires. En la Tabla 1 se resumen algunas características edáficas al momento de la plantación y

manejo del cultivo durante el ciclo. El contenido de MO se determinó por el método Walkley & Black (1934), el pH, con un electrodo de vidrio en una suspensión con una relación de 1:2,5 suelo/agua, el contenido de P se determinó por el método de Bray & Kurtz 1 (1945), el contenido de nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) se determinó por el método de Keeney & Nelson (1982) y la determinación de B disponible en suelo se realizó mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (Watson, 1998). Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Cada unidad experimental tuvo una superficie de 34 m^2 (8 surcos de 5 m de largo y 0,85 m de distancia entre surcos). Los tratamientos fueron un testigo sin fertilizar, 150 y 300 g B ha^{-1} aplicados al follaje a los 60 días después de la plantación (ddp). En todos los ensayos, se recurrió a la fertilización con N y P para asegurar que estos nutrientes no limitaran el crecimiento del cultivo. En el sitio 1 se adicionaron 107 kg ha^{-1} de P y 114 kg ha^{-1} de N. En el sitio 2, se aplicaron 120 kg ha^{-1} de P y 127 kg ha^{-1} de N. En la etapa de llenado de tubérculos (100 ddp), se realizó un muestreo de planta entera que se separó en parte aérea y tubérculos. Se determinó el contenido de biomasa aérea (Ba), biomasa de tubérculos (Btub), biomasa total (Bt) e índice de cosecha (IC). El IC se determinó como la relación entre la Btub y la Bt. A la madurez del cultivo (120 ddp) se cosechó en forma manual dos metros de los dos surcos centrales de cada unidad experimental de todos los ensayos. Se estimó el rendimiento total y comercial (tubérculos mayores a 50 mm), y se determinó el porcentaje de MS de los tubérculos por gravimetría. Los resultados obtenidos fueron analizados con el programa Statical Analisis Systems (SAS) (SAS Institute, 2001). La comparación entre las medias de los tratamientos se efectuó mediante la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher (DMS) con un nivel de significancia del 5 % cuando el análisis de la varianza fue significativo. Se relacionó el rendimiento total con la dosis de B y con el rendimiento comercial y se ajustaron la función cuadrática y lineal; respectivamente.

Tabla 1. Características iniciales del suelo y manejo del cultivo durante el ciclo.

	pH (0-20 cm)*	P-Bray 1 (mg kg^{-1}) (0-20 cm)*	Materia Orgánica (g kg^{-1}) (0-20 cm)*	$N\text{-}NO_3^-$ (kg ha^{-1}) (0-40 cm)*	B disponible (mg kg^{-1})*	Fecha Plantación	Fecha Cosecha
Sitio 1	5,4	32,2	6,3	66,0	1,7	09/10/16	07/03/17
Sitio 2	6,2	18,2	4,3	24,8	1,6	27/10/16	02/03/17

*Profundidad de muestreo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la etapa de llenado de tubérculos (100 ddp), la producción de Bt varió de 19,9-29,3 Mg ha^{-1} en ambos sitios y fue afectada significativamente por la fertilización con B sólo en el Sitio 2, logrando la mayor producción en los tratamientos fertilizados, asociado principalmente al incremento en la producción de Btub (Tabla 2).

Tabla 2. Producción de Biomasa aérea (Ba), Biomasa de tubérculos (Btub), Biomasa total (Bt) e índice de cosecha (IC) en la etapa de llenado de tubérculos (100 días después de plantación).

Sitio		Ba (Mg ha^{-1})	Btub (Mg ha^{-1})	Bt (Mg ha^{-1})	IC
1	0	4,6 b	15,2	19,9	0,76
	150	6,5 ab	16,3	22,7	0,72
	300	8,1 a	15,4	23,5	0,65
	Valor p	*	ns	ns	ns
	R^2	0,87	0,11	0,64	0,61
	CV	13,30	15,95	8,51	7,63
	DMS	1,93	5,64	4,24	0,12
2	0	4,9	17,6 b	22,5 c	0,78
	150	5,7	21,4 a	27,2 b	0,78
	300	7,1	22,2 a	29,3 a	0,75
	Valor p	ns	*	*	ns
	R^2	0,73	0,95	0,94	0,50
	CV	14,02	3,67	3,02	2,78
	DMS	1,89	1,69	1,80	0,05

ns: no significativo *: significativo al 0,05. En cada sitio letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos.

El IC varió de 0,65-0,78 y tendió a disminuir con la dosis de B, sin embargo no se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos. El rango de producción de biomasa total e IC fueron similares a los determinados para esta variedad en el SEB (Giletto *et al*., 2007; Giletto & Echeverría, 2013; Zamuner *et al*. 2016).

El rendimiento total y comercial variaron de 61,2-74,5 Mg ha^{-1} y 54,9-70,9 Mg ha^{-1}; respectivamente. El porcentaje de MS varió de 15,9-17,2 g 100g^{-1}. De manera similar a lo establecido con la producción de Bt, se determinaron diferencias significativas por efecto de la fertilización con B solo en el Sitio 2; probablemente debido al menor contenido de MO en el suelo (Tabla 1) que pudo haber afectado el aporte de B desde esta fracción durante el ciclo. En un trabajo realizado por Sainz Rozas *et al.* (2013), para los suelos agrícolas de la región pampeana, la disponibilidad de B se correlacionó significativamente con el contenido de MO del suelo (r= 0,47), lo que indica la importancia del pool orgánico como fuente de B para los cultivos. Los resultados coincidieron con lo determinado por Perez *et al*. (2008), quienes obtuvieron respuestas significativas en el rendimiento comercial de tubérculos de papa, en respuesta a la fertilización con B, para la variedad *Solanum phureja* (papa criolla). Asimismo, se reportaron respuestas en rendimiento asociadas a la fertilización con B en soja (Fontanetto *et al*., 2010; Salvagiotti, 2013), girasol (Balboa *et al.*, 2010) y maíz (Melgar *et al*., 2001; Ventimiglia & Torrens Baudrix, 2015).

Tabla 3. Rendimiento total, comercial y contenido de materia seca del cultivo.

Sitio		Rendimiento total (Mg ha^{-1})	Rendimiento commercial (Mg ha^{-1})	MS (g 100g^{-1})
1	0	66,1	56,9	17,2
	150	74,5	70,9	17,1
	300	69,4	63,7	16,8
	Valor p	ns	ns	ns
	R^2	0,80	0,84	0,16
	CV	4,87	7,08	4,89
	DMS	7,89	7,87	1,89
2	0	61,2 b	54,9 b	15,9 b
	150	74,4 a	66,1 a	16,7 a
	300	73,6 a	62,5 a	16,6 a
	Valor p	*	*	*
	R^2	0,91	0,91	0,86
	CV	5,78	4,57	1,99
	DMS	9,13	6,33	0,74

ns: no significativo *: significativo al 0,05 %. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.

Si se analizan los resultados de ambos sitios en conjunto, el rendimiento total se asoció con la dosis de B (Figura 1a). Estos resultados coincidieron con los obtenidos para el cultivo de papa por Perez *et al*. (2008), quienes determinaron una asociación positiva entre el rendimiento comercial y la dosis de boro. Asimismo, para el cultivo de soja, Salvagiotti (2013) y Aguayo Trinidad *et al*. (2015) reportaron una respuesta lineal y positiva al asociar ambas variables. Al relacionar el rendimiento comercial con el rendimiento total (Figura 1 b), se determinó que el 90 % del rendimiento total, correspondió a tubérculos de tamaño comercial.

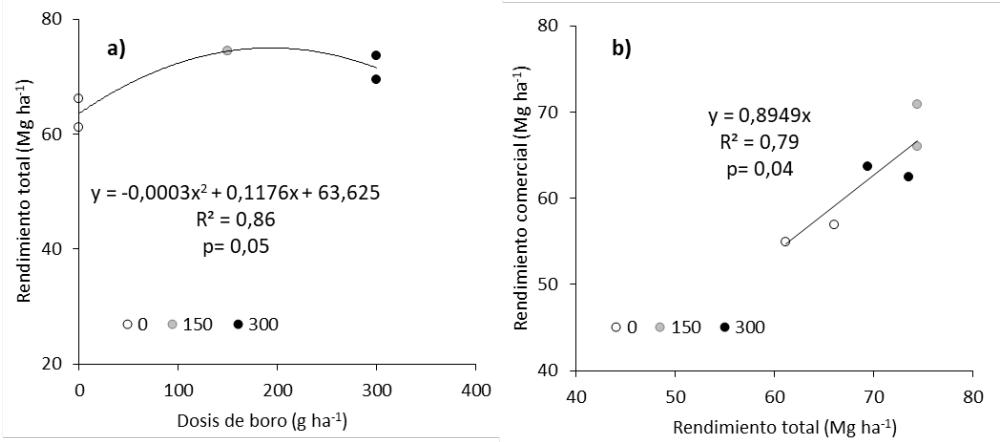


Figura 1: Rendimiento Total (Mg ha^{-1}) en función a las dosis de B (g ha^{-1}) (a) y Rendimiento comercial (Mg ha^{-1}) en función al rendimiento total (b), cada valor corresponde al promedio para cada tratamiento de B para ambos sitios.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten inferir que la fertilización con B aumentó la producción de biomasa, el rendimiento y el porcentaje de MS en papa bajo condiciones de crecimiento en que los suelos tuvieron menor contenido de MO. Estos resultados son prometedores, pero es necesario seguir evaluando la respuesta de la papa a la fertilización con B.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo Trinidad, S; JW Rasché Alvarez; CS Britos Recalde; JC Karajallo Figueredo & AL González. 2015. Fertilización foliar con Boro en el cultivo de soja. Investig. Agrar. 17(2): 129-137.
- Balboa, G R; GP Espósito; C Castillo & R Balboa. 2010. Estrategias de Fertilización con Boro en Girasol. Trabajo publicado en el XXII Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo, Rosario 2010. Santa Fe. Argentina.
- Bouzo, CA. 2009. El Cultivo de la Papa en Argentina. http://www.ecofisiohort.com.ar/wp-content/uploads/2009/04/cultivo-de-papa-en-argentina.pdf (consulta: 15 de septiembre de 2017)
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. Soil Science. 59: 360-361.
- Caldiz, DO. 2007. Producción, Cosecha y Almacenamiento de Papa en la Argentina. Mc Cain Argentina S.A, Balcarce-Basf Argentina S.A. Capital Federal Argentina. 226 p.
- Fontanetto, H; O Keller & J Albrecht. 2010. Efecto de la fertilización foliar con Boro y Nitrógeno sobre el cultivo de soja. Informaciones Agronómicas # 47.
- Giletto, CM; J E Rattin; HE Echeverría & DO Caldiz. 2007. Eficiencia de uso del nitrógeno en variedades de papa para industria cultivadas en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Ciencia del Suelo. 25: 43-51.
- Giletto, CM & HE Echeverría. 2013. Nitrogen balance for potato crops in the southeast pampas region, Argentina. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 95:73-86.
- Huarte, M & S Capezio. 2013. Cultivo de papa. https://www.researchgate.net/publication/256195293Cultivodepapa(consulta: 20/10/2017)
- Keeney, DR. & DW Nelson 1982. Nitrogen-availability indexes. En: Page A.L. *et al*. (eds) Methods of Soil Analysis, Part 2. 2nd ed, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 711-733.
- Lora Silva, RA; P Lopez Alayon; R Gomez & H Bemol. 2008. Efecto de dosis de Fe. Cu. Mn. Zn. B y Mo en el contenido de azúcares reductores y totales y en la calidad de fritado en papa criolla (*Solanum phureja*). UDCA 11: 163-174.
- Melgar, RJ; L Lavandera; M Torres Duggan & L Ventimiglia. 2001. Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. Ciencia del Suelo. 19(2) 109:114.
- Napolitano, G; S Senesi; E Dulce; M Inchausti & R Tagliacozzo. 2011. Estudio de calidad y competitividad del agronegocio de la papa. www.alimentosargentinos.gov.ar (consulta: 15 de septiembre de 2017).
- Perez, L; LE Rodriguez & MI Gomez. 2008. Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de miconutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad criolla Colombia. Agronomía Colombiana. 26 (3), 477-486.
- Sainz Rozas, H; H Echeverría; M Eyherabide; M Barraco; G Ferraris & H Angelini. 2012. Niveles de Boro disponible en suelos de la región pampeana argentina. Actas del Simposio Fertilidad. Mar del Plata, 16 a 20 de abril de 2012.
- Sainz Rozas, H; M Eyherabide; H Echeverría; P Barbieri; H Angelini; GE Larrea; GN Ferraris & M Barraco. 2013. ¿Cuál es el estado de fertilidad de los suelos argentinos? International Plant Nutrition Institute. Actas del Simposio de Fertilidad.
- Salvagiotti, F. 2013. Respuesta a la fertilización con Boro en soja en el sur de Santa Fe. https://www.inta.gob.ar/documentos/respuesa a-la-fertilización con Boro en soja (consulta: 5 de noviembre de 2017).
- Sas Institute. 2001. The SAS System for Windows. Release version 6.12. SAS Inst., Cary, NC.
- Torri, S; S Urricarriet; GN Ferraris & RS Lavado. 2010. Micronutrientes en agroecosistemas. Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana. Facultad de Agronomía. Buenos Aires. pp. 395-423.
- Ventimiglia, L & L Torrens Baudrix. 2015. Efectos del zinc, boro y otros nutrientes en el rendimiento del maíz. https://inta.gob.ar/documentos/efecto-del-zinc-boro-y-otros-nutrientes-en-el-rendimiento-del-maiz (consulta: 25 de noviembre de 2017).
- Walkley, A & Y Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-37.

- Watson, M. E. 1998. Chapter 10. Boron. En: Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region. North Central Regional Research Publication N° 221. Revised October 2012.
- Welch, RM; WH Allaway; WA House & J Kubota.1991. Geographic distribution of trace element problems. In: Micronutrients in agriculture, J. J. Mortvedt (Ed.). 2nd ed, Madison, WI, U.S.A.pp. 31-57.
- Westermann, DT. 2005. Nutritional Requirements of Potatoes. American Journal of Potato Research. 82: 301-307.
- Zamuner, EC; J Lloveras & HE Echeverría. 2016. Use of a critical phosphorus dilution curve to improve potato crop nutritional management. American Journal Potato Research. 93: 392-403.

C3P21. EFECTO DEL TIPO DE SUELO Y COMPOST EN LA DISPONIBILIDAD Y RIESGO DE PÉRDIDA DE P

Castán, Elisa; Gonzalez-Polo, Marina; Satti, Patricia y Mazzarino, Maria Julia.

Grupo de Suelos. INIBIOMA, CONICET-Universidad Nacional del Comahue. Calle Quintral nº 1250. Río Negro Argentina. elisa.castan@crub.uncoma.edu.ar

RESUMEN

La utilización de compost contribuye a aumentar la materia orgánica y los nutrientes del suelo. Las dosis de aplicación se suelen calcular en función de las necesidades de N de las plantas, lo que provoca gran acumulación de P cuando se utilizan compost de estiércoles y biosólidos. Esta acumulación aumenta el riesgo de pérdida, especialmente en suelos arenosos. El objetivo fue evaluar la disponibilidad y riesgo de pérdida de P en experimentos de campo utilizando compost de diferente origen, solos o en mezclas, en dos suelos arenosos con climas contrastantes. Los sitios fueron: "Pilcaniyeu" (Patagonia Norte, seco y frío) y "Santa Ana" (NO de Corrientes, cálido y húmedo) y se utilizaron (i) cuatro tipos de compost: de biosólidos (CB), de residuos orgánicos urbanos (CROU), de residuos de feedlot (CF), de estiércol de gallina (CG) y (ii) dos mezclas al 50%: CF+CROU (CF-CROU) y CG+CROU (CG-CROU). La disponibilidad y riesgo de pérdida de P estuvieron más controlados por el tipo de suelo y la composición química de las enmiendas que por el clima. En ambos sitios las enmiendas aumentaron el P disponible y el uso de mezclas contribuyó a disminuirlo. En Santa Ana, donde se esperaba alto riesgo de lixiviación, no se observó aumento de P en profundidad y los valores se mantuvieron altos en superficie debido a procesos de sobresaturación y redisolución. En Pilcaniyeu, a pesar de que el suelo tiene alta capacidad de retener P, el P disponible se mantuvo alto en superficie evidenciando baja retención, ya que los procesos bioquímicos se ven ralentizados porque las escasas lluvias coinciden con el periodo de bajas temperaturas. Este comportamiento diferencial según el suelo también se observó en incubaciones en condiciones ideales donde Santa Ana tendió a liberar P y Pilcaniyeu a retenerlo.

Palabras claves: Suelos arenosos, climas contrastantes, retención de P

INTRODUCCIÓN

El uso de compost para la recuperación de suelos degradados contribuye a aumentar el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) y nutrientes fácilmente disponibles, y el efecto más directo en la vegetación suele estar directamente relacionado con el aporte de N y P. A diferencia del N, el P proviene tanto de la MOS como de la fracción mineral del suelo, y tiende a inmovilizarse, especialmente en suelos calcáreos, ácidos y volcánicos; como consecuencia de esta baja movilidad, la lixiviación de P suele ser baja y las mayores pérdidas se producen por erosión en forma particulada (Pierzynski, 1994; Sharpley *et al.*, 1994; Fisher & Binkley, 2000). La excepción a este fenómeno son los suelos arenosos con muy bajo contenido en arcillas, que presentan capacidad mínima de retención y alto riesgo de pérdida de P por lixiviación (Attiwill & Leeper, 1987). La aplicación de compost contribuye a aumentar la disponibilidad de P para las plantas al suministrar P orgánico e inorgánico, bloquear sitios de retención de P y estimular actividades enzimáticas (Stewart & Sharpley, 1987; Satti, 2007; Gonzalez-Polo *et al.*, 2015). En particular, los compost de origen animal, como los de estiércoles y biosólidos, son los que tienen mayores contenidos de P total y disponible, principalmente en formas inorgánicas; por el contrario, los compost de la fracción orgánica de los residuos domiciliarios (CROU) son más pobres en P (pero son particularmente ricos de Ca).

Tradicionalmente se ha aconsejado que **las dosis de aplicación** de los compost se calculen en función de las necesidades de N de las plantas, y el contenido de N inorgánico y capacidad de mineralización de N de la enmienda para minimizar el riesgo de contaminación de aguas por lixiviación de nitratos (Pierzinsky, 1994; USEPA, 1995; Cooperband, 2000). Dado que la relación N/P de los residuos, especialmente estiércoles y biosólidos, es generalmente mucho menor (~ 3/1) que la relación de absorción de los cultivos (6-10/1), la aplicación de dosis en función del N ha conducido a la acumulación de P en el suelo superficial, aumentando el riesgo de eutrofización de aguas por erosión, escorrentía e incluso lixiviación (Clapp *et al.*, 1994; Robinson & Sharpley, 1995; Sharpley, 2010). En base a la relación entre P-Olsen en suelos y el P soluble en el líquido de lixiviación, Hesketh & Brookes (2000) encontraron que por encima de 57 mg kg^{-1} de P-Olsen aumenta la posibilidad de pérdidas. En base a estos valores, varios organismos internacionales están aconsejando que se apliquen enmiendas orgánicas en base a N, solo cuando la concentración de P-Olsen en el suelo no supera 50 mg kg^{-1} (NBP, 2005).

Si bien la aplicación de dosis más bajas de compost ricos en P minimizaría el riesgo de pérdidas, también disminuye el valor enmienda de los compost, ya que reduce la cantidad de materia orgánica agregada. Una alternativa para reducir la concentración de P y mantener el valor enmienda, es mezclar compost ricos en P, como los provenientes de estiércoles y biosólidos, con compost pobres en P, como los CROU, que además tienen alto contenido de Ca (Kowaljow & Mazzarino, 2007; Satti *et al.*, 2012) y, por lo tanto, contribuirían a diluir el exceso de P, e incluso a precipitar fosfatos de Ca, manteniendo al mismo tiempo niveles adecuados de materia orgánica.

Además del tipo de compost y la dosis de aplicación, **las condiciones ambientales** (clima y suelo) también influyen en la dinámica y el riesgo de pérdida de P. Así, en climas cálidos y húmedos la velocidad de las reacciones y el riesgo de pérdida serán mucho mayores que en climas fríos y secos. Respecto al tipo de suelo, los fosfatos solubles pueden ser sorbidos a la superficie de los óxidos amorfos de Fe y Al, a las arcillas y al carbonato de Ca (García et al., 2015); sin embargo, el agregado de enmiendas orgánicas puede reducir la sorción de P a la superficie de estos minerales, ya que los compuestos orgánicos pueden ocupar esos sitios y bloquearlos para el P. Una manera de estudiar los procesos relacionados a la dinámica del P en el suelo es mediante ensayos de incubación bajo condiciones controladas, que permiten estimar de manera general el predominio de procesos de liberación o de retención de P en el tiempo (Mazzarino *et al*., 1998; Laos *et al.*, 2000) y mediante isotermas de retención de P que permiten conocer la capacidad de un suelo para retener P a medida que la concentración de P aumenta.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la disponibilidad y riesgo de pérdida de P en experimentos de campo con aplicación de compost de diferente origen, solos o en mezclas, en dos suelos arenosos con climas contrastantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en dos sitios con climas contrastantes: en un Entisol de textura arenoso franca denominado “Santa Ana” en el NO de Corrientes (Chaco Húmedo, clima cálido y húmedo), y en un Entisol de textura franco arenosa denominado “Pilcaniyeu” en el NO de Patagonia (Estepa Patagónica, clima frío y seco). Se utilizaron cuatro compost y dos mezclas de compost (en peso): residuos orgánicos urbanos (CROU), biosólidos + viruta y chip de poda (CB), estiércol de gallina + aserrín + cascarilla de arroz (CG), estiércol vacuno de *feedlot* + aserrín y viruta de algarrobo (CF), 50% CROU + 50% CG (CG+CROU), 50% CROU + 50% CF (CF+CROU). Todos los compost y mezclas se aplicaron a dosis equivalentes a 40 t ha^{-1} en una única aplicación. Además se usaron controles sin fertilizar (C) y fertilizados (Fi) con N y P. El tamaño de las parcelas fue de 6 m^2 con una zona buffer de 2 m entre parcelas y el diseño experimental fue en bloques completos al azar con tres repeticiones.

Se realizaron tres tipos de análisis: i) a los 5, 8, 17, 20 y 26 meses de instalado el experimento en Santa Ana y a los 8 y 20 meses en Pilcaniyeu, se tomaron muestras en superficie y profundidad (0-10 y 55-65 cm respectivamente) para estimar disponibilidad y riesgo de pérdida de P, ii) a los 8 y 20 meses de instalado el experimento en muestras de suelo superficial (0-10 cm) de cada parcela se determinó la capacidad residual de liberación/retención de P (calculado como: P liberado/retenido = ((P t16 - P t0) / P t0) x 100) en incubaciones de 16 semanas en condiciones controladas de humedad y temperatura (25ºC y capacidad de campo). Para estos dos tipos de análisis, el P se extrajo en bicarbonato de sodio relación 1:20 (P-Olsen) y se determinó por el método del ácido ascórbico-molibdato (Sparks *et al.*, 1996). Por último, iii) con las muestras tomadas a los 20 meses se construyeron isotermas de retención de P utilizando concentraciones crecientes de P (Sharpley, 1995) en algunos tratamientos representativos.

Para evaluar el efecto de los tratamientos, se realizó un análisis de la varianza en un diseño en bloques completamente al azar (DBCA). Las medias se compararon utilizando el test de diferencias mínimas significativas (LSD). Todos los análisis fueron realizados con el programa Statistica 7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los compost utilizados presentaron adecuadas condiciones de estabilidad y madurez (Tabla 1) de acuerdo a algunos indicadores comúnmente recomendados (Leconte *et al*., 2009): C soluble en agua < 10 g kg^{-1}, N-NH_4^+ < 400 mg kg^{-1}, C soluble en agua/N total < 0,7 e índice de germinación (IG)> 50%. Respecto a las características químicas, CROU presentó los valores más bajos de sales solubles, C orgánico, N y P total, y los más altos de Ca y pH. Los valores más altos de N y P total y extraíble correspondieron a CB y CG respectivamente, y los más altos de C orgánico a CB.

Las características de los suelos utilizados se presentan en la Tabla 2. A pesar de que ambos son arenosos, el suelo de Santa Ana presentó los valores más bajos de todas las variables medidas.

Tabla 1. Características químicas de los compost

	CB	CROU	CF	CG
pH	5,0	7,4	6,9	6,1
CE (dS m^{-1})	2,0	0,4	1,4	2,7
C orgánico (g kg^{-1})	280	100	160	190
N total (g kg^{-1})	17,0	6,1	7,7	17,1
C soluble (g kg^{-1})	1,6	0,1	1,9	2,6
P total (g kg^{-1})	6,8	3,4	4,0	8,5
P extractable (g kg^{-1})	1,1	0,1	1,0	2,9
N-NH_4^+ (mg kg^{-1})	31	3	12	150
N-NO_3^- (mg kg^{-1})	1928	217	519	1514
Ca (g kg^{-1})	11	42	11	18
Mg (g kg^{-1})	5,0	5,1	4,7	3,7
K (g kg^{-1})	3,1	1,1	4,9	4,5
$CaCO_3$ (%)	--	7,6	--	--
IG (%)	66	97	86	79

CB: compost de biosólido; CROU: compost de residuos orgánicos urbanos; CF: compost de feedlot; CG: compost de estiércol de gallina.

Tabla 2. Características químicas de los suelos

	Pilcaniyeu	Santa Ana
pH	8,0	6,3
CE (dS m^{-1})	0,16	0,02
C total (%)	1,11	0,22
N total (%)	0,09	0,02
C/N	13,0	11,0
N-inorgánico (mg kg^{-1})	11,2	6,1
P-Olsen (mg kg^{-1})	9,3	0,9
Ca (cmol kg^{-1})	18,4	0,53
K (cmol kg^{-1})	1,4	0,13
Mg (cmol kg^{-1})	3,0	0,16
$CaCO_3$ (%)	1,1	--
Fe_{ox} (%)[a]	0,26	0,03
Al_{ox} (%)	0,13	0,01
Textura (arena/limo/arcilla)	75/15/10	88/3/9

[a] Feox y Alox: Fe y Al extraídos en oxalato de amonio respectivamente

En Santa Ana, el P disponible (P Olsen) presentó un valor máximo de 43 mg kg^{-1} en superficie (Fig. 1A). Los valores medios del control para las cinco fechas medidas variaron entre 0,6-1,1 mg kg^{-1} en superficie. El P disponible en superficie fue significativamente mayor que el control y Fi en todos los tratamientos enmendados (excepto CROU en una fecha) y los valores más altos correspondieron a CG (Fig. 1A) y se mantuvieron altos hasta los 17 meses a pesar que el clima mantiene condiciones que favorecen los procesos químicos y biológicos. En las dos últimas fechas todos los valores disminuyeron marcadamente. En 3 de las fechas analizadas los valores fueron significativamente más bajos para las mezclas CG-CROU y CF-CROU que para CG y CF solos (Fig. 1A). Las concentraciones de P-Olsen disminuyeron marcadamente en profundidad (55-65 cm), siendo menores que 1,0 mg kg^{-1} en la mayoría de las fechas y tratamientos (Fig. 1B).

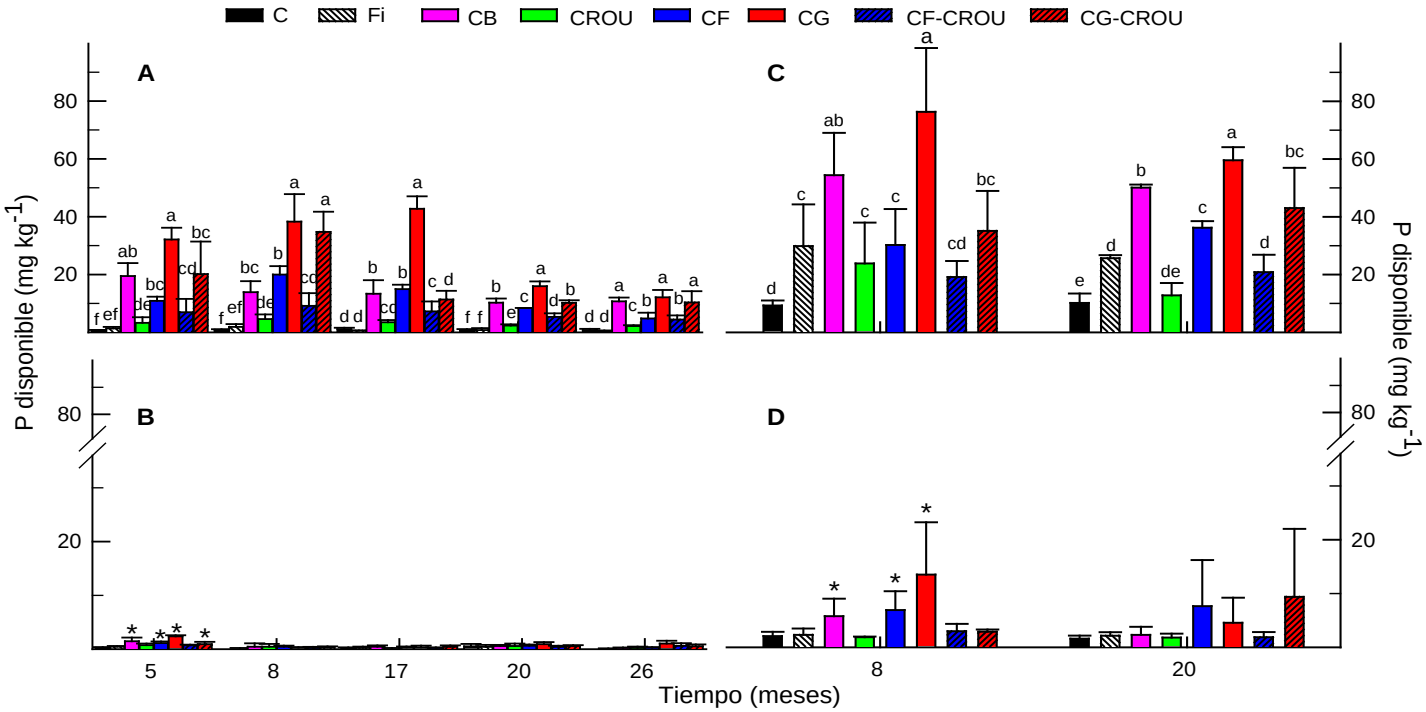


Figura 1: Concentración de P disponible (mg kg^{-1}) en muestras superficiales (0-10 cm) de Santa Ana y Pilcaniyeu (A y C respectivamente) y en profundidad (55-65 cm) (B y D respectivamente) en función del momento de muestreo. Los valores son medias + desvío estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada fecha y sitio ($p < 0,05$; n=3). Los asteriscos indican diferencias significativas respecto al control.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de los ensayos de incubación (en condiciones óptimas de humedad y temperatura) de las muestras de suelo tomadas a los 8 y 20 meses. El P solo mostró tendencia a ser retenido a los 8 meses

y en los tratamientos CG, CG-CROU y CF-CROU; en los demás tratamientos a los 8 meses, y a los 20 meses con todas las enmiendas, la tendencia fue a la liberación de P. Esta tendencia a la retención de aproximadamente 20 % del P-Olsen inicial con CG, CG-CROU, CF-CROU después de 8 meses, posiblemente se debió a que se precipitaron formas menos solubles de P (por sobresaturación en la solución del suelo). Después de 20 meses en Santa Ana se alcanzó un nuevo equilibrio y en todos los tratamientos se observó capacidad residual de liberar P, aunque con una tendencia a valores absolutos más bajos (Tabla 3). Según Pagliari & Laboski (2013), la disminución de la concentración de P en la solución del suelo (debido a la absorción por las plantas y/o precipitación de formas menos solubles de P) conduciría a mantener una disolución constante del P disponible de los estiércoles hasta que todos los fosfatos amorfos de Ca y Mg que predominan en los estiércoles y mantienen niveles altos de P disponible se hayan disuelto. De esta manera, el P disponible en el campo tendió a decrecer en Santa Ana en superficie después de 20 y 26 meses, pero los valores no aumentaron en profundidad, lo que sugiere un agotamiento de las formas más solubles de P (y posiblemente también una disolución lenta de formas menos disponibles).

En Pilcaniyeu, los valores de P disponible fueron más altos que Santa Ana, tanto en superficie, 76 mg kg^{-1}, como en profundidad, 13,5 mg kg^{-1} (Figs. 1C y D). Los valores de P-Olsen en superficie a los 8 meses fueron significativamente más altos que el control con todas las enmiendas (excepto CF-CROU) y a diferencia de Santa Ana, se mantuvieron elevados a los 20 meses y también significativamente mayores que el control en todos los tratamientos (excepto CROU) (Fig. 1C). El agregado de CROU en las mezclas disminuyó significativamente la disponibilidad de P de CF en una fecha y de CG en las dos fechas analizadas. Si bien los valores en profundidad fueron más bajos que en superficie, presentaron diferencias significativas entre tratamientos respecto al control a los 8 meses, con los valores mayores para CB, CF y CG (Fig. 1D). Debe destacarse que a los 8 meses se observó un valor alto de P-Olsen en profundidad con CG, lo que podría deberse a flujo preferencial o a contaminación con muestra superficial por desmoronamiento durante el muestreo. En la Tabla 3 se presentan los resultados de los ensayos de incubación, que a diferencia de Santa Ana, en Pilcaniyeu se observó retención de P en ambas fechas (con excepción de CF-CROU a 8 meses).

Tabla 3. Concentración de P disponible (mg kg^{-1} de P-Olsen) y capacidad de retención/liberación de P (%) en incubaciones de laboratorio a los 8 y 20 meses de la instalación del experimento. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (p <0,05; n=3). Desvío estándar entre paréntesis.

	C		FI		CB		CROU		CF		CG		CF-CROU		CG-CROU	
							Santa Ana									
P t0	0,9	f	1,9	ef	13,9	bc	4,6	de	20,0	b	38,3	a	9,2	cd	34,8	a
(20 meses)	(0,2)		(1,0)		(3,8)		(1,6)		(2,9)		(9,5)		(4,4)		(7,0)	
P t16	1,2	e	2,4	e	16,5	c	5,3	de	19,2	bc	31,6	a	7,7	cd	27,3	ab
(20 meses)	(0,4)		(1,1)		(5,2)		(2,0)		(2,6)		(8,2)		(3,8)		(3,3)	
% P retenido	-		-		**19**		**16**		**4**		**-18**		**-16**		**-21**	
P t0	0,6	f	0,8	f	10,2	b	2,4	e	8,4	c	16,0	a	5,4	d	10,2	b
(20 meses)	(0,5)		(0,6)		(1,5)		(0,4)		(0,1)		(1,7)		(1,2)		(0,9)	
P t16	1,3	e	1,3	e	15,5	b	4,3	d	13,7	bc	23,2	a	9,9	c	13,8	bc
(20 meses)	(0,6)		(0,5)		(3,9)		(0,5)		(1,5)		(2,1)		(4,1)		(1,2)	
% P retenido	-		-		**52**		**79**		**63**		**45**		**83**		**35**	
							Pilcaniyeu									
P t0	9,3	d	29,9	c	54,4	ab	23,8	c	30,3	c	76,3	a	19,2	cd	35,1	bc
(8 meses)	(1,7)		(14,4)		(14,7)		(14,2)		(12,4)		(22,1)		(5,6)		(13,8)	
P t16	9,7	d	23,2	cd	47,6	ab	19,1	de	28,2	c	62,2	a	21,8	cd	32,4	bc
(8 meses)	(1,7)		(9,6)		(9,5)		(5,5)		(11,0)		(17,7)		(9,7)		(13,5)	
% P retenido	**4**		**-20**		**-11**		**-9**		**-6**		**-18**		**11**		**-8**	
P t0	10,2	e	25,7	d	50,1	b	12,8	de	36,2	c	59,6	a	20,9	d	43,0	bc
(20 meses)	(3,2)		(1,0)		(1,1)		(4,3)		(2,3)		(4,5)		(6,0)		(23,9)	
P t16	8,4	e	19,5	bcd	42,0	a	11,1	de	30,3	a	41,5	a	19,4	cd	35,7	a
(20 meses)	(1,7)		(1,2)		(2,8)		(1,5)		(2,0)		(6,8)		(8,2)		(18,0)	
% P retenido	**-18**		**-24**		**-16**		**-13**		**-16**		**-30**		**-7**		**-17**	

P t0= P al inicio de incubaciones de 16 semanas; P t16 = P al final de las incubaciones. P liberado/retenido = ((P t16 - P t0) / P t0) x 100

A pesar de su clima frío y seco, en este sitio, era esperable que se observara capacidad de retención de P dadas las propiedades específicas del suelo: mayor pH, óxidos de Fe y Al y carbonatos (García *et al.*, 2015). Sin embargo, a los 20 meses los valores de P disponible en el campo en superficie, se mantuvieron altos, y significativamente mayores que el

control con todas las enmiendas (excepto CROU). Esta situación podría deberse a una baja disolución de carbonatos por falta de agua en el suelo, lo que reduciría la capacidad de retención de P. En esta zona, las lluvias son escasas y el periodo húmedo coincide con bajas temperaturas que disminuyen la solubilidad de los carbonatos (Javid & Rowell, 2003). La mayor retención observada en las incubaciones estaría relacionada con el hecho de que se trata de una medida potencial realizada en condiciones ideales de humedad y temperatura.

Para confirmar el efecto de CROU en la retención de P y comparar la capacidad de retención de ambos suelos, se construyeron isotermas en las muestras tomadas a los 20 meses para los tratamientos CROU, CG (el tratamiento con mayor disponibilidad de P) y la mezcla CG-CROU y se las comparó con los suelos controles (Fig 2). En Santa Ana, donde la capacidad de retención del suelo fue muy baja, los efectos de las enmiendas prácticamente no se notaron. En Pilcaniyeu, en cambio, la retención máxima fue alta, tres veces mayor que en Santa Ana y resultó evidente que el agregado de CG disminuyó la retención de P, mientras que el agregado de CROU, solo o en mezcla con CG aumentó la retención. En las mezclas realizadas, el agregado de CROU contribuyó a disminuir el P disponible aportado por CG, tanto por dilución como por aumento de retención. Esta mayor retención es atribuible al efecto encalador de CROU, que aumentaría la retención de P en la forma de fosfatos de Ca, como se ha observado frecuentemente en suelos encalados (Bolan *et al.*, 2003), pero también por sorción de P en la superficie de los carbonatos (García *et al.*, 2015). El efecto de CROU fue mínimo en Santa Ana posiblemente debido a su baja capacidad de amortiguación, que facilita la pérdida de carbonatos durante periodos de acidificación temporaria por agregado de materia orgánica mineralizable

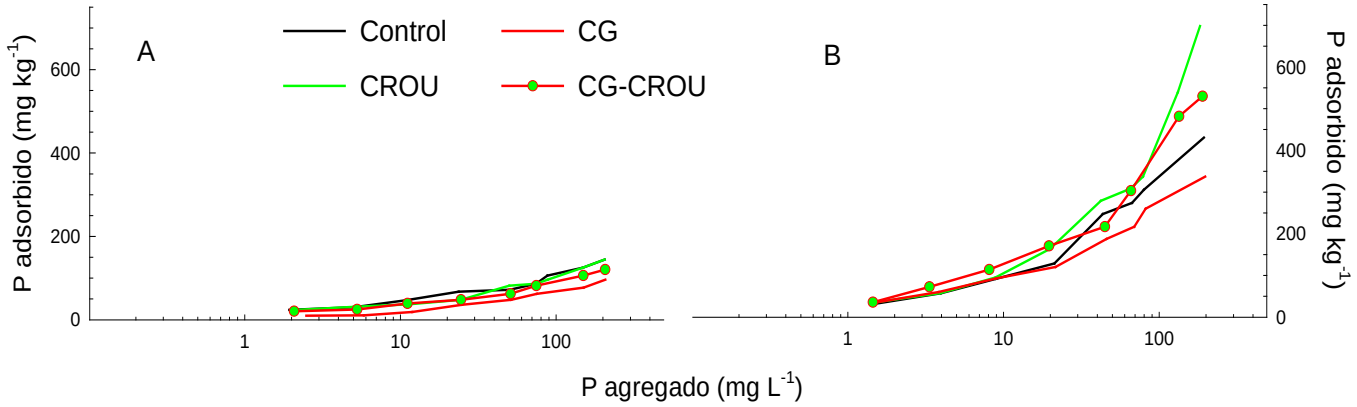


Figura 2. Isotermas de retención de P en muestras superficiales (0-10 cm) de suelos control y enmendados de Santa Ana, y Pilcaniyeu (A y B respectivamente) extraídas a los 20 meses.

CONCLUSIONES

La disponibilidad y riesgo de pérdida de P estuvieron más controlados por el tipo de suelo y la composición química de las enmiendas que por el clima

A pesar de su baja capacidad de retención, en Santa Ana no se observó aumento de P disponible en profundidad, lo que estaría indicando que el P se mantuvo en superficie a través de procesos de disolución, sobresaturación y redisolución.

Pilcaniyeu, a pesar de ser un suelo arenoso de textura similar a Santa Ana, presentó mayor capacidad de retención de P debido a la presencia de carbonatos y óxidos amorfos de Fe y Al, estos últimos provenientes de las deposiciones frecuentes de cenizas volcánicas.

La mezcla con CROU contribuyó a disminuir el riesgo de pérdida tanto por dilución como por el efecto de los carbonatos, que aumentaron la retención de P en el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Attiwill P.M. & G.W. Leeper. 1987. Forest soils and nutrient cycles. Carlton, Vic.: Melbourne University Press; Beaverton, OR: International Specialized Book Services. 202 pp
- Bolan N.S.; Adriano D.C.; Mani P.A. & A. Duraisamy. 2003. Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils. Effect of lime addition. Plant Soil 251: 187-198
- Clapp C.E.; W.E. Larson & R.H. Dowdy. 1994. Sewage sludge: land utilization and the environment. ASA. SSSA Miscellaneous Publication, Madison. 258 pp

- Cooperband L. 2000. Sustainable use of by-products in land management. En: Bartels J.M. & W.A. Dick. (Eds.). Land application of agricultural, industrial, and municipal by-products. SSSA Book Series Nº 6, Madison, WI, USA. pp. 215-235
- Fisher R.F. & D. Binkley. 2000. Ecology and Management of Forest Soils. John Wiley and Sons, Inc., Nueva York. 489 pp.
- García F.O.; L.I. Picone & I.A. Ciampitti. Fósforo. 2015. En: Echeverría H. E. & F. O. García (Eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, pp. 521-565
- Gonzalez Polo M.; E. Kowaljow; E. Castán; O. Sauzet & M.J. Mazzarino. 2015. Persistent effect of organic-matter pulse on a sandy soil of semiarid Patagonia. Biol. Fert. Soils 51: 241-249
- Hesketh N. & P.C Brookes. 2000. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching. J. Environ. Qual. 29: 105-110
- Javid S. & D.L. Rowell. 2003. Assessment of the effect of time and temperature on the availability of residual phosphate in a glasshouse study of four soils using the Olsen method. Soil Use Manage. 19: 243-249
- Kowaljow E. & M.J Mazzarino. 2007. Soil restoration in semiarid Patagonia: Chemical and biological response to different compost quality. Soil Biol. Biochem. 39: 1580-1588
- Laos F.; P. Satti; I. Walter; M.J. Mazzarino & S. Moyano. 2000. Nutrient availability of composted and noncomposted residues in a Patagonian xeric mollisol. Biol. Fert. Soils 31: 462-469
- Leconte M.C.; M.J. Mazzarino; P. Satti; M.C. Iglesias & F. Laos. 2009. Composting poultry manure with rice hulls and/or sawdust in NE Argentina. Waste Manage. 29: 2446-2453
- Mazzarino M.J.; F. Laos; P. Satti & S. Moyano. 1998. Agronomic and environmental aspects of utilization of organic residues in soils of the Andean- Patagonian region. Soil Sci Plant Nutr 44: 105-113
- NBP. 2005. National Manual of Good Practice for Biosolids. NATIONAL BIOSOLIDS PARTNERSHIP ((EPA, WEF, NACWA). http://www.wef.org/Biosolids/
- Pierzynski G.M. 1994. Plant nutrient aspects of sewage sludge. En: Clapp C.E.; Larson W.E. & R.H. Dowdy (Eds.) Sewage Sludge: Land Utilization and the Environment. SSSA Miscell. Publ., Madison, USA. pp. 21-25
- Robinson J.S. & A.N Sharpley. 1995. Release of nitrogen and phosphorus from poultry litter. J. Environ. Qual. 24: 62-67
- Satti P.S. 2007. Biodisponibilidad de nitrógeno y fósforo bajo bosque nativo, disturbados y enmendados. Tesis doctoral. CRUB-UNC. Bariloche, Río Negro, Argentina
- Satti P.; M.J. Mazzarino; F. Laos; L. Roselli & M.P. Crego. 2012. Compostaje de materiales de diferente origen: Experiencias del Grupo de Suelos del CRUB. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (Eds.). Compostaje en la Argentina: Experiencias de Produccion, Calidad y Uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 77-98
- Sharpley A.N.; J.T. Sims & G.M. Pierzynski. 1994. Innovative soil phosphorus availability indices: assessing inorganic phosphorus. En: Havlin J.L. & J.S. Jacobsen (Eds.). Prospects for improving nutrient recommendations. pg. 115-142. SSSA Special Publication 40. Madison, Wisconsin, E.E.U.U
- Sharpley A. 1995. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. J. Environ. Qual. 24 : 920-926
- Sharpley A. 2010. Manejo de fósforo en sistemas de producción agrícola ambientalmente sustentables: Desafíos y oportunidades. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 46: 1-10
- Sparks D.L.; A.L. Page; P.A. Helmke; R.A. Loeppert; P.N. Soltanpour; M.A. Tabatabai; C.T. Jhonston & M.E. Sumner (Eds.). 1996. Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Mehods, third edition. ASA. Madison, USA. 1390 pp.
- Stewart J.W.B. & A.N. Sharpley. 1987. Controls on dynamics of soil and fertilizer phosphorus and sulfur. En: Follett R.; Stewart J.W.B. & C.V. Cole (Eds.). Soil Fertility and Organic Matter as Critical Components of Production Systems. SSSA Special Publ. Nr.19. SSSA, ASA, Madison, Wisconsin, E.E.U.U. pp. 101-121.
- USEPA. 1995. Test methods for evaluating solid waste. Vol IA: Laboratory manual physical/chemical methods. SW 846, 3rd Ed. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C.

C3P22. DOSIS ÓPTIMA DE N Y EUN EN MAÍZ PARA DISTINTAS ZONAS DE MANEJO

Cerliani, Cecilia[1]; Esposito, Gabriel[1]; Gastaldi, Luciano[2] y Naville, Rafael[1].

[1]Facultad de Agronomía y Veterinaria. [2]Gastaldi Hnos . Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nacional 36 km601. Río Cuarto. Córdoba. Argentina. ccerliani@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

El sur de Córdoba presenta una alta variabilidad espacial en las características de suelo que implica distintas condiciones de crecimiento y desarrollo de los cultivos en un mismo lote. El maíz es uno de los principales cultivos de esta región y presentando alta respuesta a la fertilización nitrogenada con un incremento de la siembra tardía en las últimas décadas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta del rendimiento a la fertilización Nitrogenada en distintas zonas de manejo de un lote y la eficiencia de uso del N en cada una de ellas. Para ello, se realizó un experimento durante la campaña 2016/17, con maíz tardío para evaluar la respuesta del rendimiento a la aplicación de N fertilizado en el estadio fenológico de V6. La zonificación se realizó en base a mapas de rendimiento y NDVI de campañas anteriores, en la cual se identificaron tres zonas de manejo (ZM), alta producción (AP), producción promedio (PP) y baja producción (BP). Las dosis de N fueron (0,37,74,111 y 147 kg ha^{-1}), las cuales se sembraron en franjas atravesando las ZM. La cosecha se realizó con cosechadora equipada con monitor de rendimiento y GPS, los datos se analizaron mediante el software OpenGeoda que considera la correlación espacial de los mismos. Además, se determinó para cada ZM la eficiencia agronómica -EA- (Incremento de rendimiento por kg de nutriente aplicado) y el factor parcial de productividad -FPP-(Kg de grano por kg de N aplicado). Los resultados indicaron que la respuesta a la fertilización varió entre ZM. La dosis optima económica (DOE) de N fue de 57,5 kg ha^{-1} en AP, mientras que en PP y BP fue de 68,08 y 72,68 kg ha^{-1}, respectivamente. La misma tendencia se encontró en la dosis optima agronómica (DOA) la cual fue de 83, 107 y 111 kg ha^{-1} para AP, PP y BP, respectivamente, con estas dosis los rendimientos alcanzados fueron de 8259, 7942 y 8024 kg ha^{-1}. Las diferencias halladas entre las ZM en las DOA, donde se registró una mayor dosis en BP y PP, se explican porque al ser una campaña extremadamente húmeda, el agua no fue una limitante para la producción, estos ambientes que poseen un menor contenido de materia orgánica tienen menor posibilidad de mineralizar N de esta y por ende requieren mayor aporte a través de la fertilización; en AP el mayor aporte de N por mineralización hace que la necesidad de fertilización sea menor. Por otro lado, al evaluar la EA del N se observó que en AP fue de 16,8 kg kg^{-1}, mientras que en PP y BP fue menor (13,5 y 14,13 kg kg^{-1}, respectivamente); la misma tendencia se observó en el FPP cuyos valores fueron de 99,6; 74,4 y 72,2 kg kg^{-1}, para AP, PP y BP, respectivamente. Estos resultados indican que en años húmedos las dosis a aplicar son superiores en los ambientes más pobres, siendo estos menos eficientes en el uso del fertilizante.

Palabras claves: Ambiente, Eficiencia Agronómica, Factor parcial de productividad

C3P23. DIGESTATOS DE BIOGÁS COMO FUENTE DE NUTRIENTES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE CENTENO

Chilano Yanina; Bongiovanni Marcos D.; Amín María S.; Marzari Rosana; Mattalia María L.; Barlasina María. V. y Sgarlatta Barbara

Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36 Km 601. Río Cuarto, Córdoba. Argentina. ychilano@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

El número de plantas de biogás, en la última década está teniendo un fuerte impulso debido al interés mundial en el desarrollo de energías renovables. Un subproducto derivado de la digestión anaeróbica, es el digestato, un producto biológicamente estable y de alto valor, que puede utilizarse como una alternativa a los fertilizantes minerales en sistemas agrícolas. El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de biofertilizante de los digestatos y determinar si la aplicación de los mismos en sistemas agrícolas producen contaminación en el sistema suelo-planta-ambiente. Para ello se estableció un ensayo con dos tratamientos: aplicación de digestato en una dosis de 50 m^3 ha^{-1} y un testigo sin aplicación y en ambas condiciones se sembró un cultivo de centeno como cobertura. Se monitorearon los efectos de fitotoxicidad del digestato durante la emergencia y postemergencia. En macollaje se determinó la materia seca del cultivo y en el suelo la CE, pH, MO, Fosforo y Nitratos. Los resultados demuestran que la aplicación de digestatos no produce efectos fitotóxicos y generan un efecto positivo sobre el rendimiento del cultivo. Sólo en los primeros 10 cm de suelo genera cambios significativos en la CE, pH y P. No se encontraron diferencias significativas en los valores de MO del suelo para ninguna profundidad. Sin embargo, los niveles de nitratos en el suelo con aplicación de digestato aumentaron significativamente hasta los 60 cm de profundidad con respecto al suelo control. En consecuencia, en aplicaciones del digestato como biofertilizante existe la necesidad de monitoreo de los suelos, para impedir procesos de alcalinización y salinización debido a la calidad de los digestatos, como así también monitoreo de posibles contaminantes, como nitratos, que pueden ser lixiviados provocando efectos ambientales negativos.

Palabras claves: suelo, nutrición, biofertilizante

INTRODUCCIÓN

Ante el interés mundial en el desarrollo e implementación de energías renovables, motivados por factores energéticos (seguridad e independencia energética), factores de carácter ambiental (disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero) y factores ligados al desarrollo agrícola, las tecnologías como la digestión anaeróbica (DA) están teniendo un fuerte impulso, a nivel regional, nacional e internacional. Además, existe una amplia gama de materiales que son adecuados como materia prima para el proceso de DA, como residuos orgánicos municipales, lodos de tratamiento de aguas residuales, residuos de industrias de procesamiento de alimentos, cultivos energéticos, residuos agrícolas (estiércol y residuos vegetales) y otros desechos orgánicos húmedos (Appels *et al*., 2011; Gabriel & Sierra, 2017), que son eficientes en la generación de biogás. Un sub producto de la DA es el digestato, un material rico en nutrientes, ya que la mayoría de los mismos se mantienen en el proceso de digestión y por lo tanto terminan en el digestato (Debosz *et al*., 2002) por lo que contiene macronutrientes (N, P, K, Ca, S y Mg) y micronutrientes (B, Cl, Mn, Fe, Zn, Cu, Mo y Ni) necesarios para las plantas. La composición del digestato en términos de componentes orgánicos, macronutrientes y micronutrientes y sus características biológicas (contenido de microorganismos) depende del origen del sustrato orgánico utilizado como materia prima y del manejo del proceso de digestión anaerobia (Nkoa, 2014; Risberg, 2015).

Con el incremento de plantas de biogás también son mayores las cantidades de digestatos que se producen a partir del proceso de DA, que deben tener un uso final apropiado evitando cualquier impacto ambiental negativo, para que la producción de biogás sea sustentable. El almacenamiento, la eliminación y la gestión del digestato representan un desafío para industrias que pretenden establecer el biogás como una fuente de energía alternativa sostenible, por lo que constituye una problemática que requiere una alternativa de solución en el corto plazo. Según antecedentes el impacto de la acumulación de digestatos puede mitigarse si se los utiliza como fertilizante orgánicas o biofertilizantes en la producción agrícola, permitiendo la recirculación de los nutrientes de las plantas y reduciendo así la necesidad de fertilizantes minerales dependientes de combustibles fósiles (Holm-Nielsen *et al.*, 2009). Existen antecedentes que muestran respuestas sobre el rendimiento de los cultivos y mejoras en algunas propiedades de los suelos que pueden justificar el uso de los digestatos de manera extensiva.

El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de biofertilizante de los digestatos en el cultivo de centeno y determinar si la aplicación de los mismos en sistemas agrícolas producen contaminación en el sistema suelo-planta-ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este trabajo se realizó en un establecimiento agropecuario ubicado a 7 km al sur oeste (-33.188294, -64.373474) de la ciudad de Río Cuarto (Córdoba-Argentina), en el cual los suelos predominantes de la zona son Haplustoles típicos de textura franca. En el lugar funciona desde el año 2015 la firma Bioeléctrica, que está integrada por un grupo de productores agropecuarios asociados cuyo principal producto es la energía eléctrica limpia a través de la generación de biogás.

Ensayos a campo

El diseño experimental se estableció mediante macro parcelas, con un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos fueron aplicaciones de digestato en una dosis de 50 m^3ha^{-1} con un control sin aplicación (testigo).En ambas condiciones se sembró un cultivo de centeno (*Secale cereale*) en el mes de mayo como cultivo de cobertura. Las aplicaciones de digestato se realizaron en sucesivas repeticiones desde presiembra a postemergencia (distribuidos entre los meses de abril a junio) del cultivo de centeno hasta llegar a la dosis establecida.

El digestato aplicado es un subproducto de la digestión anaeróbica en la producción de biogás, que utiliza como materia prima silaje de maíz y desechos pecuarios, en una proporción 10:1. El digestato utilizado como biofertilizante cumple con la reglamentación de estándares y normas de vertidos para la preservación del recurso hídrico provincia de Córdoba (MAAySP, 2017). La tabla 1 muestra su composición química.

Tabla 1: Composición química del digestato utilizado en el experimento proveniente de la empresa Bioeléctrica

Parámetro	Valor
pH	7,97
CE (dSm^{-1})	24,4
Solidos totales ($g\ l^{-1}$)	63,48
Solidos volátiles ($g\ l^{-1}$)	45,34
Nitrógeno total (%)	0,273
Fosforo total ($mg\ l^{-1}$)	13,5
Potasio ($mg\ l^{-1}$)	230
Sodio ($mg\ l^{-1}$)	43
Calcio ($mg\ l^{-1}$)	365
Magnesio ($mg\ l^{-1}$)	54

Durante la emergencia y en los primeros estadios del cultivo se corroboraron los efectos de fitotoxiddad del digestato, cuantificando el número de plantas emergidas por metro lineal y de la manera visual en post emergencia, ya que los digestatos pueden contener posibles contaminantes fitotóxicos como metales pesados (por ejemplo, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb, As, Ni, Mn y Se), antibióticos, patógenos y una multitud de otros efectores, a menudo desconocidos (Insam *et al.*, 2015).

Los muestreos, tanto de materia seca (MS) del cultivo como de suelos, fueron realizados en estado fenológico de macollaje del cultivo de centeno (mes de agosto). Para el muestreo de MS se efectuaron 8 muestreos de un área de 0.25 m^2 en forma aleatoria por bloque en cada tratamiento, realizando el corte de las plantas con tijera al ras del suelo, secándolas en estufa de circulación forzada a 60 ºC hasta alcanzar un peso constante. El muestreo de suelo fue realizado por 6 muestras compuestas por bloque por tratamiento, en profundidades de 0-10 y 10-20 cm para la determinación de pH y Conductividad Eléctrica (CE) (método potenciómetro (Blake & Hartge, 1986)), fósforo extractable (método de Bray I (Page *et al.*, 1982)) y Materia Orgánica Total (MO) (método de Walkley & Black (Nelson y Sommer, 1982) y en las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm para la determinación de nitratos (método colorimétrico del fenoldisulfónico (Keeney & Nelson, 1982).

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos fueron efectuados mediante el software InfoStat a través de un análisis de varianza, previa comprobación de las condiciones de distribución requeridas para el análisis. La comparación múltiple de las medias de los tratamientos se realizó mediante prueba de Tukey ($p < 0,05$) (Di Rienzo *et al.*, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al monitoreo realizado durante la emergencia y en los primeros estadios del cultivo en los cuales se aplicó el digestato, se comprobó que ésta técnica no inhibe la germinación del cultivo de centeno ni genera efectos fitotóxicos en los primeros estadios fenológicos del cultivo en aplicaciones post emergencia. Estos resultados concuerdan con Gell *et al.* (2011), en el cual concluyen que los efectos fitotoxicos son mayores para enmiendas no digeridas anaeróbicamente.

La Figura 1 presenta los rendimientos en materia seca del cultivo de centeno obtenidos luego de la aplicación de digestato y el tratamiento de control. Los rendimientos fueron de 2217 y 3467 kg MS h^{-1} para testigo y con tratamiento respectivamente, encontrando diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

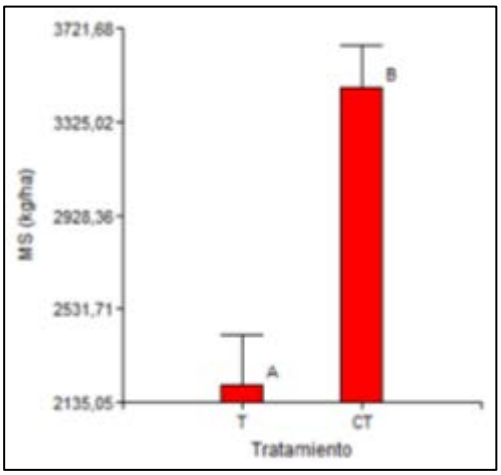


Figura 1: Materia Seca de Centeno (kg MS h^{-1}) para testigo (T) y con tratamiento (CT).Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p <= 0,05$). Las barras indican el valor del error estándar de las medias.

Estos resultados concuerdan con Barbosa *et al.* (2014), en la que evaluaron la potencial fuente de nutrientes del digestato para la producción de biomasa de tres plantas diferentes: sida (*Sida hermaphrodita*), maíz (*Zea mays L.*) y alfalfa (*Medicago sativa L.*) en un experimento en masetas en invernadero. En este estudio el digestato presentó un potencial efectivo como fertilizante vegetal, ya que su efecto fue similar al fertilizante inorgánico respecto a la producción de biomasa y en el contenido de nutrientes (carbono, nitrógeno y fosforo) en las especies utilizadas. Similares resultados son reportados por: Abubaker *et al.* (2012), Odlare *et al.* (2008), Riva *et al.* (2016), Sigurnjak *et al* (2017), Svensson *et al.* (2004) y Walsh *et al.* (2012).

En la Tablas 2 y 3 se muestran los resultados obtenidos en las propiedades físico-químicas evaluadas en el suelo luego de 4 meses de inicio de las aplicaciones de digestatos. Para la profundidad de 0-10 cm se encontraron diferencias estadísticas significativas entre la aplicación de digestato y el control en el pH y la CE, pero éstos valores se mantuvieron dentro del rango óptimo para el crecimiento del cultivo, mientras que para la profundidad de 10-20 cm no se encontraron diferencias significativas. En la MO del suelo no hubo cambios significativos entre el tratamiento con aplicación de digestatos y el control en los 20 cm superiores de suelo. Con respecto al P, en los primeros 10 cm de profundidad, el tratamiento con aplicación de digestatos tuvo un aumento de casi tres veces con respecto al control sin aplicación, existiendo diferencias significativas entre ellos, y de 10-20 cm no se encontraron diferencias significativas entre la aplicación de digestatos y el control. Alburquerque *et al.* (2012), en un experimento a campo compararon los efectos de los digestatos con los de una enmienda tradicional (estiércol vacuno) y un fertilizante mineral, en dos cultivos hortícolas en dos temporadas sucesivas. Sus resultados muestran que el pH del suelo solo fue afectado por el digestato a corto plazo y que los valores de CE del suelo fueron más altos en todos los tratamientos durante el período de verano (caracterizado por altas temperaturas y baja precipitación, por lo que existe acumulación de sal en el suelo). Sin embargo, y en coincidencia con este ensayo, también encontraron que los valores de pH y CE estuvieron en el rango apropiado para el

crecimiento de la planta y no observaron acumulación de sales con las aplicaciones sucesivas de los tratamientos de fertilización al suelo. Las parcelas modificadas con estiércol vacuno tuvieron concentraciones más altas de P disponible que el control en todos los muestreos, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas para algunos muestreos. Además hallaron que la adición de digestato al suelo proporcionó una fuente de nutrientes disponibles (nitrógeno y fósforo) a corto plazo y tuvo efectos positivos en las propiedades biológicas del suelo, como la biomasa microbiana y las actividades enzimáticas, en comparación con el suelo no modificado.

Tabla 2: Valores de pH, MO y P medidos en el suelo a 120 días de la aplicación de digestato

	pH		CE (dS m^{-1})		MO (%)		P (kg ha^{-1})	
Profundidad (cm)	T	CT	T	CT	T	CT	T	CT
0-10	6,06	5,93	0,23 a	0,43 b	1,95	2,08	22,75 a	66,64 b
ANOVA	*		*		*NS*		*	
10-20	6,35	6,43	0.10	0,12	1,39	1,49	14	13,37
ANOVA	*NS*		*NS*		*NS*		*NS*	

T: testigo; CT: con tratamiento; *NS*: No Significativo;* Significativo con un nivel de probabilidad p<0.05. Los valores medios indicados por letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey en el nivel de probabilidad del 5%.

Tabla 3: Contenido $N\text{-}NO_3^-$ medidos en el suelo a 120 días de la aplicación de digestato

Profundidad (cm)	$N\text{-}NO_3^-$ (kg ha^{-1})	
	T	CT
0-20	4,65 a	9,80 b
ANOVA	*	
20-40	2,11 a	5,09 b
ANOVA	*	
40-60	2,86 a	4,34 b
ANOVA	*	
60-100	4,10	4,36
ANOVA	*NS*	

T: testigo; CT: con tratamiento; *NS*: No Significativo; * Significativo con un nivel de probabilidad p<0.05. Los valores medios indicados por letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey en el nivel de probabilidad del 5%.

En referencia a los niveles de nitratos hallados, podemos observar que se encontraron diferencias significativas hasta los 60 cm de profundidad entre el control y la aplicación de digestatos. Desde los 60 hasta los 100 cm de profundidad no se encontraron diferencias significativas. Según varios autores, entre ellos Schröder *et al.* (2013), Sigurnjak *et al.* (2017) y Svoboda *et al.* (2013) los fertilizantes orgánicos como los digestatos son más susceptibles a la lixiviación de nitratos debido a la asincronía entre la demanda de cultivos frente a la liberación lenta de nitrógeno orgánicamente unido, por lo que el nitrógeno que no es absorbido por la planta es propenso a la lixiviación y, por lo tanto, es un potencial contaminante.

CONCLUSIONES

Para las condiciones experimentales establecidas en este ensayo, se comprobó que la aplicación de digestatos provenientes de la digestión anaeróbica de la producción de biogás, no inhibe la germinación del cultivo de centeno ni genera efectos fitotóxicos en los primeros estadios fenológicos del cultivo. En aplicaciones como biofertilizante, existe un efecto positivo sobre el rendimiento en materia seca del cultivo de centeno, debido a que proporciona nutrientes escenciales como nitrógeno y fosforo, por lo que esta técnica permitiría reemplazar parte de la fertilización mineral. Si bien no se encontraron cambios significativos en el pH y la CE de 10-20 cm de profundidad, existe la necesidad de monitoreo para que no ocurra alcalinización ni salinización debido a la calidad de los digestatos. Además se deberían monitorear posibles contaminantes, como nitratos, que pueden ser lixiviados provocando efectos ambientales negativos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Biomass Crop S. A. por la colaboración prestada para llevar adelante la experiencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Abubaker, J; K Risberg & M Pell. 2012. Biogas residues as fertilisers–Effects on wheat growth and soil microbial activities. Applied Energy, 99, 126-134.
- Alburquerque, JA; C De la Fuente; M Campoy; L Carrasco; I Nájera; C Baixauli; F Caravaca; A Roldán; J Cegarra & MP Bernal. 2012. Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. European Journal of Agronomy, 43, 119-128.
- Appels, L; J Lauwers; J Degrève; L Helsen; B Lievens; JVI Willems & R Dewil. 2011. Anaerobic digestion in global bio-energy production: potential and research challenges. Renew. Sustain. Energy Rev. 15, 4295–4301.
- Barbosa, DBP; M Nabel & ND Jablonowski. 2014. Biogas-digestate as nutrient source for biomass production of Sida hermaphrodita, Zea mays L. and Medicago sativa L. Energy procedia, 59, 120-126
- Blake GR & KH Hartge. 1986. Bulck Density, en Methods of soil análisis, Part 1, Physical and mineralogical methods, Agronomy monographs no. 9, second edition, ASA. SSSA., pp 363-375.
- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2016. Infostat Versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar
- Debosz, K; SO Petersen; LK Kure & P Ambus. 2002. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. AppliedSoilEcology, 19(3), pp. 237-248.
- Gabriel, D & H Sierra. 2017. Purificación y usos del biogás. Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- Gell, K; J Van Groenigen & ML Cayuela. 2011. Residues of bioenergy production chains as soil amendments: immediate and temporal phytotoxicity. Journal of hazardous materials, 186(2-3), 2017-2025.
- Holm-Nielsen, JB; T Al Seadi & P Oleskowicz-Popiel. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource technology, 100(22), 5478-5484.
- Insam, H; M Gómez-Brandón & J Ascher. 2015. Manure-based biogas fermentation residues–Friend or foe of soil fertility?. Soil Biology and Biochemistry, 84, 1-14.
- Keeney, DR & DW Nelsol .1982. Nitrogen, en Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties. Agronomy monographis Nº 9, Second edition, pp 643- 693 ASA. ASSA.
- MAAySP. Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos. 2017. Boletín oficial de la provincia de Córdoba Nº 81
- Nelson, DW & LE Sommers. 1982. Total carbon, Organic carbon and Organic Matter in A. Klute (ed.) Methods of soil analysis Chemical and Microbiological Properties Part 2. Ed Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI. pp. 539-577.
- Nkoa, R. 2014. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. Agronomy for Sustainable Development, 34(2), 473-492.
- Odlare, M; M Pell & K Svensson. 2008. Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. Waste Manag, 28(7), pp. 1246-53
- Page, AL. 1982. Methods of soil analisis Part 1 Number 9. American Society of Agronomy, Inc. Sail Science Society of American, Inc. Segunda edición. Madison, Wisconsis. USA. 1159 p.
- Risberg, K. 2015. Quality and function of anaerobic digestion residues (Vol. 2015, No. 40).
- Riva, C; V Orzi; M Carozzi; M Acutis; G Boccasile; S Lonati; F Tambone; G D'Imporzano &F Adani. 2016. Short-term experiments in using digestate products as substitutes for mineral (N) fertilizer: Agronomic performance, odours, and ammonia emission impacts. Science of The Total Environment, 547, 206-214.
- Sigurnjak, I; C Vaneeckhaute; E Michels; B Ryckaert; G Ghekiere; FMG Tack & E Meers. 2017. Fertilizer performance of liquid fraction of digestate as synthetic nitrogen substitute in silage maize cultivation for three consecutive years. Science of The Total Environment, 599, 1885-1894.
- Schröder, JJ; W De Visser; FBT Assinck & GL Velthof. 2013. Effects of short-term nitrogen supply from livestock manures and cover crops on silage maize production and nitrate leaching. Soil Use Manag. 29:151–160. http://dx.doi.org/10.1111/sum.12027.
- Svensson, K; M Odlare & M Pell. 2004. The fertilizing effect of compost and biogas residues from source separated household waste. Journal of Agricultural Science 142 (4), 461–467.
- Walsh, JJ; DL Jones; G Edwards Jones & AP Williams. 2012. Replacing inorganic fertilizer with anaerobic digestate may maintain agricultural productivity at less environmental cost. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 175(6), 840-845.

C3P24. NUTRICIÓN VEGETAL Y SIMBIOSIS MICORRÍCICA ARBUSCULAR EN ESPECIES FORRAJERAS ANTE EL AUMENTO DEL FÓSFORO EDÁFICO

Chippano, Tomás[1]; Fernández López, Carolina[2]; Cofré, Noelia[3]; Mendoza, Rodolfo[1] y García, Ileana[1]

[1]Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia – CONICET. (CP: C1405DJR). [(2)] EEA INTA Corrientes.
[3]Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal - CCT-CONICET – Córdoba. tomas_chippa@hotmail.com

RESUMEN

En suelos deficientes en fósforo (P), la fertilización fosforada aumenta la producción de biomasa vegetal, mejora la nutrición, y conduce a cambios en las relaciones simbióticas con microorganismos del suelo como los hongos micorrícicos arbusculares. El objetivo fue evaluar el efecto del agregado de P sobre la nutrición fosforada de especies forrajeras con diferente metabolismo carbonado y la simbiosis con hongos micorrícicos arbusculares en un suelo deficiente en P. Se cultivaron puras *Lotus tenuis* (C4), *Panicum coloratum* (C4) y *Festuca arundinacea* (C3) en un *Natracuoll típico* (P=5,68 mg kg^{-1}) en invernáculo, fertilizado con KH_2PO_4, desde 0 hasta 160 mg kg^{-1}. Cuarenta y cinco días después de la siembra se determinó: biomasa seca, concentración de P en tejido vegetal y suelo, colonización micorrícica arbuscular (MA), y se calculó la absorción específica y la partición de P hacia la raíz. Las variables fueron descriptas a través de ecuaciones polinómicas y se ajustó una curva para cada especie. La concentración de P en tejido y suelo, y la absorción específica de P aumentaron ante el incremento del P aplicado, y la partición de P hacia raíz fue en *L. tenuis*>*F. arundinacea*>*P. coloratum.* Las gramíneas presentan un sistema radical en caballera que les permite maximizar el volumen de suelo explorado, por lo tanto alcanzaron la máxima absorción específica a 28 mg kg^{-1}y la leguminosa a 60 mg kg^{-1} disponible, y luego se mantuvieron constantes ante el incremento del P disponible. La colonización MA disminuyó ante el incremento de la concentración de P en suelo y tejido. Ante 15-25 mg kg^{-1} aplicado (8-12 mg kg^{-1} disponible), la colonización MA disminuyó un 70% en las gramíneas, pero en la leguminosa aumentó 15% y luego disminuyó comparado con el tratamiento sin fertilizar, debido a que presenta un sistema radical de menor exploración, mayor afinidad por la colonización MA ante deficiencia de P, y mayores requerimientos de P en comparación con las gramíneas. Las raíces de las gramíneas no mostraron diferencias en el porcentaje de colonización. Bibliografía previa reporta que las gramíneas C4 son más afines a la colonización MA que las C3. Las mencionadas diferencias podrían ser observadas en estadíos más avanzados de crecimiento. Las gramíneas fueron más eficientes en la absorción de P y presentaron requerimientos de P menores que la leguminosa, pero la colonización MA disminuyó marcadamente ante el agregado de fertilizante fosforado. *Lotus tenuis* presentó niveles de colonización MA elevados y siempre mayores a los registrados en las raíces de las gramíneas independientemente de la disponibilidad de P en el suelo, se plantea entonces que podría ser empleada como una especie capaz de actuar como reservorio de la comunidad MA nativa ante fertilización fosforada. A partir de los resultados obtenidos deberán realizarse estudios futuros para dilucidar si el principal factor que disminuye la colonización MA en especies forrajeras crecidas ante fertilización fosforada es el P edáfico, la concentración de P en tejido o bien, una combinación de factores, y establecer dosis de P que permitan una producción de biomasa óptima con el concomitante cuidado de las comunidades microbianas.

Palabras claves: Nutrición fosforada, simbiosis micorrícica arbuscular, especies forrajeras

C3P25. EVALUACIÓN DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN LIMONERO (*Citrus limón*) EN TUCUMÁN

Correa, R.; Sosa, F.; Romero, J.; Navarro Di Marco, J.; Sanzano, A. y Rojas Quinteros, H.
Sección Suelos y Nutrición Vegetal. EEAOC. William Cross 3150. Las Talitas. Tucumán. Argentina. CP T4101XAC.
rcorrea@eeaoc.org.ar

RESUMEN

La actividad citrícola Tucumana se ha especializado en el cultivo del limonero (*Citrus limón*). La obtención de altos rendimientos se encuentra estrechamente relacionada a la fertilización nitrogenada. Los aportes de nitrógeno (N) se incrementan con la edad de la planta, estabilizándose entre los 10 y 12 años. La fertilización tradicional se realiza con urea (UR). Esta fuente posee pérdidas de N como amoníaco gaseoso que difunde a la atmosfera reduciendo su eficiencia agronómica. Por otro lado, el uso continuo de UR ha provocado, en ciertas situaciones, un proceso de acidificación edáfica. Estos hechos han motivado un cambio en el uso de fuentes nitrogenadas que no posee suficiente respaldo de conocimiento local.

El propósito de este trabajo fue cuantificar la respuesta productiva del cultivo de limonero Lisboa injertado sobre Flying Dragon frente a tres fuentes nitrogenadas y sus correspondientes pérdidas de N por volatilización. Se ensayaron tres fuentes: UR, solución urea-nitrato de amonio (UAN) y nitrato de amonio calcáreo (CAN), a una dosis de 330 kg N ha^{-1}. Se incluyó un testigo sin fertilizar. Se usó un diseño en bloques totalmente aleatorizados con cuatro repeticiones en una plantación adulta. Se realizaron controles de cosecha para cuantificar la respuesta productiva. Las pérdidas de N fueron capturadas en cámaras ubicadas en cada parcela en tres repeticiones. Se registró la temperatura edáfica y se midió el contenido hídrico del suelo.

Los resultados de tres campañas mostraron un rendimiento acumulado de 181,8; 168,7; 143,3 y 130,5 t ha^{-1} para UR, CAN, UAN y T respectivamente; no se encontraron diferencias significativas entre UR y CAN y entre CAN y UAN. UR presentó las mayores pérdidas de N relativas promedio en el período estudiado (34%); mientras que UAN tuvo 17,1% y CAN 1,4 %. Esta última fuente no se diferenció significativamente del testigo.

Palabras clave: Fertilización, urea, volatilización.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cítricos y el del limonero en particular (*Citrus limón*) presenta una alta dependencia de la fertilización nitrogenada para alcanzar altos rendimientos (Cantarella *et al*., 2003; Hernández y Figueroa, 2005). La recomendación de fertilización se basa en la utilización de dosis óptimas de nitrógeno (N) que se encuentran en 80 gr N árbol $año^{-1}$, estabilizándose dicha dosis a los 10 años (Aso *et al.*, 1980, 1983) para portainjertos convencionales y de 50 gr N árbol $año^{-1}$ para los semi-enanizantes (Hernández *et al*., 2010). El estado nutricional de las plantas debe monitorearse con el empleo de análisis foliares que permitirán realizar correcciones a los aportes de N (Aso y Casanova, 1982).

El fertilizante nitrogenado más utilizado debido al costo por unidad de N es la urea (UR). Este presenta altas tasas de pérdidas de N por volatilización de amoníaco (NH_3), que reduce su eficiencia y lo transforma en una fuente de polución atmosférica (Terman, 1979; García, 1996). Pan *et al.* (2016) estiman pérdidas promedio del 17,6% de N aplicado para Latinoamérica mediante este proceso. Las pérdidas de N dependerán de la concentración del fertilizante, contenido hídrico y temperatura del suelo, presencia de residuos vegetales, etc. (Videla, 1994; Sommer *et al*., 2004).

Las características propias del cultivo como ser dispersión superficial del fertilizante en bandas, presencia de cobertura de residuos vegetales, no incorporación del fertilizante en el suelo, sombreado, etc., contribuyen a la formación de un microclima que pueden conducir a aumentos en las magnitudes de dichas pérdidas (Sommer *et al*., 2004)

Figueroa *et al*. (2003) estudiaron que en zonas con regímenes climáticos favorables al proceso de lavado de bases del perfil de suelo, el uso de UR ha conducido a un proceso de acidificación del suelo. Estos autores recomiendan el empleo de otras fuentes nitrogenadas en estos casos.

Estas características de UR han alentado al empleo por parte de los productores de distintas fuentes nitrogenadas que poseen N también en forma de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) en distintas relaciones. No se dispone de suficiente conocimiento local acerca de las pérdidas de N que estas poseen y del comportamiento productivo en el cultivo.

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar el comportamiento productivo de tres fuentes nitrogenadas en el cultivo de limonero Lisboa, las pérdidas de N por volatilización y su relación con las condiciones ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en un lote comercial ubicado en la localidad de San Andrés, en la llanura chaco pampeana húmeda sub-húmeda de la provincia de Tucumán, Argentina (Zucardi y Fadda, 1985). Se trabajó sobre una plantación de limonero Lisboa frost injertado sobre un portainjerto semi-enanizante *Poncirus trifoliata* var. monstrosa (Flying Dragon), de 12 años de edad, plantado en marco compacto de 5,5 m entre líneas y 2,75 m entre plantas. El lote se encuentra sobre un suelo Hapludol Fluvéntico (Tabla 1) y dispone de riego por goteo con un lateral por fila con emisores distanciados a un metro y caudal por emisor de 4 L h^{-1}.

Los tratamientos ensayados fueron: testigo sin fertilizar (T), urea (46% N) (UR), solución urea-nitrato de amonio (33% N) (UAN) y nitrato de amonio calcáreo (27% N) (CAN). La unidad experimental estuvo constituida por 10 plantas contiguas en una misma fila. Estas parcelas se dispusieron en un diseño en bloques totalmente aleatorizados con cuatro repeticiones.

El ensayo se inició en el año 2013. La dosis de N utilizada fue de 330 kg N ha^{-1} (0,5 kg N $planta^{-1}$). La aplicación se realizó en octubre en los años 2013 y 2014, diciembre en 2015 y junio en 2016. La dispersión fue al voleo para los fertilizantes sólidos y chorreado para el fertilizante líquido, ambos en la franja delimitada por el vuelo de la copa de tres metros de ancho (Aso, 1980).

Los parámetros evaluados fueron: Rendimiento cultural (t ha^{-1}), N volatilizado (kg N ha^{-1}), temperatura del suelo (ºC) a 0,05 m y humedad del suelo gravimétrica (% gr) a una profundidad de 0-0,2 m.

Las pérdidas de N volatilizado fueron medidas en tres repeticiones a partir del momento de la fertilización de los años 2014, 2015 y 2016. Se utilizó un sistema de absorción semi-abierto estático, adaptado del propuesto por Nommik (1973). El amoníaco volatilizado es atrapado por medio de cámaras de captación compuestas por un cilindro de policloruro de vinilo (PVC) enterrado 0,05 m para aislar el área de suelo a monitorear; la retención del NH_3 se realiza con un disco de espuma de poliuretano embebido con solución de ácido sulfúrico 1N, que capta y estabiliza el NH_3 emitido; un segundo disco embebido se coloca por encima del primero con la finalidad de capturar el NH_3 proveniente del exterior de la cámara y evitar así la contaminación del inferior. Dichos discos se reemplazan al momento de la lectura: el disco inferior se transporta en envase hermético al laboratorio, donde se lava con agua destilada y, a partir de una alícuota, se determina la concentración de N mediante destilación por arrastre de vapor, titulación y cálculo de concentración. Se colocó una cámara por parcela y los discos fueron cambiados al primer, segundo, cuarto, séptimo, undécimo y décimo octavo día después de la aplicación (Dda) del fertilizante nitrogenado, determinando una frecuencia diaria hasta el día dos; y de dos, tres, cuatro y cinco días respectivamente para las mediciones restantes.

El registro de temperatura del suelo se realizó con un sensor enterrado a 0,05 m y a una distancia de 0,1 m de las cámaras. El contenido hídrico del suelo se obtuvo mediante determinaciones gravimétricas realizadas al momento de cambio de disco en la zona adyacente a la cámara.

Se realizaron determinaciones de rendimiento de fruta fresca mediante controles de cosecha de los cortes de invierno.

Con los datos de pérdida de N por volatilización (kg N ha^{-1}) y rendimiento de fruta fresca (t ha^{-1}) se realizaron análisis de la varianza y comparación de medias con el test de Fisher ($p<0,05$), mediante el uso del software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2009).

Tabla 1. Características edáficas. San Andrés, Cruz Alta. Tucumán.

Profundidad (cm)	pH (agua 1:2,5)	Salinidad dS/m (C.E. 25º en extracto de suelo)	Carbonatos $CaCO_3$ % (gasometría)	Textura estimada (capilaridad)	Materia organica % (Walkley-Black)
0-30	6,8	1,9	---	Franco	2,8
30-60	6,9	1,7	---	Franco	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las emisiones de N para los tratamientos UR, UAN y CAN fueron 92,6; 55,8 y 3,9 Kg N ha^{-1} en el año 2014; 139,4; 72,5 y 8,2 Kg N ha^{-1} para el año 2015 y en el año 2016 de 110,9; 47,2 y 6,7 Kg N ha^{-1} para cada tratamiento respectivamente al finalizar el período evaluado.

Las pérdidas porcentuales entre los tratamientos en las distintas campañas se detallan en la fig. 1. En el año 2014 no se registraron diferencias significativas (Test de Fisher $p<0,05$) entre UR y UAN. En los años 2015 y 2016 los tratamientos mostraron pérdidas de N significativamente diferentes entre sí (Fig. 1).

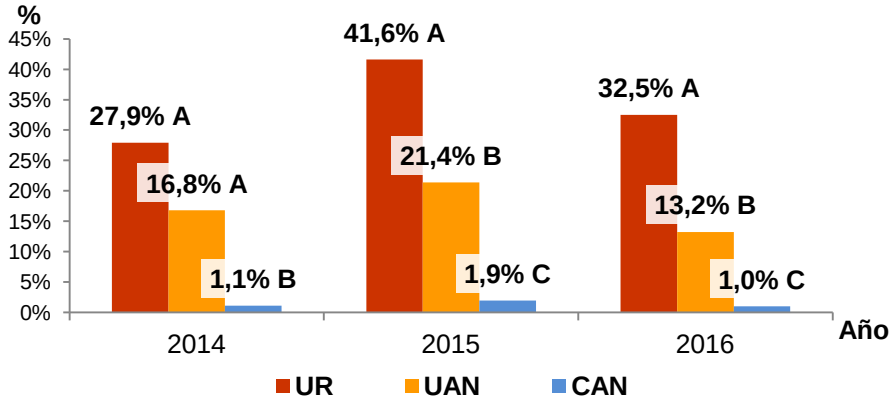


Figura 1: Pérdidas porcentuales de N a finalizar el período de evaluación para las campañas 2014, 2015 y 2016. Letras distintas en un mismo año indican diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05). San Andrés. Cruz Alta. Tucumán.

Los promedios de pérdidas de N para las tres campañas fueron de 34 ±7; 17,1 ±4,1 y 1,4 % ±0,5 para UR, UAN y CAN respectivamente.

Los valores de pérdidas de N en UR son mayores a los encontrados por Correa *et al.* (2016) en limonero y similares a los estudiados por Cantarella *et al.* (2003) en naranja, donde obtuvo un promedio de 31% con variaciones de 17 a 44% dependiendo del contenido hídrico del suelo. Mattos *et al.* (2003a) también en naranja registró pérdidas de 33%. Freney *et al.* (1992) encontró pérdidas de 35% en promedio para dispersiones de UR sobre maloja de caña de azúcar.

UAN redujo las emisiones de NH_3 un 49,3% respecto a UR. Grant *et al.* (1996) y Correa *et al.* (2016) señalan reducciones para esta fuente respecto a UR de 56% y 64% respectivamente. CAN posee las menores magnitudes de pérdidas de N, esto coincide con lo encontrado por otros autores que obtuvieron pérdidas insignificantes (Velthof *et al.*, 1990; Sommer & Jensen, 1994; Ferraris *et al.*, 2014). CAN aporta al suelo un catión y un anión (Ca^{2+} y NO_3^-) altamente solubles que contribuyen a bajar el pH en la zona cercana al fertilizante y de esta manera reduce las emisiones de NH_3 por volatilización (Sommer *et al.*, 2004).

Las mayores pérdidas se observaron en el año 2015, pese a ello, en un análisis de la varianza para cada tratamiento de forma interanual (Fisher p<0,05) no se registraron diferencias significativas.

La variación interanual observada para los distintos tratamientos se podría explicar por las condiciones de humedad y temperatura de suelo registradas durante las experiencias (Fig. 2 y Fig. 3). En el año 2014 se registró el menor contenido hídrico del suelo promedio (13,3%) y una temperatura de suelo media de 20ºC. Este bajo contenido hídrico podría haber limitado el proceso de hidrólisis de la urea afectando la volatilización de los tratamientos UR y UAN. Freney *et al.* (1992) determinaron que las pérdidas de N son limitadas por el contenido de agua en los residuos vegetales sobre los que son dispersados los fertilizantes; este, a su vez, depende del contenido hídrico en el suelo y su evaporación. Otros autores (Milchunas *et al.*, 1988; Velthof *et al.*, 1990; Yan *et al.*, 2016) estudiaron que el contenido hídrico del suelo posee un efecto más determinante en las emisiones que la temperatura.

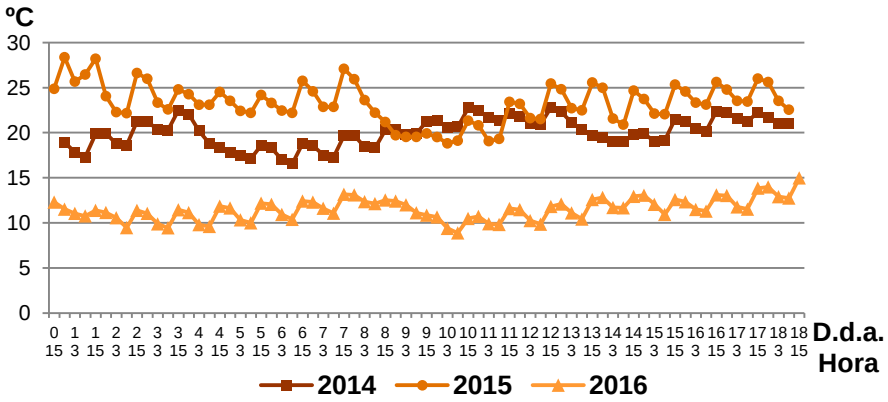


Figura 2. Evolución de la temperatura de suelo (ºC) en el período de evaluación para las campañas 2014, 2015 y 2016. San Andrés. Cruz Alta. Tucumán.

En los años 2015 y 2016 la humedad edáfica promedio fue de 23,3 y 25,2% respectivamente, mientras que la temperatura promedio fue de 23,1 y 11,3ºC en el mismo orden. Esta diferencia de temperatura podría explicar las menores magnitudes de pérdidas de N encontradas para todos los tratamientos en el año 2016 (Mira *et al.*, 2017).

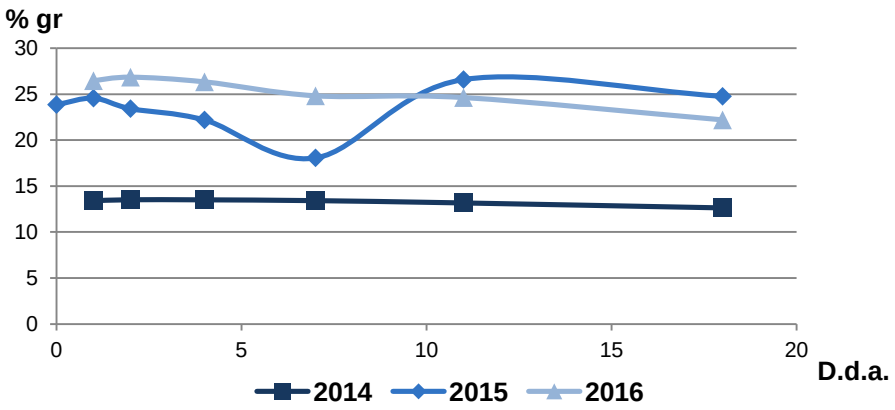


Figura 3. Evolución del contenido hídrico de suelo (% gr suelo) en el período de evaluación para las campañas 2014, 2015 y 2016. San Andrés. Cruz Alta. Tucumán.

El rendimiento cultural de fruta fresca (t ha^{-1}) se muestra en la Tabla 2. La cosecha 2014 fue fuertemente condicionada por una helada ocurrida en la primavera de 2013, no registró magnitudes de consideración y no fue tomada en cuenta para el presente análisis. La cosecha 2015 no exhibió diferencias significativas entre T, UR y CAN (Tabla 2); esto podría deberse a la permanencia del efecto de la helada antes referida (Zekri *et al.*, 2016) y a fertilizaciones anteriores al establecimiento del ensayo y su efecto en el contenido de N (Cantarella *et al.*, 2003). En la cosecha 2016 UR y CAN tuvieron un comportamiento significativamente diferencial de UAN y este a su vez lo tuvo de T. La cosecha 2017 mostró los mayores rendimientos con un promedio de 65,83 Tn ha^{-1} en los tratamientos fertilizados; no hubo diferencias entre UR, CAN y UAN; estos últimos dos no se diferenciaron de T, esto podría deberse a la ocurrencia de altas tasas de mineralización de N del suelo (Aso *et al.*, 1980; Hernández *et al.*, 2010). El rendimiento acumulado de las tres cosechas no registró diferencias significativas entre UR y CAN, como así tampoco entre CAN y UAN.

Tabla 2. Rendimiento de fruta fresca (t ha^{-1}). Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,05$). San Andrés, Cruz Alta. Tucumán.

	Cosechas			
Tratamiento	**2015**	**2016**	**2017**	**Acumulado**
UR	50,42 A	59,83 A	71,58 A	181,83 A
CAN	43,79 AB	59,90 A	65,07 AB	168,75 AB
UAN	36,52 B	45,90 B	60,85 AB	143,27 B
T	47,64 A	29,33 C	53,50 B	130,47 C

Experiencias locales no evidenciaron un comportamiento productivo diferencial entre UR y CAN en limonero (Figueroa *et al.*, 2016). Cantarella *et al.* (2003) y Mattos *et al.* (2003b) en naranja no encontraron diferencias significativas en producción al comparar UR y nitrato de NH_4^+como fuentes nitrogenadas.

UR mostró altas pérdidas de N ocurridas por volatilización de NH_3 respecto a CAN, pero su comportamiento productivo no se vio influenciado por ello. Esta característica podría deberse a una selectividad diferencial en la absorción de N. El NH_4^+ posee un balance energético más favorable que el NO_3^- para la síntesis de proteína, esta condición dependerá de la interacción de varios factores: concentración y relación entre ambas formas, características de suelo, especie, etc. (Etcheverria y Sainz Rosas, 2005; Quiñones *et al.*, 2012). Las especies cítricas poseen la capacidad de asimilar el NH_4^+ a aminoácido en raíz, por lo que podrían evitar los efectos tóxicos de su presencia en hoja (Hernández y Figueroa, 2005). Serna *et al.* (1992) estudió que los cítricos tienen una mayor tasa de absorción de NH_4^+ respecto a NO_3^- limitando además dicho fenómeno el ingreso de este último. El mencionado autor obtuvo mayor número de frutas por árbol suministrando N como NH_4^+ respecto a la nutrición nítrica y sus combinaciones. En oposición a esto, Mattos *et al.* (2003b) adjudican a las pérdidas de N por volatilización una menor recuperación de N marcado, hallada en plantas fertilizadas con UR respecto a fertilizadas con nitrato de NH_4^+.

El N nítrico se encuentra expuesto a lixiviación reduciendo potencialmente su absorción por la planta. Cantarella *et al.* (2003) encontraron mayores cantidades de N en profundidad en plantas fertilizadas con nitrato de NH_4^+ respecto a las fertilizadas con UR. Paramasivan *et al.* (2001), utilizando nitrato de NH_4^+, estudiaron que hasta 12% del N aplicado puede moverse fuera del área radicular por este mecanismo en suelos arenosos.

Las plantas pueden captar NH_3 atmosférico vía estomática en condiciones de alta concentración atmosférica y bajo contenido en las mismas; esta captación es favorecida por el microclima creado por la planta (Sharper y Harper, 1995; Sommer *et al.*, 2004). Boaretto *et al.* (2013) encontraron absorción en árboles cítricos de NH_3 atmosférico proveniente de aplicaciones de UR con altas tasas de volatilización. Esta absorción tuvo una baja proporción (5%), concluyendo que este mecanismo es muy limitado.

CONCLUSIONES

La fuente nitrogenada que mayores pérdidas de N por volatilización registró fue UR; CAN posee pérdidas poco significativas y UAN tiene un comportamiento intermedio al respecto.

El proceso de volatilización de NH_3 se encuentra fuertemente influenciado por las condiciones ambientales, siendo la humedad de suelo el factor medido que mayor predominio exhibió.

Las altas pérdidas de N registradas en UR no influyeron su comportamiento productivo respecto a las otras fuentes ensayadas, sugiriendo la existencia de mecanismos que aumentan la eficiencia fisiológica del NH_4^+ en la planta.

Los resultados fueron obtenidos con dosis de N para la combinación portainjerto/copa y edad de las plantas en función de la obtención de máximos rendimientos. Es posible que menores dosis de N muestren un comportamiento productivo diferencial entre fuentes nitrogenadas.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado con financiamiento de la empresa Bunge S.A.

BIBLIOGRAFÍA

- Aso, P. J. 1980. Citrus: La fertilización con Nitrógeno en limoneros. Avance Agroind. 2: 23
- Aso, P.J. y Casanova, M.R. 1982. Citrus: Análisis foliar para el control de la fertilización. Avance agroindustrial 2 (8): 21-22
- Aso, P. J.; N. Dantur y M. Casanova. 1983. Efectos de la dosis de aplicación de nitrógeno sobre el rendimiento, calidad de fruta y nitrogeno foliar en limoneros. Rev. Ind. y Agric. de Tucumán 60 (2): 63-67.
- Boaretto, R. M.; D. Mattos Jr.; J. A. Quaggio; H. Cantarella & P. C. O. Trivelin. 2013. Absorption of ^{15}NH3 volatilized from urea by Citrus trees. Plant Soil 365: 283–290.
- Cantarella, H.; D. Mattos Jr.; J. A. Quaggio & A. T. Rigolin. 2003. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. Nutrient Cycling in Agroecosystems 67: 215–223.
- Correa, R.; F. Sosa; J. Romero; A. Sanzano y H. Rojas Quinteros. 2016. Pérdidas de nitrógeno por volatilización en distintas fuentes nitrogenadas en limonero (*Citrus limón*) en Tucumán. Actas XXV Congr. Arg. de la Ci. del Suelo. https://www.unrc.edu.ar/unrc/comunicacion/editorial/repositorio/ 978- 987-688-173-9. pdf. 02/03/2018.
- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada & C. W. Robledo. 2009. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Echeverria, H.E. y H.R. Sáinz Rozas. 2005. Nitrógeno. En: H. E. Echeverría y F. O. Garcia (eds.). Fertilidad de suelos y fertilización de los cultivos. Ediciones INTA, pp. 69-97.
- Ferraris, G. N.; G. Elías & M. L. Galetto. 2014. Pérdidas de nitrógeno por volatilización en maíces tardíos en Pergamino. Efectos de fuente y dosis. Congr. Nac. de Maíz. 2014. Rosario, Argentina.
- Figueroa, L.R.; C.F. Hernández y M. Morandini. 2003. Acidificación de suelos causada por aplicaciones de urea en quinta de limoneros. Parte II. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 80 (1-2): 25-31.
- Figueroa, D.; G. de Athayde Moncorvo; S. Eleas; M. Morandini; R. Correa & H. Salas. 2016 Experience of nutrition of citrus under conditions of dry land in Tucumán, Argentina. Abstract book, ICC 2016: 163-164.
- Freney, J.R.; O.T Denmead, A.W. Wood; P.G. Saffigna; L.S. Chapman; G.J. Ham; A.P. Hurney; & R.L. Stewart. 1992. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. Fertilizer Research, 31(3): 341-349.
- García, F. O. 1996. El ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, INTA, Centro Regional Buenos Aires Sur, Est. Ex. Agr. Balcarce.
- Grant, C. A., K. R. Brown, L. D. Bailey, & S. Jia. 1996. Volatile losses of NH3 from surface-applied urea and urea ammonium nitrate with and without the urease inhibitors NBPT or ammonium thiosulphate. Can. J. Soil Sci. 76, no. 3: 417-419.

- Hernández, C.F. y R. L. Figueroa. 2005. Citrus. En H.E. Echeverría y F.O. García (eds.). Fertilidad de suelos y fertilización de los cultivos. Ediciones INTA, pp. 425-444.
- Hernández, C.F.; F. Sosa, C. Sotomayor, J. I. Romero, G. A. Sanzano, H. Salas, M. Morandini y H. Rojas Quinteros. 2010. Fertilización nitrogenada en limonero Lisboa Limoneira 8A sobre Flying Dragon (Hiryo) en la provincia de Tucumán. Actas del VI Congreso argentino de citricultura – Tucumán: 77-78
- Mattos Jr, D. (a); A. K. Alva; S. Paramasivam; & D. A. Graetz. 2003. Nitrogen volatilization and mineralization in a sandy Entisol of Florida under citrus. Soil sci. and plant analysis, 34(13-14), 1803-1824.
- Mattos Jr, D. (b); D.A. Graetz & A.K. Alva. 2003. Biomass distribution and nitrogen-15 partitioning in citrus trees on a sandy entisol. Soil Science Society of America Journal 67, no. 2: 555-563.
- Milchunas, D. G.; W.J. Parton; D.S. Bigelow & D.S. Schimel. 1988. Factors influencing ammonia volatilization from urea in soils of the shortgrass steppe. Journal of Atmospheric Chemistry, 6(4), 323-340.
- Nommik, H. 1973. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. Plant Soil. 39: 309-318.
- Mira, A. B.; H. Cantarella; G. J. M. Souza-Netto; L. A. Moreira; M. Y. Kamogawa, & R. Otto. 2017. Optimizing urease inhibitor usage to reduce ammonia emission following urea application over crop residues. Agriculture, Ecosystems & Environment 248: 105-112.
- Pan, B., Lam, S. K., Mosier, A., Luo, Y., & Chen, D. 2016. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: a global synthesis. Agriculture, Ecosystems & Environment. 232: 283-289.
- Paramasivam, S.; Alva, A. K.; Fares, A. & K. S. Sajwan. 2001. Estimation of Nitrate Leaching in an Entisol under Optimum Citrus Production. Soil Sci. Soc. Am. J. 65:914–92.
- Quiñones, A.; B. Martínez-Alcántara; E. Primo-Millo & F. Legaz. 2012. Fertigation: Concept and Application in Citrus. In Srivastava, A.K. Advances in Citrus Nutrition. 281-301 Springer Science+Business Media. 475 Pp.
- Serna, M. D.; R. Borras; F. Legaz, & E. Primo-Millo. 1992. The influence of nitrogen concentration and ammonium/nitrate ratio on N-uptake, mineral composition and yield of citrus. Plant and Soil 147, no.1: 13-23.
- Sharpe, R.R. & L.A. Harper. 1995. Soil, plant and atmospheric conditions as they relate to ammonia volatilization. Fertilizer Research 42: 149-158.
- Sommer, S.G. & C. Jensen. 1994. Ammonia volatilization from urea and ammoniacal fertilizers surface applied to winter wheat and grassland. Fertilizer Research 37: 85-92
- Sommer, S.G.; J.K. Schjoerring & O.T. Denmead. 2004. Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. Advances in agronomy, 82 (5577622), pp.82008-4.
- Terman, G.L. 1979. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. Advances in agronomy. Vol. 31. Academic Press, 1980. 189-223.
- Velthtof, G. L.; O. Oenema; J. Postmus; W. H. Prins. 1990. In situ field measurements of ammonia volatilization from urea and calcium ammonium nitrate applied to grassland. Meststoffen (1/2): 41-45.
- Videla C. 1995. La volatilización de amoníaco: una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. Boletín Técnico 131. EEA INTA Balcarce.
- Yan, L.; Z. Zhang; Y. Chen; Q. Gao; W. Lu; and A.M. Abdelrahman. 2016. Effect of water and temperature on ammonia volatilization of maize straw returning. Toxicological & Environmental Chemistry 98, no. 5-6: 638-647.
- Zekri, M.; C. Oswalt; S. Futch; G. England; C. McAvoy; L. Hurner; & P. Platts. 2016. Freeze Damage Symptoms and Recovery for Citrus. UF/IFAS. http://edis.ifas.ufl.edu. 02/06/2017.
- Zucardi, R. y G. Fadda. 1985. Bosquejo agroecológico de la provincia de Tucumán. Miscelánea 86 - UNT. Facultad de Agronomía y Zootecnia.

C3P26. DIAGNÓSTICO DE FERTILIDAD EN SUELOS BAJO PRODUCCIÓN ORGÁNICA EXTENSIVA: UN CASO DE ESTUDIO

De Siervi, Marcelo; Grandoli, Ivan y Tolaba Tugues, Maria Ayelen

Cátedra de Química Analítica - Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente – FAUBA – Av. San Martín 4453 - C1417DSE - Buenos Aires – Argentina - desiervi@agro.uba.ar

RESUMEN

La producción orgánica se basa en la aplicación de un conjunto de técnicas tendientes a mantener o aumentar la fertilidad del suelo y la diversidad biológica, y que permitan proteger a los cultivos y animales de plagas, malezas y enfermedades bajo un nivel tal que no provoquen daños económicos, sin aplicar ningún tipo de insumo de origen sintético. El diagnóstico de la fertilidad de los suelos de sistemas orgánicos mixtos (agricolo-ganaderos) de producción extensiva en la llanura Chaco-Pampeana resulta un item ineludible para garantizar la sustentabilidad de estos sistemas de producción ya que el recurso suelo representa un pilar sobre el que debe basarse la productividad, y por lo tanto significa para estos sistemas un capital fundamental. El objetivo de este trabajo fue caracterizar algunos indicadores de calidad de suelo en lotes donde se lleva a cabo agricultura y ganadería orgánica desde hace más de veinte años para evaluar el impacto de las prácticas de manejo utilizadas en ese período. El muestreo se realizó en lotes de un establecimiento ubicado en Arias, Pcia.de Córdoba. El muestreo se realizó lotes seleccionados según su posición en la secuencia de rotación agrícolo-ganadera y en dos clausuras que representaban a los dos tipos de suelos presentes en los lotes, que sirvieron de testigos de una situación considerada pristina, sin ningún tipo de utilización productiva en los últimos 50 años. Se procedió a tomar muestras compuestas superficiales para realizar su caracterización físicoquimica. Los resultados obtenidos demostraron que en el caso de la Materia Orgánica edáfica, una de las clausuras poseía un nivel significativamente superior al de los lotes muestreados, mientras que la otra no presentaba diferencia. La misma tendencia se observa para el parámetro Nitrógeno Kjeldahl. Sin embargo, los niveles de P Bray de los lotes en producción son significativamente menores a los niveles de las clausuras, lo que denotaría un claro proceso de extracción de este nutriente durante décadas de explotación agrícola sin reponer los nutrientes extraidos por las cosechas, ya que la normativa orgánica vigente prohibe la utilización de productos de síntesis (léase fertilizantes inorgánicos) para mantener los niveles de fertilidad. Podría concluirse que en sistemas de producción orgánica extensiva agrícolo-ganadera se hace imprescindible encontrar las estrategias adecuadas para el mantenimiento de los niveles de P disponible para los cultivos en orden de garantizar la sustentabilidad de los mismos, ya que el ciclo de este elemento no incluye una fase gaseosa como en el caso del Nitrógeno.

Palabras Claves: Suelo, Producción orgánica extensiva, nutrientes.

C3P27.CAMBIOS EN UN ARGIUDOL AL IMPLEMENTAR SISTEMAS AGRICOLAS INTENSIFICADOS

[1]Díaz-Zorita, Martín; [2]Poggio, Santiago L. y [1]Peper, Alberto M.

[1]Desarrollo de Tecnologías en Monsanto, Parque Industrial Pilar Calle 10 753, CP (1629)-Pilar, Buenos Aires, Argentina., martin.diaz.zorita@monsanto.com , [2]IFEVA, Universidad de Buenos Aires, CONICET, Facultad de Agronomía, Cátedra de Producción Vegetal, spoggio@agro.uba.ar

RESUMEN

Establecer sistemas sustentables de producción de cultivos requiere intensificar tanto su manejo como el uso de la tierra, reduciendo los impactos ambientales y los riesgos económicos. En la región pampeana, aunque abundan estudios de respuestas anuales a la intensificación de cultivos individuales, los de efectos de secuencias integradas sobre la fertilidad de los suelos son escasos. Nuestro objetivo fue cuantificar cambios en un Argiudol típico durante los primeros años de instalación de sistemas agrícolas de secano con diferentes niveles de intensificación. El estudio se desarrolló en Pergamino (Bs.As.) sobre tres secuencias agrícolas de secano (soja, soja-maíz y maíz-soja-trigo/soja) en combinación con dos sistemas de manejo anual con y sin la inclusión de cultivos de cobertura invernal. Los sistemas de manejo anual fueron (i) las prácticas del agricultor promedio de la región y (ii) el manejo intensificado sustentable, que integra genotipos y estructuras de cultivos adaptadas a las condiciones ambientales, estrategias de fertilización de la rotación y de manejo de factores reductores del rendimiento. Al iniciar y luego del tercer año de instalados se tomaron muestras compuestas de los suelos para evaluar los contenidos de materia orgánica, pH y niveles extractables de fósforo, cationes, nitratos y sulfatos. Resultados de otras evaluaciones mostraron diferentes niveles de aportes de biomasa de los cultivos y de extracción tanto de granos como de nutrientes entre los tratamientos de intensificación estudiados. Los contenidos de materia orgánica y niveles de nitratos no variaron durante la etapa evaluada. En cambio, los niveles extractables de sulfatos, fósforo, de calcio y de potasio y los valores de pH disminuyeron en todos los tratamientos, aún al incrementar la aplicación de nutrientes en el sistema intensificado. Para aplicar esta estrategia en sistemas agrícolas pampeanos se requiere considerar integralmente la nutrición para promover condiciones favorables de producción anticipando potenciales limitaciones al normal crecimiento de los cultivos.

Palabras claves: Rotaciones con cultivos de cobertura, producción en secano, fertilización

INTRODUCCIÓN

Diseñar sistemas sustentables para la producción de cultivos de altos rendimientos requiere de la intensificación en el uso de la tierra reduciendo, simultáneamente, impactos tanto sobre el medioambiente como en los riesgos económicos. La intensificación de la agricultura no sólo es alcanzable incrementando el uso de insumos por unidad de superficie (intensificación agrícola del tipo I), sino también aumentando la proporción de la estación del crecimiento que es ocupada por cultivos anuales en crecimiento (intensificación agrícola del tipo II). En el primer tipo de intensificación, las decisiones de manejo de los cultivos se toman en cada campaña agrícola, considerando, por ejemplo, la selección de genotipos, fechas y densidades de siembra, manejo de la fertilización e irrigación y la protección de los cultivos. En cambio, el segundo tipo de intensificación implica tanto la intensificación como la diversificación del sistema de cultivos, incorporando cultivos de cobertura y cultivos dobles en las secuencias. Aunque abundan los estudios que muestran la posibilidad de implementación de ambos tipos de intensificación en sistemas agrícolas pampeanos, son menos frecuentes los estudios que analizan los cambios en la fertilidad de los suelos que resultan de establecer sistemas intensificados integrales. Algunos de estos estudios describen los efectos acumulados en el tiempo de la aplicación de prácticas individuales tales como la fertilización validando la implementación de estrategias de manejo bajo criterios de reposición y enriquecimiento (Barraco *et al*., 2014; Correndo *et al*,. 2015).

La combinación de prácticas puede mejorar la eficiencia de uso de recursos en secuencias aun cuando la cantidad de insumos aplicados se incrementa (Caviglia *et al.*, 2017) pudiendo requerir revisar los criterios de diagnóstico y manejo de estrategias de nutrición de cultivos (Leikam *et al.*, 2010). Por lo tanto, se especula que durante la implementación de estos sistemas al aumentar la producción de los cultivos se identifiquen cambios en indicadores de fertilidad de suelos que contribuyan a perfeccionar los planteos sustentables de intensificación ligados al manejo integral de los nutrientes. La

intensificación en sistemas agrícolas, al incrementar los aportes de biomasa y de nutrientes, generaría mayor extracción productiva, aumentando los niveles de extracción de fósforo y de cationes y la acidificación del suelo, en comparación con sistemas bajo prácticas menos intensivas. Nuestro objetivo fue cuantificar los aportes de nutrientes, su extracción acumulada y cambios en propiedades de un Argiudol típico según diferentes niveles de intensificación para la producción de cultivos de cosecha al instalar sistemas de secano de la región pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue instalado en la campaña agrícola 2013/14 en el establecimiento "Don Eduardo", próximo a Pergamino (Buenos Aires, Argentina, 33° 51' 55.7" S; 60° 40' 28.39" O) en un lote bajo prácticas agrícolas en labranza cero de larga duración sobre un suelo clasificado como Argiduol típico serie Pergamino.

Se establecieron tres secuencias agrícolas [monocultivo de soja [*Glycine max*(L.) Merrill], secuencia simple soja-maíz (*Zea mays* L.) y secuencia intensificada soja-trigo (*Triticum aestivum* L.)/soja de segunda-maíz en combinación con dos sistemas de intensificación en el manejo anual de los cultivos (MAP = manejo del agricultor promedio y MIS = manejo intensificado sustentable) con y sin la inclusión de cultivos de cobertura invernal consociados de triticale (*Triticum aestivum x Secale cereale*) y de vicia (*Vicia villosa*). La secuencia continua de soja sólo se realizó sin inclusión del manejo intensificado sustentable. Los tratamientos de intensificación en el manejo anual de los cultivos (MAP y MIS) se diferenciaron principalmente por los genotipos cultivados, la estructura del cultivo y el manejo de la fertilización y de los factores reductores del rendimiento. El tratamiento MAP reflejó las practicas del productor promedio de la región, mientras que el sistema MIS integra genotipos y estructuras de cultivos adaptadas a las condiciones ambientales, estrategias de fertilización de la rotación con productos comerciales que contienen nitrógeno, fósforo y azufre, así como estrategias de buenas prácticas de manejo de los factores reductores del rendimiento. En promedio para las tres secuencias de cultivos, e independientemente de la inclusión de cultivos de cobertura, en los tratamientos con MIS se aplicaron 83 kg ha^{-1} más de nitrógeno que bajo MAP, 29 kg ha^{-1} más de fósforo y 46 kg ha^{-1} más de azufre. En todos los tratamientos, las semillas de los cultivos de soja fueron tratadas con fungicidas e inoculantes comerciales conteniendo cepas de *Bradyrhizobium japonicum*.y los de vicia con *Rhizobium spp*.. Todos los tratamientos se mantuvieron libres de malezas, plagas y enfermedades implementando prácticas de diagnóstico y de control aplicadas en sistemas de manejo de cultivos de alta producción en la región. Resultados de otras evaluaciones mostraron diferentes niveles de aportes de biomasa de los cultivos y de extracción tanto de granos como de nutrientes entre los tratamientos de intensificación estudiados.

Al inicio del experimento y luego de finalizado el tercer año, se tomaron muestras de la capa de 0 a 20 cm de los suelos para la determinación de los niveles de materia orgánica total, pH en agua y niveles de fósforo y cationes extractables según el método de Mehlich III. Se evaluaron los niveles extractables de nitratos y de sulfatos en muestras hasta los 60 cm de profundidad. Los valores de densidad aparente en cada tratamiento fueron determinados (método del cilindro) sólo luego del tercer ciclo productivo. En todos los casos, las evaluaciones se realizaron durante el mes de junio. Anualmente se realizó la cosecha mecánica de los cultivos en estadios de madurez comercial determinándose además la concentración de nitrógeno, de fósforo y de azufre en los granos.

El diseño experimental fue en bloques completos con 66 parcelas de 728 m^2 divididas según la inclusión de los cultivos de cobertura y con tres repeticiones. Para el análisis de los resultados se emplearon ANVA y la prueba de comparación de diferencia mínima significativa protegida utilizando el programa Statistics 9 (Analytical Software, 2008). En el caso de los análisis de niveles de nitratos y de sulfatos se realizó independientemente según el cultivo antecesor y como el estudio se instaló luego de un cultivo de soja las comparaciones entre momentos de evaluación solo consideraron este cultivo como antecesor para la evaluación de los cambios con respecto al estado inicial del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los niveles de las propiedades edáficas mostraron diferentes comportamientos entre su condición al inicio del estudio y luego de tres años de iniciadas secuencias agrícolas intensificadas dependiendo del tipo de manejo de los cultivos (MAP o MIS) en interacción con la presencia de cultivos de cobertura invernal. En general, el pH y los niveles extractables de P, Ca y K disminuyeron con respecto a su condición al inicio del estudio (Tabla 1). En el caso del P, la instalación de sistemas de manejo promedio mostró mayor magnitud en la reducción de sus niveles extractables (aproximadamente 30 %, equivalente a 1,7 mg kg^{-1} $año^{-1}$) que en el caso sistemas intensificados (Tabla 1). En promedio para todos los tratamientos de manejo, los niveles de Ca extractable fueron 34 % menores y los de K entre 8 % en ausencia de cultivos de cobertura o 16 % al incluirlos (Tabla 1). La información disponible no fue suficiente para

describir cambios en los niveles de extractables de P bajo MIS sin cultivos de cobertura ni en los contenidos de materia orgánica o en niveles extractables de Mg en todos los sistemas estudiados.

Tabla 1: Niveles medios de propiedades en la capa de 0 a 20 cm de un Argiudol típico en secuencias agrícolas según tratamientos de intensificación en el manejo anual de los cultivos y uso de cultivos de cobertura evaluados al inicio y luego de 3 años (Final). MAP = manejo anual promedio, MIS = manejo intensificado sustentable, MO = materia orgánica, Pe = fósforo extractable. En cada variable, letras distintas en sentido vertical indican diferencias entre momentos de evaluación dentro de tratamiento de manejo (p<0,10).

		Cultivo de cobertura			
		NO		**SI**	
Variable	**Evaluación**	**MAP**	**MIS**	**MAP**	**MIS**
MO (g kg^{-1})	Inicial	25,9 a	25,8 a	25,9 a	25,3 a
	Final	26,6 a	26,4 a	26,4 a	25,9 a
pH	Inicial	6,0 **a**	6,0 **a**	6,0 **a**	6,0 **a**
	Final	5,9 **b**	5,9 **b**	5,9 **a**	5,9 **b**
Pe (mg kg^{-1})	Inicial	15,5 **a**	16,6 a	15,6 **a**	15,0 **a**
	Final	10,8 **b**	14,1 a	10,2 **b**	12,7 **b**
Ca (mg kg^{-1})	Inicial	2151 **a**	2099 **a**	2314 **a**	2227 **a**
	Final	1441 **b**	1444 **b**	1409 **b**	1432 **b**
K (mg kg^{-1})	Inicial	443 a	441 **a**	445 **a**	426 **a**
	Final	411 a	402 **b**	364 **b**	362 **b**
Mg (mg kg^{-1})	Inicial	158 a	158 a	152 a	170 a
	Final	168 a	173 a	168 a	172 a

En promedio, la oferta de nitrógeno evaluada hasta 60 cm de profundidad fue de 47,3 kg ha^{-1} independientemente del momento y tratamiento evaluado mientras que los de azufre fueron de 46,6 kg ha^{-1} con diferencias entre momentos de evaluación y tratamientos de intensificación (Tabla 2). Los niveles extractables de sulfatos evaluados disminuyeron con respecto a los determinados al iniciar el estudio, principalmente, para ambos sistemas de intensificación cuando se incluyeron cultivos de cobertura en las rotaciones. La concentración de azufre en forma de sulfatos varió entre 3,6 y 8,3 mg kg^{-1} dependiendo de la profundidad de muestreo, el sistema productivo y el momento de la evaluación. La reducción descripta en la oferta de azufre fue mayormente explicada por los cambios en las capas superficiales de los suelos (Fig. 1).

Tabla 2: Niveles medios de nitratos y de sulfatos en la capa de 0 a 60 cm de un Argiudol típico en secuencias agrícolas según tratamientos de intensificación en el manejo anual de los cultivos y uso de cultivos de cobertura evaluados al inicio y luego de 3 años (Final). MAP = manejo anual promedio, MIS = manejo intensificado sustentable. En cada variable, letras distintas en sentido vertical indican diferencias entre momentos de evaluación dentro de tratamiento de manejo (p<0,10).

		Cultivo de cobertura			
		NO		**SI**	
Variable	**Evaluación**	**MAP**	**MIS**	**MAP**	**MIS**
N-$_{NO3}$ (kg ha^{-1})	Inicial	46,8 a	46,6 a	50,4 a	46,4 a
	Final	42,8 a	45,8 a	48,7 a	50,4 a
S-$_{SO4}$ (kg ha^{-1})	Inicial	44,4 a	48,0 a	49,5 a	54,6 **a**
	Final	43,4 a	46,3 a	44,7 a	44,1 **b**

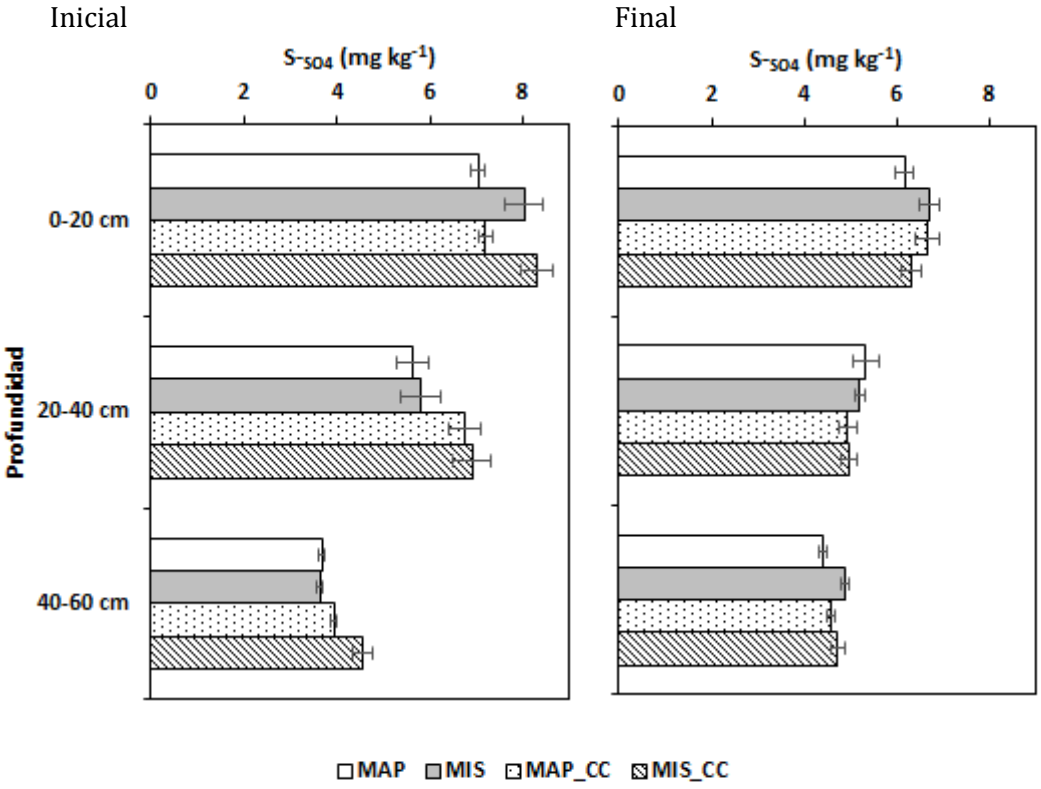


Figura 1: Distribución vertical de azufre extraído de un Argiudol típico en secuencias agrícolas según tratamientos de intensificación en el manejo anual de los cultivos y de uso de cultivos de cobertura evaluados al inicio y luego de 3 años (final). MAP = manejo anual promedio, MIS = manejo intensificado sustentable, CC = con cultivos de cobertura invernal. Las barras muestran el error estándar de los promedios cada tratamiento de intensificación y profundidad evaluada.

La mayor producción de granos se relacionó en forma menos que proporcional con la extracción de nutrientes sugiriendo que la combinación de decisiones de manejo anual de los cultivos mejoró la eficiencia media de aprovechamiento de los nutrientes-azufre y del fósforo. Esto condujo a la estimación de balances aparentes de nutrientes negativos durante la etapa de implementación de estos sistemas, aún en el caso del manejo intensificado donde se aplicaron mayores niveles de fertilización. Estas diferencias se relacionaron con las observaciones de niveles extractable de P en los suelos donde en condiciones de manejo promedio de los cultivos la reducción fue de mayor magnitud que la descripta para los sistemas intensificados. Sin embargo, la magnitud de disminución descripta en ambos tratamientos de manejo fue superior a la descripta en estudios de la región pampeana (Díaz-Zorita, 2012). Algunos estudios realizados en la región indican que la implementación de prácticas agrícolas explicaría además de la reducción en los niveles extractables fósforo, los de otros varios cationes (Sainz Rozas *et al.*, 2013). En este estudio describimos que al incrementarse la producción de granos por intensificación en el manejo anual de los cultivos se reducen los niveles extractables de calcio y de potasio, no así los de magnesio (Tabla 1). Si bien, los niveles observados de estos elementos luego de 3 años de instalados los estudios no sugieren potenciales limitaciones a la producción de cultivos sería conveniente su consideración y exploración de sus aportes al diseñar planteos intensificados de largo plazo. Coincidentemente con lo descripto por Iturri *et al.* (2011), la implementación de sistemas agrícolas de alta producción por incorporación de prácticas de labranza cero en ambientes bajo laboreo o de mejoras en la estrategia de fertilización mostró reducciones en los valores de acidez de la capa superficial de los suelos.

La magnitud acumulada en los aportes de biomasa de los cultivos sería insuficiente para la observación en diferencias en los contenidos totales de materia orgánica en la capa evaluada de los suelos. Luego de 10 años de prácticas de labranza cero sobre sistemas agrícolas estabilizados se describieron modificaciones en la materia orgánica en las capas superficiales de los suelos y principalmente al considerar la evaluación de fracciones de reciente deposición (Zanettini *et al.*, 2017). La evaluación de diferencias en los niveles extraídos de nitratos y de sulfatos contribuye indirectamente a valorar aportes de la fracción orgánica de los suelos. La reducción en la disponibilidad de azufre se relacionaría con el aporte insuficiente de este elemento al fertilizar y la potencial limitación en la composición de los residuos orgánicos mineralizados.

Los cambios descriptos en algunas propiedades de este Argiudol típico sugieren que aún en etapas iniciales de implementación de sistemas intensificados de producción se generan modificaciones que si se acentúan podrían interferir en la normal producción de los cultivos. Entre estas se encontrarían los aportes de elementos tales como el azufre, cationes y fósforo. Además, para anticipar potenciales cambios en la actividad del suelo en relación a procesos vinculados al ciclado de materia orgánica sería conveniente considerar, en capas de menor espesor, otros indicadores tales como la potencialidad de mineralización del nitrógeno, fracciones de materia orgánica o la diversidad y funcionalidad de la microflora edáfica. Por ejemplo, Cofré *et al.* (2017) identificaron que en la región pampeana la evaluación en los suelos de comunidades de esporas de hongos de micorrizas arbusculares y de ácidos grasos son potenciales indicadores del tipo de manejo de suelos según diferentes niveles de secuencias de cultivos bajo labranza cero.

CONCLUSIONES

Los mayores rendimientos se relacionaron con aumentos menos que proporcionales sobre la extracción de nitrógeno, fosforo y azufre aumentando así su eficiencia de uso e indicando la importancia de implementación integral de decisiones de intensificación por sobre ajustes independientes de nutrición.

Los niveles extractables de azufre, fósforo, calcio y potasio y los niveles de pH disminuyeron al aumentar la producción indicando la intensificación en los sistemas agrícolas requiere de la consideración integral de la nutrición para el logro de condiciones favorables de producción anticipando potenciales limitaciones al normal crecimiento de los cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Analytical Software. 2008. Statistix® 9 User's manual. Analytical Software. Tallahassee, FL. USA. 454 pp.
- Barraco, M.; M Díaz-Zorita; C Justo & A Lardone. 2014. ¿Fertilización fosfatada por suficiencia o mantenimiento en secuencias agrícolas de la pampa arenosa? En: Actas del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo - II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Producción sustentable en ambientes frágiles. AACS (ed.), Bahía Blanca, Bs. As., 5-9 mayo. 2014. AACS. Argentina.
- Caviglia, O. 2017. Uso de recursos en diferentes sistemas de producción con énfasis en la pampa húmeda Argentina. III Workshop Internacional de Ecofisiología de cultivos, Mar del Plata (BA, Argentina), 28-29 de septiembre del 2017. http://www.ecofisiovegetal.com.ar/presentaciones/09.-%20CAVIGLIA%20-%20III%20Workshop%20Ecofisiolog+%C2%A1a%20Vegetal%20-%202017.pdf. (fecha de consulta 14 de marzo del 2018).
- Cofré, MN; AE Ferrari; A Becerra; L Dominguez; LG Wall & C Urcelay. 2017. Effects of cropping systems under no-till agriculture on arbuscular mycorrhizal fungi in Argentinean Pampas. Soil Use and Management 33: 364-378.
- Correndo AA, M Boxler & FO García, 2015. Análisis económico del manejo de la fertilización con enfoque en el largo plazo. Cienc. Suelo (Argentina) 33:197-212.
- Díaz-Zorita, M. 2012. Soil productivity from the sandy pampas region under the present agricultural conditions. Agrociencia Uruguay, Special Issue 84-88.
- Iturri, LA; DE Buschiazzo & M Díaz-Zorita. 2011. Evidencias de acidificación de suelos de la región central de la argentina bajo siembra directa. Cienc. Suelo (Argentina) 29: 13-16.
- Leikam, D; G Randall & A Mallarino. 2010. Are current soil test–based phosphorus and potassium fertilizer recommendations adequate? Crops and Soils 43: 27-32.
- Sainz Rozas H; M Eyherabide; HE Echeverría; P Barbieri; H Angelini; GE Larrea; GN Ferraris & M Barraco. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? Simposio Fertilidad 2013. IPNI-Fertilizar AC. Rosario, Santa Fe.
- Zanettini, J; M Barraco & M Díaz-Zorita. 2017. Diez años de siembra directa en un Hapludol de la Pampa Arenosa con diferentes condiciones iniciales de uso. En Salvagiotti, F., H. Krüger & G. Studdert (eds), Ensayos de larga duración en Argentina: un aporte al logro de sistemas agrícolas sustentables, Ediciones INTA. Libro digital, PDF. 219-234 pp. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta.ensayos-larga-duracion-argentina.pdf (fecha de consulta 14 de marzo del 2018).

C3P28. APLICACIÓN DE ESTIÉRCOL DE FEEDLOT: EFECTO SOBRE EL CULTIVO DE MAÍZ Y ALGUNAS PROPIEDADES DE SUELO

Diez, Marianela[1]; Lardone, Andrea[2]; Barraco, Mirian[1]; Sardiña, Cecilia[1] y Méndez, Daniel[1].
[1]EEA INTA General Villegas, San Martín 26, (6230) General Villegas, (BA). 54-3388-494625, [2]AER INTA Canals.
e-mail: diez.marianela@inta.gob.ar

RESUMEN

En los sistemas de alimentación intensiva de bovinos a corral (feedlot) uno de los aspectos con implicancia ambiental es el destino de las excretas, sólidas y líquidas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del estiércol obtenido del barrido de corrales, y el efecto de su aplicación sobre el rendimiento del cultivo de maíz y algunas propiedades edáficas. En la campaña 2015/2016 se realizó un ensayo en el establecimiento "Agropecuaria La Criolla S.A." donde se evaluaron 4 dosis de estiércol fresco: 0, 10000, 20000 y 40000 kg ha^{-1}, aplicadas quince días posteriores a la siembra de maíz. Se caracterizó el material aplicado, se evaluó la respuesta del cultivo, y algunas propiedades del suelo. El estiércol contenía 58,8% de sólidos totales, 260 g kg^{-1} de materia orgánica (MO), 18 g kg^{-1} de Nitrógeno total (Nt), 5 g kg^{-1} de Fósforo total (Pt) y un pH de 7,6. No se observó efecto de la aplicación de estiércol sobre la producción de forraje y de grano de maíz. Las propiedades edáficas que se modificaron por la aplicación del estiércol fueron el contenido nitrógeno de nitratos (medido a 38 días de la aplicación), y la conductividad eléctrica, el pH, la MO, el Pt, el Potasio, el Sodio y el porcentaje de Sodio de intercambio (medidos a 165 días de la aplicación). Estos resultados destacan la importancia de los estudios de largo plazo para evaluar la evolución de los parámetros edáficos y los posibles efectos sobre los cultivos siguientes en la rotación.

Palabras claves: **utilización de efluentes, nutrientes, conductividad eléctrica**

INTRODUCCIÓN

La preocupación actual respecto a los residuos producidos en sistemas de producción animal intensiva surge a partir del riesgo de contaminación de los recursos naturales, en especial el agua (Andriulo *et al.*, 2003; Sardi, 2014). El volumen de estiércol generado depende de la cantidad de animales del sistema, donde un novillo de 450 kg de peso vivo produce diariamente en promedio 27 kg ± 6,75 de excrementos húmedos (heces y orina), (Pordomingo, 2009). El estiércol sólido proveniente del barrido de corrales puede ser procesado a través de la técnica de compostaje o utilizado directamente sobre lotes de producción. Existen estudios que muestran efectos variables del agregado de estiércol tanto sobre la producción de los cultivos como sobre las propiedades del suelo (Khan *et al*., 2007; Sosa, 2010), debido entre otras cosas a la composición del producto aplicado.

En este contexto surge la necesidad de generar información sobre el efecto de la aplicación de estiércol en lotes de producción de la Pampa Arenosa definiendo su posible uso como fertilizante o abono. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del estiércol obtenido del barrido de corrales, y el efecto de su aplicación sobre la productividad del cultivo de maíz y algunas propiedades edáficas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 2015/2016 se instaló un ensayo sobre un suelo Hapludol entico en el establecimiento de "Agropecuaria La Criolla S.A." (Fortín Olavarría, Buenos Aires -S35º 40´31,95`` O63º4`9,51``). El 01/10/2015 se sembró un cultivo de maíz (DK 72-10 VT3), a razón de 76000 sem ha^{-1}, con la aplicación de 13 kg ha^{-1} de P en forma de fosfato monoamónico incorporado al costado de la línea de siembra. El cultivo además se fertilizó con 55 kg ha^{-1} de N en forma de urea con agrotrain (inhibidor de ureasa) el día 05/12/2016 al voleo.

Los tratamientos consistieron en la aplicación de cuatro dosis de estiércol fresco: 0, 10000, 20000, y 40000 kg ha^{-1}. El día 02/10/2015 se realizó el barrido de un corral de terminación, siguiendo las buenas prácticas de manejo recomendadas por Pordomingo (2009). El material se acopió en el lote y el 16/10/2015 se aplicaron los tratamientos en forma manual, simulando una desparramadora mecánica.

De la pila de estiércol se evaluó el contenido de sólidos totales (ST), y su composición química [materia orgánica (MO), pH, nitrógeno total (Nt), fósforo total (Pt)]. En el suelo se determinó la clase textural, el pH, la conductividad

eléctrica (CE), la MO, el Nt, el fósforo extractable (Pe), el Calcio (Ca), el Magnesio (Mg), el Potasio (K), el Sodio (Na) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), en dos profundidades de suelo (0-10 y 10-20 cm), y en dos momentos (previo a la aplicación de los tratamientos y en madurez fisiológica del cultivo). Al momento de la siembra se determinó la cantidad de agua en el suelo hasta los 200 cm por el método gravimétrico. En estado de 6 hojas del cultivo se determinó el contenido de nitrógeno de nitratos ($N\text{-}N0_3$) en tres profundidades de suelo (0-20, 20-40 y 40-60 cm) y en ⅓ de línea de leche se evaluó producción de materia verde (MV) y de materia seca (MS). En madurez fisiológica se determinó el rendimiento de grano y el contenido de proteína de los granos.

Se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizados, con 3 repeticiones y parcelas de 22 m^2. Los resultados se analizaron mediante ANOVA y prueba de diferencias de medias (LSD Fisher) con el software estadístico InfoStat (Di Rienzo, et al., 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del estiércol aplicado, del suelo y condiciones climáticas

El contenido de ST del estiércol fue de 585 g kg^{-1}, 260 g kg^{-1} de MO; 18 g kg^{-1} de Nt; 5,0 g kg^{-1} de Pt y 7,6 de pH. De acuerdo a la composición química del estiércol aplicado (el aporte de N y P fue de 105, 209 y 419 kg N ha^{-1}, y de 30, 59 y 118 kg P ha^{-1}, para las dosis de 10000, 20000 y 40000 kg ha^{-1}, respectivamente.

El suelo es de textura superficial franco arenosa (618, 263 y 120 g kg^{-1} de arena, limo y arcilla, respectivamente) y sin limitantes en el perfil hasta los 200 cm de profundidad. No se observaron limitantes químicas para la producción del cultivo de maíz, con niveles adecuados de MO y Pe, y bajos niveles en la CE y PSI del suelo (Tabla 1). El contenido de agua disponible en el suelo hasta los 200 cm de profundidad (medida a la emergencia del cultivo) fue de 248 mm.

Tabla 1. Caracterización inicial del suelo previo a la aplicación del estiércol: pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), Nitrógeno total (Nt), Fósforo extractable (Pe), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI), en las capas de 0-10 y 10-20 cm de profundidad.

Prof	pH	CE	MO	Nt	Pe	Ca	Mg	K	Na	PSI
cm		dS m^{-1}	g kg^{-1}		mg kg^{-1}	meq 100 g^{-1}				%
0-10	5,90	0,60	22,1	1,2	28,40	446	5,13	1,73	1,79	0,04
10-20	6,10	0,40	14,7	0,9	8,20	365	5,04	1,57	1,62	0,05

Durante el ciclo del cultivo (octubre-abril) se registraron 784 mm (media histórica= 679 mm) y en el período de floración las precipitaciones registradas superaron en un 62% al valor histórico (Figura 1). La capa freática fluctuó entre 2,1 y 2,6 m a lo largo del estudio.

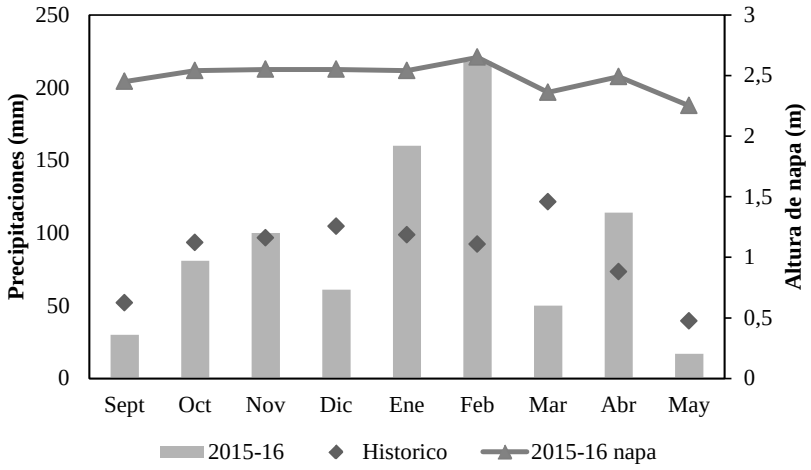


Figura 1: Precipitaciones mensuales registradas en el período 2015/2016 y el promedio histórico (1896/2015), y profundidad a la napa, registrada en freatímetro distante a 500 m del ensayo. Fuente: Agropecuaria La Criolla S.A.

Productividad del cultivo de maíz

La aplicación de estiércol al suelo no produjo diferencias significativas en la producción de biomasa en estado de ⅓ de línea de leche, medida como MV (p=0,26), y MS (p=0,42), con valores promedios de 68258 y 29047 kg ha^{-1} de MV y MS, respectivamente. El rendimiento en grano fue en promedio de 13587 kg ha^{-1} y no se observaron diferencias entre las dosis de estiércol aplicadas (p=0,66) (datos por tratamientos no presentados). Tampoco el contenido de proteína de los granos se modificó según los tratamientos evaluados (p=0,86), y fue en promedio de 7,79%.

Propiedades de suelo

Los contenidos de N-NO_3^- en suelo (medidos a los 38 días de la aplicación) en la capa superficial (0-20 cm) fueron mayores en los tratamientos con aplicación de estiércol respecto al testigo sin aplicación (p<0,01), (Figura 2). En la capa de 20-40 cm las dosis de 20000 y 40000 kg ha^{-1} presentaron mayores contenidos de N-NO_3^- que el testigo, mientras que la dosis de 10000 kg ha^{-1} presentó un contenido intermedio (p=0,10). En la capa de 40-60 cm los contenidos resultaron similares entre dosis (p=0,33). Eghball *et al.* (2004) reportaron que la disponibilidad de N proveniente de fuentes orgánicas es entre el 30 y 40% en el primer año post aplicación, con un aporte bajo inicial, por lo que se esperaría una mayor disponibilidad de este nutriente en el mediano plazo. En este mismo sentido, Orden *et al*. (2016) reportaron inmovilización de N inmediatamente post aplicación de barro proveniente de fosa estercolera de tambos y lo atribuyeron a una alta relación C/N del residuo (C/N=44).

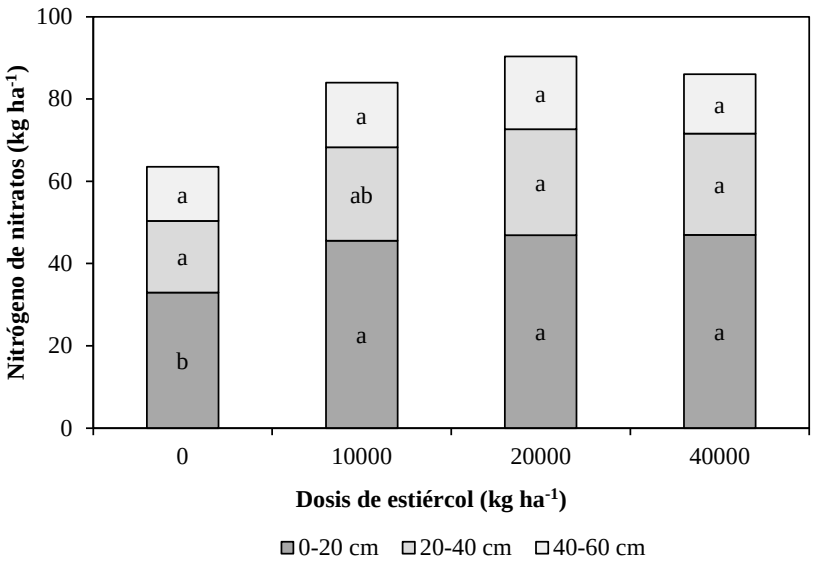


Figura 2: Contenido de Nitrógeno de nitratos (N-NO_3) en el suelo evaluado a los 38 días de la aplicación de estiércol en las capas de 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad en función de las distintas dosis de estiércol aplicadas. Letras distintas para igual profundidad corresponden a diferencias significativas en el contenido de N-NO_3 (p<0,10).

En estadios de madurez fisiológica de maíz en la capa de 0-10 cm de suelo, la aplicación de estiércol incrementó los valores de pH, CE, MO, Pe, (Tabla 2) K, Na y PSI (Tabla 3), sin diferencias significativas en las restantes variables evaluadas. En la capa de 10-20 cm se mantuvo igual tendencia para el pH, K, Na y PSI, y también Nt, con mayores valores en los tratamientos con estiércol. Otros estudios muestran aumento de CE con dosis de estiércol mayores a 20000 kg ha^{-1}. (Ciapparelli *et al.*, 2011). El exceso de sales de K^+, Cl^-, Mg^{2+}, Na^+, P, NO_3^- provenientes del estiércol podrían afectar la salinidad superficial del suelo y el desarrollo de los cultivos, por lo que aplicaciones sucesivas deben ser monitoreadas.

Tabla 2. Variables químicas de suelo evaluadas en madurez fisiológica del cultivo de maíz: pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt) y fósforo extractable (Pe) en las capas de 0-10 y 10-20 cm de profundidad, en función de las distintas dosis de estiércol aplicadas. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (P<0,10) para cada profundidad de suelo evaluada. Ausencia de letras indica ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos.

Prof.	Dosis	pH	CE	MO	Nt	Pe
cm	kg ha^{-1}		dS m^{-1}	g kg^{-1}	%	mg kg^{-1}
0-10	0	5,93 c	0,43 bc	24,5 b	0,14	25,6 b
	10000	6,10 b	0,37 c	26,7 ab	0,15	33,0 ab
	20000	5,93 c	0,53 ab	27,8 a	0,15	48,3 ab
	40000	6,27 a	0,63 a	26,8 ab	0,15	60,4 a
valor- P		<0,01	0,03	0,1	0,22	0,09
10-20	0	6,17 c	0,27	14,3	0,08 b	9,2
	10000	6,37 a	0,27	14,6	0,09 b	10,3
	20000	6,23 bc	0,33	15,3	0,10 a	12,6
	40000	6,30 ab	0,33	15,4	0,09 b	14,6
valor- P		0,02	0,45	0,14	0,06	0,23

Tabla 3: Variables químicas de suelo evaluadas en madurez fisiológica del cultivo de maíz: calcio (Ca), magnesio, (Mg), potasio (K), sodio (Na) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en las capas de 0-10 y 10-20 cm de profundidad, en función de las distintas dosis de estiércol aplicadas. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (P<0,10) para cada profundidad de suelo evaluada. Ausencia de letras indica ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos.

Prof.	Dosis	Ca	Mg	K	Na	PSI
cm	kg ha^{-1}		meq 100 g^{-1}			%
0-10	0	5,10	1,57	1,72 c	0,043 b	0,46 b
	10000	5,67	1,78	1,87 b	0,046 b	0,46 b
	20000	5,36	1,72	1,94 b	0,066 ab	0,67 a
	40000	5,20	1,79	2,27 a	0,074 a	0,70 a
valor- P		0,27	0,18	<0,01	0,08	0,05
10-20	0	4,81	1,36	1,65 b	0,040 b	0,43 b
	10000	5,28	1,50	1,69 ab	0,040 b	0,40 b
	20000	5,10	1,40	1,66 b	0,046 b	0,50 ab
	40000	5,05	1,48	1,74 a	0,060 a	0,63 a
valor- P		0,28	0,44	0,02	<0,01	0,05

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian que la aplicación de distintas dosis de estiércol fresco proveniente del barrido de corrales de bovinos en terminación, realizado 15 días posteriores a la siembra, no tuvo efecto sobre la producción de forraje y grano del cultivo de maíz. Las propiedades edáficas que se modificaron por la aplicación del estiércol fueron el contenido N-NO_3 (a los 38 días de la aplicación) y CE, pH, MO, Pt, K, Na y PSI (a los 165 días de la aplicación). Estos resultados destacan la importancia de la continuidad en la evaluación de la evolución de los parámetros edáficos y posibles efectos sobre cultivos siguientes.

AGRADECIMIENTOS

A la firma “Agropecuaria La Criolla S.A.”, sus titulares y personal, que facilitaron las instalaciones, los materiales y el financiamiento de parte del estudio. El resto del financiamiento fue aportado por el Proyecto de INTA BANOR 11271309. Actividad enmarcada dentro del grupo de trabajo GAF (gestión Ambiental de Feedlots).

BIBLIOGRAFÍA

- Andriulo, A; C Nasal; C Amándola & F Rimatori. 2003. Impacto de un sistema intensivo de producción de carne vacuna sobre algunas propiedades del suelo y del agua. Revista de Investigaciones Agrarias 32 (3), 27–56.
- Ciapparelli, I; M De Siervi; R Maisonnave; C Weigandt; AF de Iorio & A García. 2011. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de estiércol como medida de utilización de residuos de feetlot. Disponible en: www.academia.edu/20990801/Respuesta del cultivo de trigo al agregado de estiércol como medida de utilización de residuos de feetlot. Acceso: 13/3/18.
- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Eghball,B. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. Agronomy Journal. 96:442-447.
- Khan, AUH; M Iqbal & KR Islam. 2007. Dairy manure and tillage effects on soil fertility and corn yields. Bioresource Techonology 98:1972-1979.
- Pordomingo, A. 2009. Gestión ambiental en feedlot. Guía de buenas prácticas. Publicación Técnica N°78. ISSN 0325-2132. 99 pp.
- Sardi, GM. 2014. Herramientas para la gestión ambiental aplicables a predios ganaderos. En: La producción ambiental y el ambiente, 1ra ed 2014- Buenos Aires, Argentina.193-212.
- Sosa, O. 2010. Efectos del estiércol de tambo sobre propiedades químicas y físico-químicas edáficas y sobre la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en implantación. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario (Argentina).
- Orden, L; GA Iocoli, & M. Gomez 2016. Mineralización de N post aplicación de enmiendas orgánicas de suelo. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 27 de junio al 1 de julio de 2016. Rio Cuarto, Córdoba.

C3P29. EL NITRÓGENO INCREMENTA LA PROTEÍNA EN GRANO Y SUBPRODUCTOS DE GIRASOL

Diovisalvi, Natalia[1]*; Reussi Calvo, Nahuel[1, 2, 3]; Izquierdo, Natalia[2, 3]; Echeverría, Hernán[2]; Divito, Guillermo[4] y García, Fernando[5].
[1]Fertilab, Moreno 4524, (7600) Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. [2]Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Unidad Integrada Balcarce, Ruta Nac. 226 km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. [3]CONICET. [4] AAPRESID. [5]IPNI.
ndiovisalvi@laboratoriofertilab.com.ar

RESUMEN

El cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) presenta genotipos convencionales (C) y alto oleico (AO) que se diferencian en la composición del aceite de los granos. El nitrógeno (N) es el principal nutriente que afecta la concentración de proteína del grano (P_G) y, por consiguiente, la de los subproductos (P_S). El objetivo fue evaluar el efecto de la disponibilidad de N sobre P_G y P_S en genotipos AO y C. Durante la campaña 2014-2015 se realizaron diez ensayos (AO n= 7 y C n= 3) donde se probaron seis dosis de N (0, 30, 60, 90, 120 y 150 kg N ha^{-1}) aplicadas a la emergencia del cultivo. El rendimiento promedio fue 3.450 y 3.748 kg ha^{-1} para AO y C, respectivamente. En el 50% de los sitios, se determinó respuesta en rendimiento a N, siendo la misma en promedio de 590 kg ha^{-1} para ambos genotipos. Se observó que la disponibilidad de N aumentó la P_G en ambos genotipos. No obstante, la misma fue mayor para AO respecto a C (15,1% vs 12,0%, respectivamente). La mayor P_G de los AO respecto a los C se tradujo en una mayor P_S (44,0% y 38,8%, respectivamente). En promedio, incrementos en P_G de 2,5 puntos porcentuales por efecto del N generaron incrementos en el P_S de 5,6 puntos porcentuales independientemente del tipo de genotipo. En síntesis, una adecuada nutrición con N permitiría obtener altos valores de P_G y P_S mejorando la calidad de los granos y subproductos en ambos tipos de genotipo.

Palabras claves: calidad, pellets, genotipos.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el principal nutriente que afecta la tasa de crecimiento del cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) y, por consiguiente, el rendimiento y concentración en grano de aceite (A_G) y proteína (P_G) (Alberio *et al*., 2015). La deficiencia de N disminuye el índice de área foliar y la tasa fotosintética y, por ende, la eficiencia de intercepción y uso de la radiación (Massignam *et al*., 2009). El N es fundamental para interceptar el 95% de la radiación incidente alrededor de floración, que es cuando se define el rendimiento, y mantenerla durante el llenado que es cuando se determina el peso de los granos y la A_G (Alberio *et al*., 2015).

Si bien una adecuada disponibilidad de N es necesaria para lograr granos con elevada A_G y P_G, niveles excesivos de N pueden disminuir la A_G, lo cual no es favorable desde el punto de vista comercial. Ping Li *et al*. (2017) observaron que la fertilización tardía con N provocó disminuciones en la A_G debido al incremento de la síntesis de P_G. Sin embargo, Ruffo *et al*. (2003) no observaron cambios en A_G luego de la aplicación de N. Esta aparente contradicción respecto al efecto del N sobre la A_G se explicaría en parte por cambios en la concentración de carbohidratos (Alberio *et al*., 2015).

La A_G determina el rendimiento industrial de los granos, mientras que la P_G es clave para los subproductos o pellets de girasol (González-Pérez, 2015; Dauguet *et al*., 2016). Se ha observado que diferencias en 1-2% de P_G podrían representar diferencias de hasta 5% en la concentración proteica de los subproductos (P_S) (Merrien *et al*., 1988). Estos últimos se elaboran con los residuos de la industria aceitera luego del desgrasado de los granos (Pedroche, 2015). En girasol, con el fin de optimizar la extracción de aceite, el grano es descascarado previo a dicho proceso dejando sólo un remanente de 10-12% de cáscara residual (Peyronnet *et al*., 2012). De Figueiredo *et al*. (2015) reportaron que dicho descascarado permite reducir el contenido de fibra, ceras y pigmentos en el aceite y, aumentar la P_S. Dentro del mercado de comercialización de subproductos, existen pellets tipo “común” (sin previo descascarado de los granos) con 27-30% de proteína y, pellets “bajos en fibra” (parcialmente descascarados) con alrededor de 36% de proteína (De Figueiredo *et al*., 2015; Dauguet *et al*., 2016). Estos últimos obtienen precios diferenciales en el mercado por su mayor calidad debido a la mayor P_S y menor contenido de fibra (De Figueiredo *et al*., 2015; Dauguet *et al*., 2016). Para tal fin es fundamental partir con granos con alta P_G, debido a su efecto sobre la P_S (Merrien *et al*., 1988). Si bien factores genéticos y ambientales afectan la P_G (Dauguet *et al*., 2016), la disponibilidad de N cumple un papel fundamental sobre la misma y consecuentemente sobre la P_S (Andrianasolo *et al*., 2016). En la actualidad no hay registros de estudios en los que se evalúe el efecto del N sobre la P_G y, por consiguiente sobre la P_S en genotipos convencionales (C) y alto oleico (AO).

Los genotipos C y AO se diferencian principalmente en la composición del aceite de los granos. En general, los AO se diferencian por la mayor calidad y estabilidad de la composición del aceite (más de 75% bajo la forma de ácido oleico) (Del Gatto *et al*. 2015; Alberio *et al*., 2015). Por el contrario, en los C el porcentaje de ácido oleico es menor (18 a

56%) (Izquierdo y Aguirrezábal, 2008). Si bien existen diferencias en la calidad del aceite, en la actualidad no hay registro de trabajos en los que se compare la P_G y P_S en ambos tipos de genotipos. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la disponibilidad de N sobre P_G y P_S en genotipos AO y C.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 2014-2015 se realizó una red de ensayos (n=10) en lotes de producción bajo siembra directa, ubicados en el sudeste bonaerense (SEB), desde General Madariaga hasta Tres Arroyos. Los suelos predominantes fueron Argiudoles Petrocálcicos y Argiudoles Típicos. Se evaluaron seis dosis de N (0, 30, 60, 90, 120 y 150 kg N ha^{-1}). Las mismas fueron aplicadas al voleo como urea al momento de la emergencia del cultivo. Se emplearon genotipos AO (n=7) y C (n=3). Dentro de los AO, se utilizaron los híbridos CL (tolerantes a imidazolinonas) Aromo 105, ADV 5203 y NTO 1.0. En el caso de los C, los híbridos eran SYN 3970, Paraiso 104 y ADV 201. Si bien dentro de cada tipo de genotipo se emplearon 3 híbridos diferentes, todos tenían características similares tales como alto potencial de rendimiento, elevado porcentaje de aceite en grano (entre 51 y 55%), resistencia al vuelco y buen comportamiento ante enfermedades. Respecto a la siembra, las fechas (septiembre-octubre) y densidades (55-60 mil plantas por hectárea) fueron las recomendadas para la zona. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones.

A la siembra del cultivo se realizaron muestreos de suelo para caracterizar cada sitio, donde se determinó el contenido de materia orgánica (MO), fósforo (P) (Bray & Kurtz I, 1945), pH (1:2,5), nitrógeno anaeróbico (Nan) (Keeney, 1982) y textura en superficie (0-20 cm) y nitrato ($N\text{-}N0_3^-$) (Dahnke, 1971) en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm). Los datos de precipitaciones (Pp) y radiación global (RG) incidente fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas de INTA Balcarce y Barrow y del Servicio Meteorológico Nacional.

A cosecha se determinó rendimiento, A_G y P_G. La concentración de aceite en grano se determinó mediante un equipo de resonancia magnética-nuclear (NMR, Spinlock S.R.L.). La P_G se estimó a partir del N en grano, determinado por el método de Dumas (Jung *et al*., 2003), empleando un factor de 5,3 (Jones, 1941). Para la determinación de la P_S se seleccionaron 22 muestras de grano (AO: n= 8 y C: n= 14) cubriendo un amplio rango de P_G (desde 10,0 a 16,8 %). Dentro de cada genotipo el 50% de las muestras pertenecieron al tratamiento testigo (0 kg N ha^{-1}) y el 50% al tratamiento fertilizado con 150 kg N ha^{-1}. Se extrajo el aceite de dichas muestras con n-hexano (Soxhlet) a 80°C durante 8 h, previa molienda. Luego, las muestras desgrasadas se secaron a 60ºC hasta peso constante para eliminar los restos de solvente y se determinó la concentración de N por el método de Dumas en dicho residuo. Se calculó la P_S en las muestras desgrasadas utilizando el factor 5.3 y corrigiendo por el porcentaje de cáscara de los granos que queda en el residuo (90%) (Peyronnet *et al*., 2012).

El análisis estadístico de los datos se realizó para cada tipo de genotipo por separado (AO y C) considerando la información reportada en trabajos previos, respecto al efecto del tipo de genotipo sobre los diferentes componentes de rendimiento y calidad (Agüero *et al*., 1999; Gaggioli *et al*., 2015). Se realizó el ANOVA utilizando el procedimiento PROC MIXED en R Core Team (2014) para evaluar los efectos del sitio y dosis de N sobre P_G y P_S. Este modelo considera sitios y tratamientos como efectos fijos. Se determinaron diferencias significativas a niveles de 0,05 usando una prueba de diferencia mínima significativa. Se utilizó el procedimiento *stepwise* para determinar la mejor combinación de variables explicativas (Pp en diferentes momentos del ciclo del cultivo, MO, Nan, N del suelo, N del fertilizante, N suelo más fertilizante, limo, arcilla, limo más arcilla) para P_G.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Pp durante el ciclo del cultivo (498 mm en promedio) resultaron en general suficientes para satisfacer la demanda hídrica del mismo, la cual es de 500-550 mm para el SEB (Alberio *et al*., 2015). La RG se ubicó levemente por encima del promedio histórico de la zona, siendo la misma en promedio para los distintos sitios de 25,9 MJ m^{-2} $día^{-1}$ durante los períodos críticos de floración y llenado (Tabla 1).

Los valores medios de MO, P Bray, Nan and pH en los primeros 20 cm fueron 51 ± 12 g kg^{-1}, 15,5 ± 11,0 mg kg^{-1}, 53,1 ± 6,3 mg kg^{-1} y 5,9 ± 0,2, respectivamente (Tabla 1). Estos valores coinciden con los niveles típicos de la región reportados por Sainz Rozas *et al*. (2011 y 2013) y Reussi Calvo *et al*. (2014). La variación en los valores de MO puede ser explicada por la diferente historia agrícola y textura (Diovisalvi *et al*., 2014). La concentraciones de arena, limo y arcilla (0-20 cm) variaron entre 427-650, 169-338 y 134-235 g kg^{-1}, respectivamente. Si bien el rango de variación de Nan es acotado (42,6- 59,3 mg kg^{-1}), se observó una amplia variabilidad en los valores de $N\text{-}NO_3^-$ según sitio (39,5- 91,1 kg ha^{-1}) (Tabla 1). Estos valores de $N\text{-}NO_3^-$ fueron similares a los reportados por Zamora & Massigoge (2008).

Tabla 1. Caracterización climática y edáfica de los sitios experimentales. Pp: Precipitación Total durante el ciclo del cultivo, RG: radiación global durante el período crítico de floración y llenado de granos, MO: materia orgánica, P Bray: fósforo extractable, Nan: nitrógeno incubado en anaerobiosis, $N\text{-}NO_3^-$: nitrógeno-nitrato, Ar: arena, Li: limo, As: arcilla.

Sitio	Pp (mm)	RG ($MJ\ m^{-2}día^{-1}$)	MO ($g\ kg^{-1}$)	pH	P Bray	Nan	$N\text{-}NO_3^-$	Ar	Li	As
			----------0-20 cm----------		----($mg\ kg^{-1}$)----		-($kg\ ha^{-1}$)- -0-60 cm-	------($g\ kg^{-1}$)------ ----0-20 cm---		
1	500	27,0	61	5,6	8,8	42,6	76,6	561	288	151
2	500	27,0	57	5,6	6,8	56,0	69,7	597	259	144
3	450	26,3	32	6,4	7,0	55,5	54,1	593	199	209
4	450	26,3	67	5,9	16,5	56,4	75,5	470	336	193
5	550	26,4	45	6,1	13,2	57,3	70,3	644	222	134
6	550	26,4	36	6,1	10,0	56,6	91,1	650	210	141
7	550	26,4	43	5,8	17,4	53,7	65,0	579	275	146
8	450	26,3	67	5,8	17,2	51,0	39,5	427	338	235
9	490	26,3	57	6,0	13,1	56,0	54,1	598	256	146
10	490	26,3	44	6,1	13,7	59,3	44,5	599	169	232

El rendimiento promedio varió entre 2239-4149 kg ha^{-1} para AO y 2.562-4.772 kg ha^{-1} para C, siendo la respuesta a N significativa en el 50% de los sitio y similar para ambos genotipos (586 y 597 kg ha^{-1} para AO y C, respectivamente). En lo que respecta a la A_G, la misma fue de 54,2% (rango 50,7-57,2%) y 55,7% (rango 53,5-57,8%) para AO y C, respectivamente. Además, la A_G no fue afectada por la aplicación de N ($P > 0,05$). Similares resultados fueron informados por Ruffo *et al*. (2003). No obstante, Ping Li *et al*. (2017) han determinado disminuciones en A_G frente aumentos en la disponibilidad de N. Los valores de rendimiento y A_G informados en el presente estudio coinciden con los reportados por ASAGIR (2014) para el SEB, lo cual se explicaría por las condiciones meteorológicas favorables en la mayoría de los sitios (Tabla 1).

La P_G promedio fue de 15,1% (rango 12,3-17,8%) y 12,0% (rango 10,3-13,9%) para genotipos AO y C, respectivamente. Estos valores se encuentran dentro del rango de 12-18% informado por Echeverría (2008). Al igual que lo observado para rendimiento y A_G, los valores de P_G elevados se explican en parte por las adecuadas condiciones climáticas (Tabla 1). Por otra parte, para P_G se determinó interacción entre sitio y dosis de N para ambos tipos de genotipos, lo cual se explicaría en parte por la diferente disponibilidad inicial de N en los distintos sitios (Tabla 1). En la Figura 1 se presenta el efecto positivo del N sobre la P_G para ambos tipos de genotipos, siendo mayor la P_G en los AO para todo el rango de variación de N. En general, los AO si bien tuvieron mayor P_G, la A_G fue menor respecto a los C. Esta aparente contradicción podría explicarse por la variación en la concentración de carbohidratos almacenados en los granos (Alberio *et al*., 2015), los cuales no fueron medidos en este trabajo. Similares resultados han sido reportados por González-Pérez (2015). Ping Li *et al*. (2017) observaron que aplicaciones tardías de N incrementaron la P_G. No obstante, en dicha Figura se observa para un mismo valor de N diferentes valores de P_G, lo cual estaría indicando que parte de la variabilidad en los valores de P_G se explicarían por el efecto propio de cada sitio.

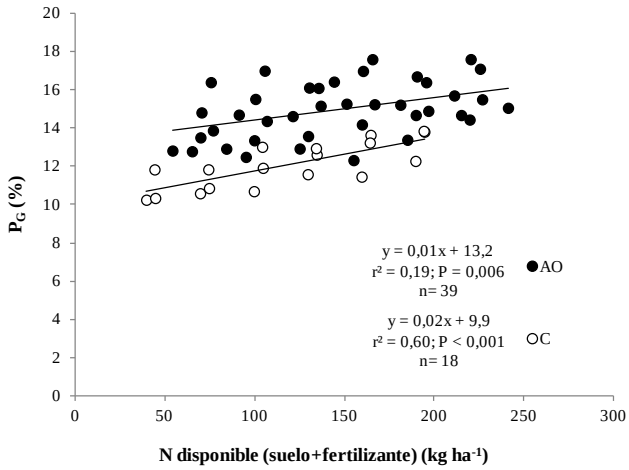


Figura 1. Relación entre la concentración de proteína en grano (P_G) y la disponibilidad de nitrógeno (suelo + fertilizante) para genotipos alto oleico (AO) y convencionales (C). n = numero de casos.

Se ajustó un modelo de regresión incorporando distintas variables edafoclimáticas de sitio. Se observó que la disponibilidad de N, la concentración superficial de Li + As (%) y las Pp (mm) desde el estadio de 6 hojas (V_6) a

floración explicaron el 69% y 91% de la variación de la P_G para AO y C, respectivamente (Tabla 2). Suelos con mayor contenido de Li + As y sin limitaciones hidricas entre V_6 y floración, presentarían mayor eficiencia de captación de N. Es válido recordar que en dicho periodo se absorbe el 75% del total de N por parte del cultivo (Massignam *et al*., 2009).

Tabla 2. Parámetros de un modelo para predecir la concentración de proteína de grano (P_G) segun las variables seleccionadas mediante el procedimiento STEPWISE: nitrógeno del suelo más fertilizante (Ns + Nf), contenido de limo más arcilla (Li + As) y precipitaciones desde V_6 a floración (Pp V6 a F). AO: alto oleico. C: convencional.

Genotipo	Proteína (%)				
	Variable	Parámetro	P valor	r^2 parcial	r^2
AO	Ordenada	3,43			0,69
	Ns (0-60 cm) + Nf (kg ha^{-1})	0,01	< 0,001	0,19	
	Li + As (0-20 cm) (%)	0,15	< 0,001	0,05	
	Pp V_6 a F (mm)	0,03	< 0,001	0,45	
C	Ordenada	$-8,74x10^2$			0,91
	Ns (0-60 cm) + Nf (kg ha^{-1})	$1,73x10^{-2}$	< 0,001	0,62	
	Li + As (0-20 cm) (%)	6,07	0,02	0,25	
	Pp V_6 a F (mm)	4,21	0,02	0,04	

La P_S fue afectada por el genotipo y por la dosis de N pero no hubo interacción significativa entre ambos factores. El valor promedio de P_S fue de 44,0% en AO y 38,8% en C (Figura 2a). Estos resultados demuestran que el mayor nivel de P_G de los AO se tradujo en mayores P_S respecto a los C (Figura 1 y 2). Dauguet *et al*. (2016) recolectaron muestras de semillas en Francia y determinaron que el genotipo incrementó la P_G y, consecuentemente, la P_S.

La aplicación de N tuvo un efecto positivo sobre la P_S. El valor promedio de P_S fue de 37,9% y 43,5% para 0 y 150 kg N ha^{-1}, respectivamente (Figura 2b). Por lo tanto, la aplicación de N permitió incrementar la P_G en promedio 2,5 (± 0,9) puntos porcentuales, que se tradujeron en incrementos en la P_S en promedio de 5,6 (± 3,7) puntos porcentuales. Estos valores resultaron similares a los informados por Merrien *et al*. (1988) quienes reportaron que diferencias en 1-2% de proteína en grano podrían representar diferencias en el porcentaje de proteína en los pellets de hasta 5%, asumiendo similar grado de descascarado y extracción de aceite.

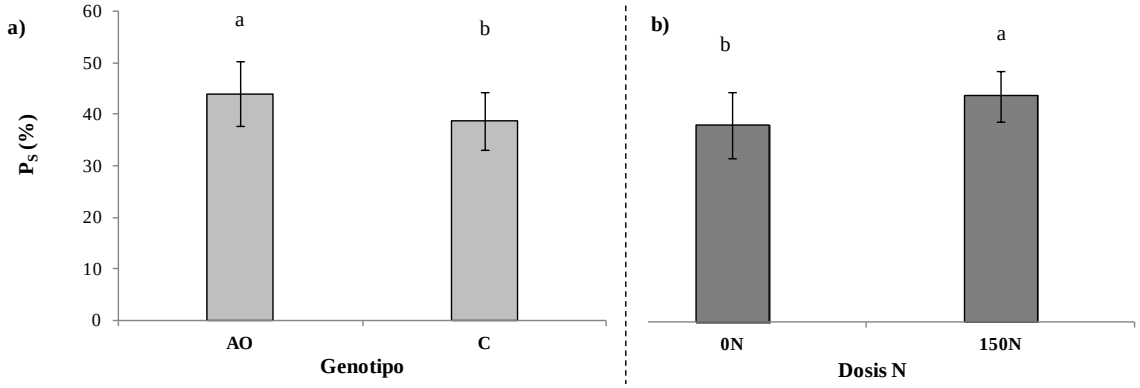


Figura 2. Concentración de proteína en subproductos (P_S) para **a)** genotipos alto oleico (AO) y convencionales (C) y **b)** tratamiento control (0N) y fertilizado (150 kg N ha^{-1}). Letras mayúsculas y minúsculas indican diferencias significativas (P <0,05) para los diferentes tratamientos.

Los valores de P_S se ubicaron dentro del rango informado por Pedroche (2015) (20-60% de proteína) para condiciones similares a las del presente trabajo. Además, los mismos fueron iguales o superiores al 30% (Figura 2), porcentaje base especificado dentro de las normas de comercialización de subproductos de girasol (InfoLeg, 2015). No obstante, si el P_S es igual o superior al 36%, es posible obtener precios diferenciales en el mercado de comercialización (De Figueiredo *et al*., 2015). A modo de ejemplo, para el año 2015 se obtenía un precio diferencial de 70-80 € tn^{-1}. Según Dauguet *et al*. (2016), con valores de P_S de 36% se obtienen precios que equivalen al 70% del precio de los pellets de soja, mientras que con 29% de P_S solo del 43%. En el presente trabajo, para los AO, se determinaron valores de P_S de 36% o superiores tanto para los tratamientos 0 kg N ha^{-1} como 150 kg N ha^{-1}. No obstante, para los C, en general, sólo los tratamientos fertilizados superaron dicha P_S, lo cual estaría asociado a la menor P_G respecto a los AO. Esto evidencia el

efecto del genotipo (Dauguet *et al*., 2016) y del N sobre P_S (Andrianasolo *et al*., 2016). Si bien en varios trabajos se ha observado mayor calidad y estabilidad de la composición del aceite de los genotipos AO respecto a los C (Del Gatto *et al*. 2015; y Alberio *et al*., 2015), es la primera vez que se pone en evidencia la mayor calidad de los mismos debido a su mayor P_G y P_S. Es de gran importancia para la industria contar con partidas de granos que les permitan obtener pellets con alta P_S sin perjudicar el rendimiento ni la A_G. Estos resultados posicionan mejor a estos genotipos en el mercado de girasol.

CONCLUSIONES

El genotipo y la disponibilidad de N afectaron la P_G y P_S. Los genotipos AO presentaron mayores valores de P_G y P_S que los C. Además, la fertilización con N permitió obtener mayor P_G lo cual se tradujo en incrementos de P_S. Por lo tanto, una adecuada nutrición con N permitiría obtener mejores valores de P_G y P_S mejorando la calidad de los granos y subproductos en ambos tipos de genotipo.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue posible gracias al apoyo financiero de IPNI, Laboratorio de Suelos Fertilab, Proyecto AGR447 / 14 UNMdP (Prognosis de macronutrientes en cultivos extensivos relevantes) y Fondo de Investigación Científica y Tecnológica 18 (FONCyT) (Proyecto PICT 2016-0304).

BIBLIOGRAFÍA

- Agüero, M; V Pereyra; L Aguirrezábal & J Lúquez. 1999. Rendimiento de grano y porcentaje de aceite de híbridos de girasol “alto oléico” cultivados en Argentina. Agriscientia. 16: 49-53.
- Alberio, C; N Izquierdo & L Aguirrrezábal. 2015. Sunflower crop Physiology and Agronomy. En: Martínez-Force, E; N Dunford & J Salas. (Eds.). Sunflower: chemistry, production, processing and utilization. AOCS Press: Urbana, IL USA. Pp. 53-91.
- Andrianasolo, F; L Champolivier; P Debaeke & P Maury. 2016. Source and sink indicators for determining nitrogen, plant density and genotype effects on oil and protein contents in sunflower achenes. Field Crops Res. 192: 33-41.
- ASAGIR. 2014. Asociación Argentina de girasol. Tecnología: Evaluación de cultivares. Campaña 2012-2013. http://www.asagir.org.ar/ (consulta 10.05.14).
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39-45.
- Dahnke, W. 1971. Use of the nitrate specific ion electrode in soil testing. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 2: 73-84.
- Dauguet, S; F Labalette; F Fine; P Carré; A Merrien & JP Palleau. 2016. Genetic impact on protein content and hullability of sunflower seeds, and on the quality of sunflower meal. OLC. 23(2).
- De Figueiredo, A; L Rodríguez; M Fernández; I Riccobene & S Nolasco. 2015. Loss of lipid material during the dehulling of oilseeds with different structural characteristics. J Food Sci. Technology. 52: 7934-7943.
- Del Gatto, A; C Mengarelli; E Pedretti; D Duca; S Pieri; L Mangoni; M Signor; S Raccuia & M Melilli. 2015. Adaptability of sunflower (*Helianthus annuus* L.) high oleic hybrids to different Italian areas for biodiesel production. Industrial Crops and Products. 75: 108-117.
- Diovisalvi, N; G Studdert; N Reussi Calvo; G Dominguez & A Berardo. 2014. Estimating soil particulate organic carbon through total soil organic carbon. Ci. Suelo. 32: 85-94.
- Echeverría, H. 2008. Nutrición y diagnóstico de nitrógeno en girasol. Agromercado. 46: 20-25.
- Gaggioli, C; E Noellemeyer & A Quiroga. 2015. Productividad de híbridos de girasol diferenciados en calidad de aceite en dos suelos contrastantes de la región semiárida pampeana. 2° Jornadas Nacionales de Suelos de Ambientes Semiáridos, 2015.
- González-Pérez, S. 2015. Sunflower proteins. En: Martínez-Force; Turgut Dunford, N.; Salas, J. (eds.), Sunflower: chemistry, production, processing & utilization, AOCS PRESS Urbana, Illinois, US, pp. 331-393.
- Izquierdo, N & L Aguirrezábal. 2008. Genetic variability in the response of fatty acid composition to minimum night temperature during grain filling in sunflower. Field Crop Res. 106: 116-125.
- INFOLEG. 2015. Información Legislativa. Subproductos oleaginosos. <http://infoleg.mecon.gov.ar/> (consulta 10.11.15).
- Jones, DB. 1941. Factors for converting percentages of nitrogen in foods and feeds into percentages of proteins, Washington, DC: US Department of Agriculture. Pp. 1-22.

- Jung, S; D Rickert; N Deak; E Aldin; J Recknor; L Johnson & P Murphy. 2003. Comparison of Kjeldahl and Dumas methods for determining protein contents of soybean products. J. Am. Oil Chem. Soc. 80: 1169–1173.
- Keeney, DR. 1982. Nitrogen-availability indeces. En: Page, A. L. et al. (eds.), Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, EEUU. Pp. 711-733.
- Massignam, AA; SC Chapman; GL Hammer & S Fukai. 2009. Physiological determinants of maize and sunflower grain yield as affected by nitrogen supply. Field Crop Res. 113: 256–267.
- Merrien, A; A Quinsac & C Maisonneuve. 1988. Variabilite de l'teneur en proteines des graines de tournesol en relation avec l'etat proteique foliare. En: Proc. 12th Int. Sunflower Conf., Novi-Sad, Yugoslavia, pp. 158-169.
- Pedroche, J. 2015. Utilization of Sunflower Proteins. En: Martínez-Force; Turgut Dunford N.; Salas, J. (eds.), Sunflower: chemistry, production, processing and utilization, AOCS PRESS Urbana, Illinois.US. Pp. 395-553.
- Peyronnet, C; F Pressenda; A Quinsac & P Carré. 2012. Impact du décorticage du tournesol sur la valeur nutritionnelle et l'intérêt économique des tourteaux en fabrication d'aliments composés. Oléagineux, Corps gras, Lipides, 19: 341-346.
- Ping Li, W; H Bin Shi; K Zhu; Q Zheng & Z Xu. 2017. The quality of sunflower seed oil changes in response to nitrogen fertilizer. J. Agron. 109: 2499-2507.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Versión 3.1.2. http://www.R-project.org (consulta 10.05.14).
- Reussi Calvo, N; M Calandroni; G Studdert; F Cabria; N Diovisalvi & A Berardo. 2014. Nitrógeno incubado en anaerobiosis y materia orgánica en suelos agrícolas de Buenos Aires. Actas 24° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, mayo 2014. En CD.
- Ruffo, M; F García; G Bollero; K Fabrizzi & R Ruiz. 2003. Nitrogen balance approach to sunflower fertilization. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 34: 2645–2647.
- Sainz Rozas, H, H Echeverria & H Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. Ci. Suelo. 29: 29-37.
- Sainz Rozas, H; M Eyherabide; H Echeverría; P Barbieri; H Angelini; G Larrea; G Ferraris & M Barraco. 2013. Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? En: Simposio Fertilidad 2013. IPNI Cono Sur-Fertilizar, Rosario, Mayo 2013.
- Zamora, M & J Massigoge. 2008. Fertilización de girasol con nitrógeno y azufre bajo siembra directa en el centro sur bonaerense. Actas 21° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, mayo. 2008. En CD.

C3P30. COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA DETERMINAR NITRÓGENO EN GRANO DE GIRASOL

Diovisalvi, Natalia[1]*; Izquierdo, Natalia[2, 3];Reussi Calvo, Nahuel[1, 2, 3] y Echeverría, Hernán[2].

[1]Fertilab, Moreno 4524, (7600) Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. [2]Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Unidad Integrada Balcarce, Ruta Nac. 226 km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. [3]CONICET. ndiovisalvi@laboratoriofertilab.com.ar

RESUMEN

En girasol (*Helianthus annuus* L.) la determinación de la concentración de N total en grano (N_T) permite obtener el contenido de proteína de los mismos, el cual es importante para determinar la calidad de los subproductos o pellets. Por lo tanto, es fundamental contar con métodos que permitan determinar la N_T con exactitud y precisión. El objetivo del presente trabajo fue comparar los métodos de NIRS y Kjeldahl para la cuantificación de N_T en grano de girasol con respecto al método de Dumas, tomado como método de referencia. Se seleccionaron 84 muestras de grano de girasol pertenecientes a una red de ensayos del Sudeste Bonaerense, las cuales se molieron y secaron a 60ºC hasta peso constante. Se determinó N_T con el método de Dumas, Kjeldahl y NIRS. Si bien Dumas fue en promedio el método más exacto (sesgo= 0,04 y diferencia relativa porcentual= 2,48), se determinó estrecha asociación entre los valores de N_T determinados por NIRS y Kjeldahl respecto a los determinados por Dumas (r^2= 0,93 y 0,83, respectivamente). Por lo tanto, el NIRS sería una alternativa promisoria debido a su bajo costo por muestra respecto a Dumas y a que no utiliza productos químicos respecto a Kjeldahl. Además, presenta la ventaja adicional de poder determinar otros componentes del grano (humedad, porcentaje de aceite, ácidos grasos, etc.) junto con la determinación de N_T. No obstante, estos resultados son preliminares y deberían ser evaluado para otros órganos de la planta y un mayor rango de condiciones.

Palabras claves: Dumas, Kjeldahl, NIRS.

INTRODUCCIÓN

En girasol (*Helianthus annuus* L.), el nitrógeno (N) es el principal nutriente que afecta el rendimiento y la calidad de los granos (Alberio *et al*., 2015). La determinación de la concentración de N total en grano (N_T) permite obtener el contenido de proteína de los mismos mediante el empleo de un factor de conversión (Proteína= N_T * 5,3) (Jones, 1941). Conocer la proteína en grano es importante para determinar la calidad de los subproductos o pellets (González-Pérez, 2015; Dauguet *et al*., 2016) dado que se ha informado que diferencias en 1-2% de proteína en grano podrían representar diferencias de hasta 5% en la concentración proteica de los subproductos (P_S) (Merrien *et al*., 1988; Diovisalvi *et al*., 2018). Por lo cual, es fundamental contar con métodos que permitan determinar la N_T con exactitud y presición.

Se han desarrollado diferentes técnicas analíticas que permiten cuantificar el contenido de N_T. El método utilizado internacionalmente en los laboratorios como método de rutina debido a su bajo costo, es el método de Kjeldahl (Kjeldahl, 1883). El mismo se basa en la digestión de la muestra con ácido sulfúrico a más de 250 ºC en presencia de catalizadores. El N orgánico se reduce a sulfato de amonio, que se destila en presencia de hidróxido de sodio, liberando gas amoniacal. El destilado se recoge en solución de ácido bórico, y los aniones de borato formados son titulados con una solución de ácido sulfúrico estandarizada. Los miliequivalentes de ácido necesarios para la titulación se utilizan para determinar el contenido de N en la muestra. Sin embargo, este método tiene las desventajas de usar productos muy corrosivos y / o tóxicos para la salud humana, demandar mucho tiempo y múltiples pasos que proporcionan oportunidades de error (Jung *et al*., 2003).

El método de Dumas constituye una alternativa al método de Kjeldahl debido a que es un método rápido (<5 minutos por muestra), preciso, puede ser semiautomático y evita el uso de materiales corrosivos y/o químicos, lo cual lo convierte en un procedimiento relativamente seguro (Jung *et al*., 2003). Este método consiste en la combustión seca a altas temperaturas (950 ºC) de la muestra (conversión de todas las formas de N a óxidos de N y reducción a N gaseoso) y posterior medición por termoconductividad mediante un analizador TruSpec CN (LECO, 2010). Varios estudios han comparado la efectividad del método de Dumas respecto al método de Kjeldahl para diversos productos. Solo en los casos de productos con altas concentraciones de nitrato, el método Dumas sobreestimó los valores de N_T debido a que mide formas de N inorgánico que no son determinadas por el método Kjeldahl (Simonne *et al*., 1997). Sin embargo, en harinas proteicas de soja, granos de cereales y productos lácteos, ambos métodos han demostrado valores similares de N_T. No

obstante, Dumas no ha sido ampliamente adoptado en los laboratorios de rutina debido al elevado costo por muestra (Jung *et al*., 2003).

Frente a esta situación, la espectroscopia de reflectancia infrarroja cercana (NIRS) es una técnica de gran aplicación para el análisis de diferentes características de calidad de los alimentos y productos agrícolas debido a que se trata de un método no destructivo, rápido y sencillo (Shenk & Westerhaus, 1993, Batten, 1998). El principio de NIRS se basa en medir la reflección de la luz de ciertos productos (longitud de onda 1100-2500 nm), la cual dará información de la composición del mismo (Murray, 1993; Batten, 1998). Es un método indirecto, que requiere calibración del equipo con valores de referencia para determinar un compuesto específico, por ejemplo, proteína en harina de soja (Sáez-Plaza *et al*., 2013). Granos de cereales han sido clasificados en función de su concentración proteíca y humedad mediante el empleo del NIRS (Osborne *et al*., 1993; Williams, 2001). En granos de girasol, se ha determinado el contenido de aceite y la composición de ácidos grasos mediante el empleo de esta técnica (Velasco *et al*., 1999, Velasco *et al*,. 2004). Además, el NIRS a diferencia del método de Kjeldahl no emplea productos químicos y, además a diferencia de Dumas el costo por muestra es bajo. Estos aspectos lo vuelven una alternativa interesante para ser utilizado como método de rutina en los laboratorios de análisis (Velasco *et al*., 1999). El objetivo del presente trabajo fue comparar los métodos de NIRS y Kjeldahl utilizados para la cuantificación de N_T en grano de girasol con respecto al método de Dumas, tomado como método de referencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron 84 muestras de grano de girasol pertenecientes a una red de 10 ensayos de fertilización nitrogenada realizada durante la campaña 2014-2015 en el sudeste bonaerense (SEB). Las muestras se seleccionaron con el objetivo de cubrir un amplio rango de variación de N_T (desde 1,75 hasta 3,80% tomando a Dumas como referencia). Las muestras de grano entero fueron secadas durante 24 hs a 50 °C y luego trituradas (< 1mm) y homogeneizadas. Antes de ser pesadas, independientemente del método utilizado, se secaron a 60ºC hasta peso constante. Los resultados de N_T fueron expresados en base seca.

Para la determinación de N_T mediante el método de Dumas (combustión seca), se pesaron 0,2 gr de muestra seca y molida. La combustión de la muestra se realizó a 950°C utilizando oxígeno de alta pureza (99,9%). El producto de la combustión (N gaseoso) es filtrado, secado y cuantificado por medio de una celda de radiación infrarroja. Se utilizó el analizador TruSpec CN (LECO, 2010). Para la calibración del equipo se utilizaron estándares de grano certificados por la empresa Leco.

Para la determinación de N_T mediante el método de Kjeldahl (combustión húmeda) (Kjeldahl, 1883) se pesaron 0,1 gr de muestra seca y molida en tubos de ensayo de 70 ml. Se agregó 1,1 gr de catalizador y 4 ml de H_2SO_4 concentrado. Luego se sometió a calentamiento en el digestor (270 ºC) hasta que el digesto adquirió un color verde claro (aproximadamente 1 hora 45 minutos). Una vez fríos, los tubos se llevaron a 50 ml con agua destilada y se mezcló bien la solución. Se tomó una alícuota de 10 ml agregando 10 ml de solución de NaOH al 45% y se procedió a la destilación. Se recogieron entre 35-40 ml del destilado sobre 5 ml de solución indicador mixto–H_3BO_3. Posteriormente se tituló con H_2SO_4 0,005 N hasta que la muestra viró de verde a rosa. El cálculo del porcentaje de N_T se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$N_T\ (\%) = \frac{((M-B)\ ml \times N \times 14 \times 50 \times 100)}{(1000 \times 10 \times 0{,}1)}$$

donde M y B: mililitros de H_2SO_4 gastados en la titulación de la muestra y del blanco, respectivamente; 14: peso equivalente del N; 0,1: peso de la muestra; N: normalidad del H_2SO_4; 50: volumen total de la muestra; 10: volumen destilado.

En lo que respecta al empleo del NIRS (NIRSystems, USA) para la determinación de N_T, las muestras molidas fueron estabilizadas a temperatura ambiente y luego colocadas individualmente en una cápsula. Es importante que la superficie de la muestra en dicha cápsula quede lisa y pareja. Luego se procede a la lectura de la misma. Las condiciones del equipo se ajustaron con el objetivo de recolectar aproximadamente 115 espectros de cada muestra en menos de un minuto a modo de asegurarse representatividad en la medición. Luego, dichos espectros fueron promediados para obtener el valor final.

Por otra parte, para cada método se determinó la exactitud, la cual está definida por la veracidad (parámetro de posición) y la precisión (parámetro de dispersión). Para tal fin se emplearon dos estándares internos de grano de girasol con diferente concentración de N (Leco Corp. $N_{T\text{-alto}}$ = 3,80 % y $N_{T\text{-bajo}}$ = 1,75 %) y se realizaron 3 repeticiones por cada método. La veracidad indica la proximidad entre el promedio de los resultados y el valor verdadero (OAA, 2008). Se evaluó a través de la medición del sesgo (diferencia entre el valor medio observado y el valor de referencia) y de la diferencia relativa porcentual (DRP) (INTI, 2013). En cambio, la precisión es la proximidad entre los resultados de mediciones independientes. Una forma de evaluarla es por medio de la repetibilidad, aplicando un mismo procedimiento, sobre una misma muestra, con el mismo operador, en intervalos cortos de tiempos, utilizando el mismo equipamiento, dentro de un mismo laboratorio (OOA, 2008). Dicha repetibilidad de los métodos se evaluó mediante el coeficiente de variación (CV).

Para comparar las medias de los porcentajes de N_T cuantificado por los métodos de Dumas, Kjeldahl y NIRS se realizó el análisis de varianza utilizando el procedimiento PROC GLM (R Core Team, 2014). Cuando hubo diferencia significativa entre los tratamientos se empleó el test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de significancia del 5%. Se realizó análisis de correlación y regresión lineal de los métodos y se evaluó si las regresiones diferían en pendiente y ordenada al origen con la recta 1:1, mediante la variable Dummy con una significancia del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para las muestras patrón de N_T, si bien los desvíos estándar (DE) fueron bajos y los CV inferiores al 5%, los promedios mostraron diferencias significativas entre los distintos métodos (Tabla 1). Estas diferencias podrían surgir como consecuencia de utilizar pocas repeticiones para cada técnica (n=3). No obstante, desde el punto de vista práctico las diferencias entre las medias fueron pequeñas, principalmente entre Dumas y Kjeldahl para $N_{T\text{-alto}}$ (0,07 puntos porcentuales) y entre Dumas y NIRS para $N_{T\text{-bajo}}$ (0,11 puntos porcentuales).

La exactitud de los métodos evaluados difirió para los dos estándares internos de grano de girasol (Leco Corp. $N_{T\text{-alto}}$ = 3,80 % y $N_{T\text{-bajo}}$ = 1,75 %). Se observó que para $N_{T\text{-alto}}$ el método más exacto fue Dumas debido a que presentó el menor sesgo y DRP. No obstante, si bien Dumas mostró un CV algo superior a NIRS (0,10%), dicho valor fue aceptable (< 5%). En cambio, para $N_{T\text{-bajo}}$ NIRS fue el método que mostró mayor exactitud debido al menor CV, sesgo y DRP respecto a los demás métodos evaluados (Tabla 1). Blanco & Villarroya (2002) informaron que los resultados con NIRS tienen una precisión similar a la de otros métodos analíticos debido a la escasa manipulación de las muestras. No obstante, en promedio el método que presentó menor sesgo y DRP fue Dumas (0,04% y 2,48, respectivamente), por lo tanto fue considerado el método más exacto (mayor verasidad y precisión) en la determinación de N_T. Similares resultados fueron informados por Eyherabide *et al*. (2014) para la determinación de carbono total en muestras de suelo.

Tabla 1. Promedio (%), desvío estándar (DE), coeficiente de variación (CV) (%), sesgo (%) y diferencia relativa porcentual (DRP) para dos estándares de referencia de Leco de grano de girasol con diferente concentración de nitrógeno total ($N_{T\text{-alto}}$ y $N_{T\text{-bajo}}$), determinado por los métodos Dumas, Kjeldahl y NIRS.

Estándar	Método	Promedio (%)	DE	CV (%)	Sesgo (%)	DRP
$N_{T\text{-alto}}$	Dumas	3,79*a	0,03	0,81	- 0,01	- 0,18
	Kjeldahl	3,72*b	0,03	0,82	- 0,08	- 2,19
	NIRS	3,54*c	0,03	0,71	- 0,26	- 6,75
$N_{T\text{-bajo}}$	Dumas	1,84*a	0,03	1,57	0,09	5.14
	Kjeldahl	1,55*c	0,03	1,63	- 0,20	- 11,43
	NIRS	1,73*b	0,02	1,16	- 0,02	- 1,14

*Valor de referencia del estándar Leco Corp. **NT-alto = 3,80 %** y **NT-bajo = 1,75 %.** Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas dentro de cada Valor Estándar de N_T con una DMS 5% de probabilidad.

En la Tabla 2 se presentan los valores medios, máximos, mínimos y DE de N_T en grano de girasol para cada método. Los valores máximos y mínimos indicaron que se cubrió un amplio rango de variación de N_T. A diferencia de lo observado para las muestras patrón, no hubo diferencias significativas (p = 0,76) entre las medias de los distintos métodos, lo cual indicaría que cualquiera de los mismos podría ser utilizado indistintamente para determinar N_T. Este comportamiento podría ser explicado en parte por el mayor número de muestras analizadas (n=68) respecto de la muestra patrón (n=3). Además, los valores de DE fueron bajos y similares entre métodos lo cual indicaría el adecuado comportamiento de los mismos.

Tabla 2. Promedio (%), valor máximo, valor mínimo y desvío estándar (DE) para los valores de N total (N_T) en grano de girasol determinados por los métodos Dumas, Kjeldahl y NIRS.

N_T	Dumas	Kjeldalh	NIRS
Promedio (%)	2,52 a	2,42 a	2,47 a
Máximo (%)	3,80	3,71	3,54
Mínimo (%)	1,75	1,57	1,71
DE	0,45	0,43	0,38

Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas dentro de cada Valor Estándar de N_T con una DMS 5% de probabilidad.

Se determinó relación significativa ($p < 0,001$) entre el contenido de N_T determinado por el método de NIRS ó Kjeldahl con el determinado por el método de referencia de Dumas (Figuras 1a y 1b, respectivamente). También fue significativa la relación entre el contenido de N_T determinado por NIRS respecto a Kjeldahl (Figura 1c). En todos los casos, los coeficientes de determinación fueron mayores al 80% y la correlación significativa ($p < 0,001$) entre las distintas técnicas. Estos resultados indicarían que cualquiera de los métodos podría ser utilizado para la determinación de N_T. Sin embargo, la relación entre el contenido de N_T determinado por NIRS y Dumas fue la que mostró el mayor grado de asociación (r^2=0,93) (Figura 1a) y mayor coeficiente de correlación (r=0,96). La correlación entre los demás métodos fue levemente inferior (r =0,91 para Kjeldahl-Dumas y 0,90 para NIRS-Kjeldahl). Watson & Galliher (2002) reportaron estrecha correlación (r=0,965) entre el método de Kjeldahl y Dumas en la determinación del contenido de N_T en productos agrícolas (semillas y tejidos de plantas, estiércol, agua de pozo). Según estos autores la correlación mejoró a 0,996 cuando se eliminaron las muestras con elevados valores de nitrato. Varios autores informaron que el procedimiento de Dumas mostró resultados de N_T para suelo y productos vegetales comparables a los obtenidos con el procedimiento Kjeldahl (Bremner, 1996; Simonne *et al*., 1997).

No obstante, en todos los casos (NIRS- Dumas, Kjeldahl-Dumas y NIRS-Kjeldahl) la pendiente de las diferentes relaciones difirió de 1 ($p < 0,001$); y la ordenada al origen difirió de 0 ($p < 0,001$). Esto indicaría que dichas metodologías difieren en la determinación de N_T. Los métodos de NIRS y Kjeldahl a elevadas concentraciones de N_T subestimaron los valores de N_T respecto a Dumas (Figura 1a y 1b respectivamente). Sin embargo, a bajos valores de N_T ambos métodos tuvieron similar comportamiento respecto a Dumas (Figura 1a y 1b). Jung *et al*. (2003) informaron que los valores de N_T en productos derivados de la soja determinados con el método de Kjeldahl fueron levemente inferiores a los determinados por Dumas. No obstante, Simonne *et al*. (1997) informaron que en productos con altas concentraciones de nitrato Dumas sobreestimó los valores de N_T debido a que este método mide formas de N inorgánico que no son determinadas por el método Kjeldahl. Por otra parte, al comparar los valores de N_T determinados por NIRS respecto a Kjeldahl, se pudo observar que NIRS a bajas concentraciones de N_T sobreestimó los valores respecto a Kjeldahl, mientras que a altas concentraciones subestimó dichos valores (Figura 1c).

Estos resultados indicarían que para el amplio rango de N_T, Dumas fue el método que mostró mejor comportamiento y mayor exactitud. No obstante, considerando que los valores más frecuentes de proteína en grano de girasol se encuentran entre 12-18% (Echeverría, 2008), es decir 2,26-3,39% de N_T, los métodos de NIRS o Kjeldahl podrían ser una alternativa confiable respecto a Dumas debido al similar comportamiento para dicho rango. Por otra parte, NIRS a diferencia del método de Kjeldahl presenta mayor exactitud, no emplea productos químicos ni genera residuos tóxicos, demanda poco tiempo, es sencillo y no es una técnica destructiva, requiere una mínima preparación de la muestra (Velasco *et al*., 1999; Blanco & Villarroya, 2002; Bosco, 2010). Además, NIRS es un método de bajo costo respecto a Dumas (Velasco *et al*., 1999). Sumado a esto, lo que lo diferencia totalmente es que permite la determinación de la concentración de aceite, además de N_T (Velasco *et al*., 1999; Blanco & Villarroya, 2002; Velasco *et al*,. 2004). Por lo tanto, los resultados obtenidos en este trabajo indicarían que el NIRS sería una alternativa superadora respecto al método tradicional de Kjeldahl y al método de referencia de Dumas. Blanco & Villarroya (2002) informaron que en los últimos años, NIRS ha ganado amplia aceptación en diferentes campos por sus ventajas sobre otras técnicas analíticas, principalmente por la rapidez de análisis. No obstante, estos resultados son preliminares y deberían ser evaluados con un mayor número de muestras y para otros órganos de la planta.

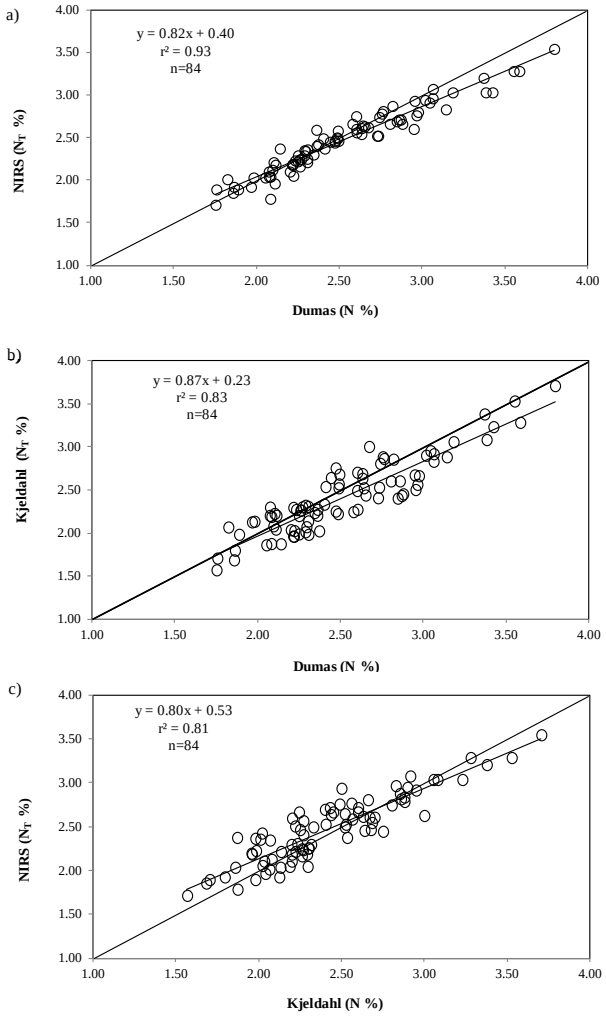


Figura 1. Relación entre el porcentaje de nitrógeno total (N_T) en grano de girasol determinados por a) NIRS y b) Kjeldahl respecto a Dumas y, c) NIRS respecto a Kjeldahl. Línea punteada equivale a la recta 1:1. n = numero de casos.

CONCLUSIONES

El método de Dumas fue en promedio el método más exacto (mayor veracidad y precisión) para la determinación de N_T en grano de girasol. No obstante, el NIRS y Kjeldahl presentaron estrecha asociación con dicho método. En este escenario, NIRS sería una alternativa confiable y superadora respecto a las demás técnicas dado que presenta bajo costo por muestra, es rápido, sencillo, no emplea productos químicos y, principalmente, presenta la ventaja de poder determinar otros componentes del grano (humedad, porcentaje de aceite, ácidos grasos, etc.) junto con la determinación de N_T. Si bien estos resultados son un avance en la temática debido a la falta de información para muestras de grano de girasol, los mismos son preliminares y deberían ser evaluados para otros órganos de la planta y un mayor rango de condiciones.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue posible gracias al apoyo financiero de Laboratorio de Suelos Fertilab, Proyecto AGR447 / 14 UNMdP (Prognosis de macronutrientes en cultivos extensivos relevantes) y Fondo de Investigación Científica y Tecnológica 18 (FONCyT) (Proyecto PICT 2016-0304).

BIBLIOGRAFÍA

- Alberio, C; N Izquierdo & L Aguirrrezábal. 2015. Sunflower crop Physiology and Agronomy. En: Martínez-Force, E; N Dunford & J Salas. (Eds.). Sunflower: chemistry, production, processing and utilization. AOCS Press: Urbana, IL USA. Pp. 53-91.

- Batten, GD. 1998. Plant analysis using near infrared reflectance spectroscopy: the potential and the limitations. Aus. J. Exp. Agric. 38: 697–706.
- Blanco, M & I Villarroya. 2002. NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. TrAC Trends Anal. Chem. 21: 240-250.
- Bosco, GL. 2010. James L. Waters Symposium 2009 on near-infrared spectroscopy. TrAC Trends Anal. Chem. 29: 197-208.
- Bremner, JM. 1996. Nitrogen-total. En: JM Bartels (Ed.). Methods of Soil Analysis, part 3: Chemical Methods. Madison, Wisc: SSSA. Pp: 1085-1121.
- Dauguet, S; F Labalette; F Fine; P Carré; A Merrien & JP Palleau. 2016. Genetic impact on protein content and hullability of sunflower seeds, and on the quality of sunflower meal. OLC. 23(2).
- Diovisalvi, N; N Reussi Calvo; N Izquierdo; G Divito; H Echeverría & F García. 2018. Effects of genotype and nitrogen availability on grain yield and quality in sunflower. Agron. J. En Revisión.
- Echeverría, H. 2008. Nutrición y diagnóstico de nitrógeno en girasol. Agromercado. 46: 20-25.
- Eyherabide, M; H Saínz Rozas; P Barbieri & HE Echeverría. 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. Ci. Suelo. 32: 13-19.
- González-Pérez, S. 2015. Sunflower proteins. En: Martínez-Force; Turgut Dunford, N.; Salas, J. (eds.), Sunflower: chemistry, production, processing & utilization, AOCS PRESS Urbana, Illinois, US, pp. 331-393.
- INTI. 2013.Instituto Nacional de Tecnología Industrial. http:www.inti.gob.ar (consulta 26.06.13).
- Jones, DB. 1941. Factors for converting percentages of nitrogen in foods and feeds into percentages of proteins, Washington, DC: US Department of Agriculture. Pp. 1-22.
- Jung, S; D Rickert; N Deak; E Aldin; J Recknor; L Johnson & P Murphy. 2003. Comparison of Kjeldahl and Dumas methods for determining protein contents of soybean products. J. Am. Oil Chem. Soc. 80: 1169–1173.
- Kjeldahl, J. 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. Fresenius J. Anal. Chem. 22: 366–382.
- LECO. 2010. Organic application notes. http://www.leco.com (consulta 15.05.15).
- Merrien, A; A Quinsac & C Maisonneuve. 1988. Variabilite de l'teneur en proteines des graines de tournesol en relation avec l'etat proteique foliare. En: Proc. 12th Int. Sunflower Conf., Novi-Sad, Yugoslavia, pp. 158-169.
- Murray, I. 1993. Forage analysis by near infrared spectroscopy. En: Davies, A; RD Baker; SA Grant; AS Laidlaw. (Eds.) Sward Herbage Measurement Handbook. British Grassland Society. Pp. 285–312.
- OAA. 2008. Organismo Argentino de Acreditación. Guía para la validación de métodos de ensayo. Codigo: DC-LE-05. Versión: 2. Pp: 5.
- Osborne, BG; T Fearn; PH Hindle. 1993. Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis, second ed. Longman Scientific and Technical, New York.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Versión 3.1.2. http://www.R-project.org (consulta 10.05.14).
- Sáez-Plaza, P; MJ Navas; S Wybraniec; T Michałowski & AG Asuero. 2013. An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part II. Sample preparation, working scale, instrumental finish, and quality control. Crit. Rev. Anal. Chem. 43: 224-272.
- Shenk, J & M Westerhaus. 1993. Analysis of agriculture and food products by near infrared reflectance spectroscopy. Monograph. Dept. of Agronomy, Penn State University and Infrasoft. International, Port Matilda, PA, USA, 116p.
- Simonne, AH, EH Simonne, RR Eitenmiller & CP Cresman.1997. Could the Dumas Method Replace the Kjeldahl Digestion for Nitrogen and Crude Protein Determinations in Foods? J. Sci. Food Agric. 73:39–45.
- Velasco, L; B Pérez-Vich & JM Fernández-Martínez. 1999. Non- destructive screening for oleic and linoleic acid in single sunflower achenes by near-infrared reflectance spectroscopy. Crop Sci. 39: 219-222.
- Velasco, L; B Pérez-Vich & JM Fernandez-Martinez. 2004. Use of near-infrared reflectance spectroscopy for selecting for high stearic acid concentration in single husked achenes of sunflower. Crop Sci. 44: 93-97.
- Watson, ME & TL Galliher. 2002. Comparison of Dumas and Kjeldahl methods with automatic analyzers on agricultural samples under routine rapid analysis conditions. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32: 2007 – 2019.
- Williams, P C. 2001. Implementation of near-infrared technology. En Near-infrared technology in the agriculture and food industries. (Ed.) P Williams & KH Norris, 145. St. Paul, Minn: Am. Assoc. Cereal Chem.

C3P31. FERTILIZACIÓN FOSFATADA CON ENMIENDAS ORGÁNICA E INORGÁNICA EN MAÍZ CHIPÁ (*Zea mays* L. subsp. amylacea (Sturtev))

Duarte, Alder D.; González, Eugenio; Quiñonez, Laura R.; Enciso, Derlis; Rasche, Jimmy W. y Leguizamón, Carlos A.

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Avenida Mcal. López 2160. San Lorenzo, Paraguay. alderdelosantos@hotmail.com

RESUMEN

El maíz es uno de los cereales más importantes a nivel mundial y compone uno de los cultivos de subsistencia tradicional de las familias campesinas. El experimento se realizó en Ybyrarobana, Canindeyú, con el objetivo de evaluar los efectos de dosis de fósforo, con la utilización de enmiendas orgánica e inorgánica sobre la producción del maíz chipá. Las enmiendas (estiércol de bovino, ceniza de expeller de soja y testigo) ocuparon las parcelas y las dosis de P_2O_5 (0, 40, 80, 120 y 160 kg ha^{-1}) las subparcelas, estas se distribuyeron en el campo en un diseño de bloques completamente al azar, en cuatro bloques. En todos los tratamientos fueron aplicados, 80 kg ha^{-1} de N y 70 kg ha^{-1} de K_2O. Cada unidad experimental tuvo una dimensión de 5 m de largo por 3,5 m de ancho (17,5 m^2). Se determinó longitud y diámetro de espiga, peso de mil granos y rendimiento del cultivo. Todos los datos fueron sometidos a ANAVA y comparación de medias mediante el test de Tukey al 5%. En todos los parámetros analizados se observaron diferencias significativas entre las enmiendas utilizadas a excepción en la longitud de espiga. No se encontraron significancia estadística entre las dosis aplicadas de P_2O_5 en las variables analizadas, siendo la media general de longitud y diámetro de espiga, peso de mil granos y rendimiento de granos del maíz de 17,04 cm; 37,61 mm; 223 g y 4.339 kg ha^{-1}, respectivamente. El maíz chipá respondió a los tratamientos con enmiendas, en cambio, no respondió a los tratamientos con dosis de P_2O_5.

Palabras claves: fósforo, estiércol, ceniza.

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cereales más importantes a nivel mundial, se constituye como uno de los cultivos de subsistencia tradicional de las familias campesinas en el Paraguay. El Avatí chipá, es cultivado principalmente en fincas con 1 a 20 ha que representa el 88,4% de las fincas con avatí chipá según el MAG (2008), solo o asociado con otros cultivos de consumo como el poroto, zapallo, mandioca (Salhuana y Machado, 1999), generalmente parte del mismo es usado en la alimentación familiar y parte vendido para la obtención de ingresos en la finca. Según los últimos datos oficiales sobre el cultivo del maíz chipá, se tiene 80.759 ha, distribuidas en 134.835 fincas, con rendimiento promedio a nivel país de 1.062 kg ha^{-1}. En el Departamento de Canindeyú se constataron 4.962 ha de maíz chipá distribuidas en 6.200 fincas, con rendimiento promedio a nivel departamental de 1.140 kg ha^{-1} (MAG, 2008).

Fatecha (2004), sostiene que los suelos de las áreas sembradas con granos, en la Región Oriental de Paraguay son generalmente ácidos, con bajo nivel de fósforo disponible para las plantas. Por su parte, Barrios *et al.* (2010), mencionan que las extracciones de fósforo por los cultivos van empobreciendo lenta pero progresivamente a los suelos de este vital nutriente, por lo que es imprescindible realizar un buen manejo para disminuir la pérdida del mismo. Omil (2007) afirma que las cenizas además de aportar elementos primarios como fósforo y potasio, incluye la adición de otros elementos secundarios, como calcio y magnesio. El objetivo de la investigación fue evaluar los efectos de diferentes dosis de fósforo, con la utilización de enmiendas orgánica e inorgánica sobre la producción del maíz chipá.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Departamento de Canindeyú, Distrito de Ybyrarobana, desde septiembre de 2015 hasta febrero de 2016. El estudio se evaluó en parcelas subdivididas. Las enmiendas ocuparon las parcelas y las dosis de P_2O_5 las subparcelas, estas se distribuyeron en el campo en un diseño de bloques completamente al azar, en cuatro bloques. Las enmiendas utilizadas fueron estiércol de bovino (30 Mg ha^{-1}), ceniza de expeller de soja (870 kg ha^{-1}) y testigo (sin aplicación de enmienda). La fuente de P_2O_5 utilizada fue el Superfosfato triple, con dosis 0, 40, 80, 120 y 160 kg ha^{-1} de P_2O_5. Cada unidad experimental tuvo una dimensión de 5 m de largo por 3,5 m de ancho (17,5 m^2).

La preparación del suelo se realizó en forma convencional, la aplicación de enmiendas y fertilizantes, y la siembra se realizó de forma manual, el espaciamiento utilizado fue de 0,70 m entre hileras y 0,25 m entre plantas. La cosecha se realizó de 2,10 m^2 de cada unidad experimental, de forma manual.

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza según modelo de parcelas subdivididas, y cuando hubo diferencia significativa sometidos al test de Tukey al 5% de probabilidad de error y análisis de regresión para el caso de las enmiendas y las dosis de fósforo, respectivmaente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron resultados estadísticamente diferentes entre los tratamientos del factor enmienda (Tabla 1) para el diámetro de espiga y peso de mil granos, donde el estiércol de bovino arrojó resultados iguales estadísticamente a la ceniza y superiores al testigo, siendo estos similares a la enmienda inorgánica. Con respecto a la longitud de espiga no se encontró significancia estadística, pero hubo una tendencia de aumento con la aplicación de ceniza. En un experimento con incorporación de diferentes dosis de estiércol de bovino, Longoria (2000), no constató diferencias significativas en longitud y diámetro de espiga, obteniéndose medias generales de 28 y 4,63 cm respectivamente.

Tabla 1: Longitud de espiga, diámetro de espiga y peso de mil granos del maíz en función a dosis de P_2O_5 y fuentes de enmiendas. Ybyrarobana, Canindeyú, Paraguay. 2016.

Factor Enmienda Fuentes (Mg ha^{-1})	**Dosis**	**Longitud de espiga**	**Diámetro de espiga**	**Peso de mil granos**
		----cm----	----mm----	----g----
Estiércol bovino	30	17,13^{ns}	37,92 a	230 a
Ceniza	0,87	17,24	37,80 ab	224 ab
Sin enmienda	0	16,76	37,10 b	215 b
Media general		**17,04**	**37,61**	**223**
Factor Fósforo Dosis (kg ha^{-1})				
	0	16,82^{ns}	37,22^{ns}	219^{ns}
	40	16,60	37,81	220
P_2O_5	80	17,33	37,82	222
	120	17,39	37,75	231
	160	17,07	37,44	222
CV%		**4,63**	**2,73**	**6,04**
Media general		**17,04**	**37,61**	**223**

CV, coeficiente de variación; ns, no significativo. Medias seguidas por diferentes letras difieren entre sí por el test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Por otro lado, no se detectaron significancias estadísticas entre los tratamientos del factor fósforo para todos los parámetros mencionados en la Tabla 1, siendo 17,04 cm; 37,44 cm y 223 g respectivamente, las medias generales de cada una de las variables analizadas.

La aplicación de fertilizante fosfatado según Britos & Ematégui (2015), no influyó en la longitud de espigas del maíz, lo que coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación. Del mismo modo, Valdez & Gray (2014), tampoco encontraron diferencias en longitud de espiga con la aplicación de dosis crecientes de fósforo (P_2O_5) en el cultivo de maíz, registrándose promedio de 18±0,53 cm.

En el rendimiento de granos del maíz se encontró diferencia significativa entre las enmiendas utilizadas (Tabla 2). Con el estiércol de bovino (enmienda orgánica) se obtuvo 4.692 kg ha^{-1}, siendo el tratamiento con el mayor rendimiento de granos del maíz, superando al tratamiento sin aplicación de enmienda (testigo) en 761 kg ha^{-1}, mientras que el tratamiento con ceniza obtuvo 4.395 kg ha^{-1}, que fue estadísticamente igual al tratamiento sin enmienda y a la enmienda orgánica.

Tabla 2: Rendimiento de granos del maíz en función a fuentes de enmiendas. Ybyrarobana, Canindeyú, Paraguay. 2016.

Factor Enmienda Fuentes (Mg ha^{-1})	**Dosis**	**Rendimiento de granos**
		---- kg ha^{-1}----
Estiércol bovino	30	4.692 a
Ceniza	0,87	4.395 ab
Sin enmienda	0	3.931 b
CV%		**15,35**
Media general		**4.339**

CV, coeficiente de variación; Medias seguidas por diferentes letras difieren entre sí por el test de Tukey al 5% de probabilidad de error. ns, no significativo

La aplicación de materia orgánica a través del estiércol de bovino es muy utilizada en la mayoría de los cultivos. González (2016), utilizando la misma variedad de maíz, observó que el rendimiento de granos del maíz aumentó hasta un 15% con relación al testigo, aplicando 25 Mg ha^{-1} de estiércol de bovino incorporado al suelo y con la aplicación de 870 kg ha^{-1} de ceniza de expeller de soja de forma similar al presente experimento no observó aumento en el rendimiento en relación al testigo. Por su parte, Brizuela (2010), obtuvo incremento en el rendimiento de granos de maíz con la aplicación de 20 Mg ha^{-1} de enmienda orgánica (estiércol de bovino) en combinación con el fertilizante mineral (10-30-10), comparado con el testigo (sin aplicación de estiércol de bovino y sin aplicación de fertilizante mineral), en un orden de 370 %.

En la Figura 1 se observa que no se encontraron diferencia significativa entre las dosis de P_2O_5. Pero a pesar de no haber diferencia estadística, el tratamiento donde fue aplicado 120 kg ha^{-1} de P_2O_5, presentó un una tendencia de aumento en el rendimiento con 4.754 kg ha^{-1} comparado con el testigo donde se obtuvo 4.099 kg ha^{-1}. Los tratamientos con 0, 40, 80 y 120 kg ha^{-1} de P_2O_5, presentaron rendimientos crecientes de 4.099, 4.370, 4.407 y 4.754 kg ha^{-1} respectivamente, y con la aplicación de 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 se obtuvo una disminución en los rendimientos, con 4.067 kg ha^{-1}, posiblemente a consecuencia de un exceso en la dosis del fertilizante aplicado.

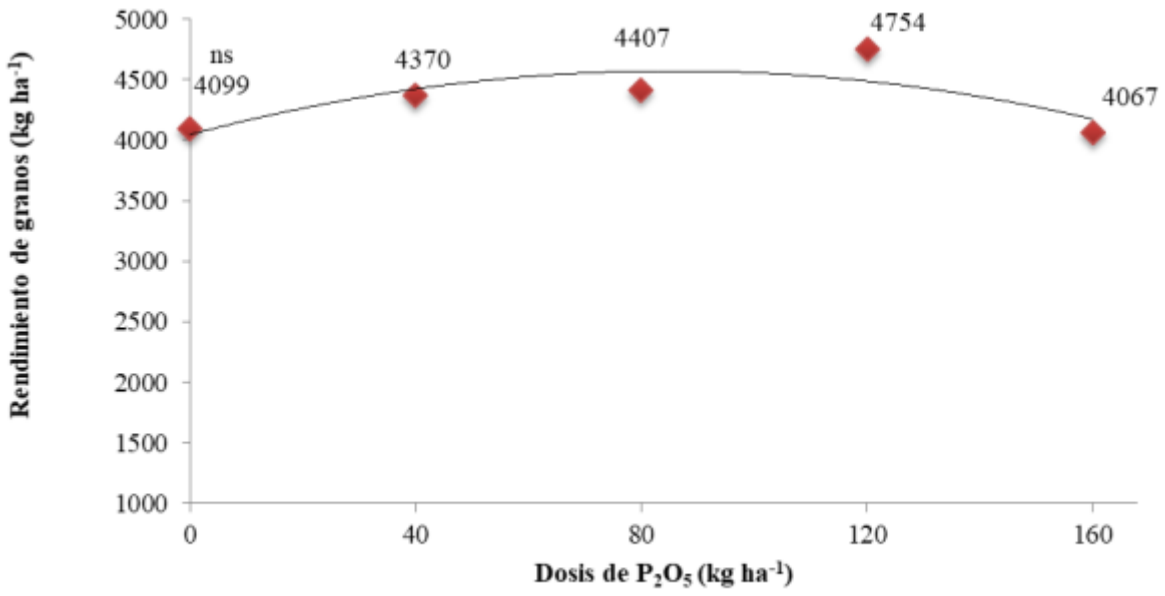


Figura 1: Rendimiento de granos del maíz en función a dosis de P_2O_5. Ybyrarobana, Canindeyú, Paraguay. 2016.

Estos resultados observados con las medias obtenidas en los parámetros de rendimiento, puede ser a consecuencia, según Silva (2007) de que solo el 20% aproximadamente del fósforo (P_2O_5) aplicado es aprovechado por el cultivo en el primer año, debido a que el fósforo liberado puede ser adsorbido por coloides del suelo o formar compuestos insolubles de hierro y aluminio.

Se estima que otro factor que influyó para que no haya diferencia entre las dosis de P_2O_5 fue no haber aplicado cal agrícola, ya que el suelo donde fue implantado el experimento presentaba pH de rango ácido, porque el Al^{+3} inhibió el crecimiento de raíces y la absorción de nutrientes.La aplicación de la cal agrícola no fue realizada porque se quería observar el efecto de las enmiendas en relación al pH del suelo.

Otro aspecto que se puede resaltar es que esos suelos ya están extremadamente deteriorados y la simple aplicación de fertilizantes en un año no es suficiente para su recuperación y principalmente la actividad biológica, la materia orgánica y la relación entre nutrientes no se encuentra beneficiada, por lo tanto, por más que se le dé los nutrientes a la planta, la parte física y orgánica del suelo limita la respuesta de los nutrientes aplicados, destacando que esos suelos están muy compactados.

En un experimento realizado por Britos & Emategui (2015), encontraron respuesta significativa en el rendimiento de granos del maíz fertilizada con fósforo y comparando con el tratamiento sin fósforo (testigo), registraron una diferencia de 2.363 kg ha^{-1}. Por su parte, Alvarado (2002) encontró respuesta significativa con la aplicación de fertilizante fosfatado sobre la producción de maíz, donde el mayor rendimiento fue de 6.545 kg ha^{-1} obtenido aplicando 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 y el menor fue de 5.688 kg ha^{-1}, que se obtuvo con el testigo (0 kg ha^{-1} de P_2O_5), sin embargo, no observó influencia para los parámetros longitud y diámetro de espigas, obteniéndose un promedio de 13,33 y 4,31 cm respectivamente.

CONCLUSIONES

En las condiciones en que fue realizado el experimento y considerando los resultados obtenidos en cada uno de los tratamientos se puede concluir que:

El cultivo de maíz responde a los tratamientos con las fuentes de enmiendas, siendo el estiércol de bovino (enmienda orgánica) el que indujo a la mayor producción, superando al testigo (sin aplicación de enmiendas) en todos los parámetros estudiados. Los tratamientos con dosis de P_2O_5 no presentaron respuesta en ninguna de las variables analizadas.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por financiar parte del trabajo dentro del marco del Proyecto 14-INV-130 “Manejo sostenible de la fertilidad de suelos para la producción de alimentos”.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción por el apoyo, mediante la utilización de infraestructura y equipos necesarios para el trabajo a campo y laboratorio.

Al Sr. Alejandro Duarte por facilitar la infraestructura y el terreno para la realización del experimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, LC. 2002. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nueva León. Nuevo León, MX.
- Barrios, M; E Sandoval; O Camacaro & J Borges. 2010. Importancia del fósforo en el complejo suelo–animal. Rev. Mun. Pec. 6:151-156.
- Britos, EM & VE Emategui. 2015. Diferentes formulaciones fosfatadas en la fertilización del maíz. San Lorenzo, PY. I Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo – IV Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. FCA-UNA. 134–137p. Disponible en: http://www.agr.una.py/fca/index.php/libros/catalog/view/314/16/327-1. Consultado 25 oct. 2016.
- Brizuela, FM. 2010. Efecto de diferentes dosis de estiércol vacuno y fertilizante mineral (10-30-10) en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) hibrido BR 106. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Asunción. Caazapá, PY.
- Fatecha, DA. 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, PY.
- González, E. 2016. Aplicación de dosis de nitrógeno con enmiendas orgánica e inorgánica en maíz chipá (*Zea mays* var. amiláceo L.). Tesis de Grado. Universidad Nacional Asunción. San Lorenzo, PY.
- Longoria, CS. 2000. Fertilización orgánica con estiércol bovino en diferentes fechas y dosis de aplicación en maíz blanco hualahuises. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, MX.

- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, PY). 2007. Datos Preliminares del Programa Nacional del Maíz. 108p.
- Omil, B. 2007. Gestión de cenizas como fertilizante y enmendante de plantaciones jóvenes de *Pinus radiata*. Tesis de Doctorado. Escuela Politecnica Superior de Lugo Universidad de Santiago de Compostela. Galicia, ES.
- Salhuana, W & V Machado, 1999. Razas de maíz en Paraguay, consideraciones en la organización y utilización de los recursos genéticos de maíz. Publicación 025. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación en Agricultura. Programa de Investigación del maíz del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Paraguay. 148p
- Silva, JA. 2007. Aplicação inicial de P_2O_5 no solo, avaliação em três cultivos sucessivos no feijão-caupi. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Areia, BR.
- Valdez, AS & MG Gray. 2014. Fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados en maíz. San Lorenzo, PY. III Congreso Nacional de Ciencias Agrarias, FCA-UNA. 295–297p. Disponible en: http://www.agr.una.py/descargas/tapas/IIICNCA2014.pdf. Consultado 20 oct. 2016.

C3P32. CONTRIBUCION DE LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DEL NITRÓGENO Y RESPUESTA A LA INOCULACION EN ARVEJA Y VICIA

Enrico, Juan M.[1]*: Piccinetti, Carlos F.[2]; Barraco, Mirian R.[3]; Agosti, M. Belén[4]; Eclesia, R. Paola[5]y Salvagiotti, Fernando[1]

1* EEA Oliveros (INTA), Ruta 11 km 353 (2206) Oliveros (SF); 2 IMYZA INTA Castelar, 3 INTA EEA Gral. Villegas, 4 Chacra Pergamino-Colón Aapresid, 5 INTA EEA Paraná
enrico.juan@inta.gob.ar.

RESUMEN

El aumento del N en el suelo es deseable para sostener la fertilidad química biológica del mismo. La inclusión de leguminosas en las secuencias de cultivos son esenciales para la incorporación de N a través de la fijación biológica (BNF), pero dicha contribución dependerá de la especie y su interacción con el rizobio, como así también con el uso que se haga de la leguminosa (cobertura o grano). En los últimos años se ha incrementado la utilización del cultivo de vicia en la región pampeana ya sea como cultivo de cobertura de suelos, abonos verdes o pastoreo directo. En todos los casos los objetivos son diferentes, ya que además del aporte nitrógeno al sistema es importante en el control de malezas o la reducción de la erosión. El cultivo de arveja también cultivado en invierno si bien puede hacer un aporte de N al sistema, su aporte será distinto ya que parte del N se exporta con el grano. Estos cultivos invernales hacen un aporte de residuos con distinta calidad y el maíz sembrado sobre estos antecesores ha mostrado una diferente respuesta a la fertilización comparado con un antecesor trigo. Si bien este aporte diferencial de N depende de la relación C:N de los residuos, para conocer el impacto de la inclusión de la leguminosa en el sistema es necesario conocer qué proporción del N es aportado por la fijación biológica (FBN%) y cuanto representa en términos de aporte en kg por ha (FBNkg). Por otra parte, en los suelos de la región pampeana estos cultivos no se realizan anualmente y en consecuencia las poblaciones de los rizobios específicos son bajos, por lo que se esperaría que la respuesta a la inoculación sea alta. Los objetivos del presente trabajo fueron: i) cuantificar FBN% y FBNkg en vicia y arveja para grano y ii) evaluar la respuesta del rendimiento, FBN% y FBNkg a la inoculación en ambos cultivos. Para alcanzar el primer objetivo, se evaluaron 14 sitios - año para el cultivo de vicia (Sativa y Villosa) y 10 sitios - año para arveja (cvs. Facon y Viper) en Oliveros, Uranga (Santa Fe), Paraná (Entre Ríos) y Gral. Villegas (Bs As). Para el estudio de la respuesta a la inoculación se realizaron dos experimentos en Oliveros en cada especie con la inclusión de dos tratamientos (con y sin inoculante). Cada experimento se realizó con un diseño en bloques completos al azar con 3 o 4 repeticiones. Durante el llenado de granos del cultivo de arveja y entre plena floración y/o inicios de llenado en Vicia determinó materia seca aérea (MST) y se midió el contenido de N a través de micro-Kjeldahl y el %FBN a través de la abundancia natural de 15N. Se utilizó trigo como cultivo marcador. En arveja se determinó el rendimiento en grano. Se analizó MST y FBNkg con regresión lineal simple y se compararon las pendientes con Test de Student. FBN%, el FBNkg y el Rto se analizó con ANAVA. Existió una relación lineal y significativa entre el FBNkg y la MST, donde por cada Mg de MS se absorbieron 14.1 kg de N sin diferencias entre cultivos. En arveja FBN% fue en promedio 64 % con un intervalo inter cuartil (q25-q75) de 53 y 84 %. Por otra parte, en promedio la vicia tuvo 61 % de FBN% con un intervalo inter cuartil (q25-q75) de 44 y 78 %. La captura de FBNkg fue 51 y 89 kg N ha^{-1} para arveja y vicia, respectivamente, con un intervalo inter cuartil (q25-q75) de 15 - 74 y 51 - 115 kg ha^{-1} respectivamente. En arveja no se encontró efecto de la inoculación sobre FBN% que fue en promedio de 48%, sin embargo, se incrementó un 55% el FBNkg y un 30% el rendimiento. La vicia inoculada presento un incremento de 22% y 50% en FBN% y FBNkg, respectivamente.

Palabras claves: N15, Sativa, Villosa

C3P33. DENSIDAD ÓPTIMA DE SIEMBRA EN MAIZ Y SU INTERACCION CON LA OFERTA NITROGENADA

Esposito, G.[1]; Cerliani, C.[1] y Naville, R.[1]

[1]Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. RN 36 km 601. Río Cuarto. Argentina. gesposito@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

En el cultivo de maíz la interacción entre la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada es estadísticamente significativa en la región pampeana Argentina. Por este motivo resulta fundamental elaborar un modelo de diagnóstico simultáneo de la densidad de siembra y la fertilización con N. Para ello se realizaron 6 ensayos de densidad por fertilización en maíz durante las campañas 2015/16 y 2016/17 en Justiniano Posse, Alejandro Roca, Río Cuarto y Vicuña Mackenna donde se evaluaron 4 densidades de siembra en combinación con 4 dosis de N, 30000, 60000, 90000 y 12000 semillas ha^{1} y 0, 100, 200 y 300 kg ha^{-1} de nitrógeno. El diseño experimental utilizado fue en parcelas subdivididas siendo las dosis de N el factor principal y la densidad el subfactor, con dos repeticiones espaciales por tratamiento. El maíz fue sembrado bajo siembra directa en fecha temprana (entre el 20/09 y el 10/10) y se utilizó el híbrido DK 7210 VTPro. A la 6º hoja se recolectaron muestras de suelo (0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm de profundidad) para la determinación de N-NO_3. La cosecha se realizó mecánicamente con monitor de rendimiento. Mediante análisis de regresión espacial se ajustó la función de rendimiento (R) dependiente de la densidad de siembra, de la dosis de N, sus formas cuadráticas y de su interacción. También se estimó la función de densidad para cada dosis de N y con ello se determinó la densidad óptima agronómica (DOA) por dosis de N probada. Se sumó la disponibilidad de N-NO_3 en V6 y la dosis de N aplicada y se dividió por cada densidad para obtener la oferta total de N por planta (NPP). Finalmente, se relacionó la NPP con la densidad a los efectos de estimar la NPP correspondiente con la DOA. Los resultados encontrados indican que todas la interacciones N:D fueron estadísticamente significativas, se ajustaron funciones de rendimiento versus densidad por dosis de N del tipo cuadrática con todos sus parámetros significativos lo cual permitió obtener DOA por experimento y por dosis de N. El ajuste entre la NPP y densidad también fue significativo y del tipo cuadrático. La relación entre la NPP en cada DOA y la dosis de N no fue estadísticamente significativa, por eso independientemente de la dosis de N, la DOA se relaciona con un valor medio de 2,3 g NPP (1,5 y 3,5). Este resultado permite comprender que a la DOA la oferta óptima de N debiera ser de 2,3 g NPP N-NO_3 del suelo 0-60 cm y la fertilización. Con estos datos y con el ajuste de la DOA según rendimiento alcanzable por ambiente en función del genotipo empleado se puede determinar los requerimientos de fertilización para que cada planta disponga de 2,3 g N.

Palabras claves: N:D, Fertilización, Oferta nutricional

C3P34. COMPOST DE CORRAL DE ENCIERRO DE FEEDLOT: MINERALIZÓN DEL N EN MEZCLAS CON SUELO

[1,2]Facciuto, Sebastián; [1]Alonso, Andrea G. [3], Oliva, Facundo[1], Lett, Lina A.C.[1] y Mestelan, Silvia A[1*].

[1]CIISAS (Centro Integrado de Investigación en Sistemas Agronómicos Sustentables), Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (FA-UNCPBA). [2]Becario de Entrenamiento CICPBA [3]Laboratorio de Análisis de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. [*] silvia.mestelan@hotmail.com

RESUMEN

Los residuos de *feedlot* bovino, compuestos por estiércol y materiales utilizados como piso de los corrales de encierro, han sido reconocidos como una fuente importante de N y otros nutrientes, y sin tratamiento y disposición adecuados constituyen un pasivo ambiental de estas operaciones concentradas animales, mientras que compostados y agregados al suelo podrían participar de un esquema circular de transferencia de nutrientes. Con la finalidad de evaluar el aporte potencial de N de compost de este origen, se muestreó compost de tres feedlots del Centro Bonaerense, de escala media a grande (Olavarría- Ola, de alrededor de 5000 cabezas y Tandil- Ta, y Saladillo- Sa, de hasta 15000 cabezas engordadas al año). En cada lugar, el estiércol fue mezclado con carbonatos (provenientes de canteras de tosca), que se usan para sellar el piso y con remanentes de horizontes Bt franco arcillosos o franco arcillo arenosos (en Tandil y Olavarría), o remanentes de horizontes Bw o C franco arenosos en Saladillo. Los compost se caracterizaron fisicoquímicamente, y tuvieron pHs entre 7,3 y 7,8 y conductividades eléctricas del orden de 0,7 a 2,5 dS m^{-1} (ambas variables medidas en extracto 1:5 compost : agua). El N total tomó valores de 0,64 a 0,80%, y la relación C:N fue del orden de 6,5 a 8,9. Mezclas de 500g de un horizonte A de un Argiudol típico (serie Azul) de pH 6,3, 2,45 % de C orgánico y 10,6 de relación C:N con compost húmedo (equivalente a 40 tn ha^{-1}) de cada feedlot fueron incubadas por cuadriplicado a 25°C y a capacidad de campo en estufa de incubación durante 56 días en bolsas Ziplock. Similares condiciones de incubación se sostuvieron para 4 bolsas que sólo contenían suelo – horizonte A, empleadas como testigo. Se extrajeron muestras de 50g para determinar $N\text{-}NH_4^+$ y $N\text{-}NO_3^-$ al tiempo 0, y a los 7, 14, 28 y 56 días de comenzada la incubación. El $N\text{-}NH_4^+$ se recuperó en forma significativa hasta los 14 días mientras que a partir de este muestreo solo se pudieron registrar cantidades apreciables de $N\text{-}NO_3^-$. Al finalizar la incubación se regresionaron contra el tiempo los valores de N mineralizado acumulativo ($N\text{-}NH_4^+ + N\text{-}NO_3^-$) respectivo del testigo, y por ajuste no lineal se estimaron los valores de N potencialmente mineralizable (N_0), resultando del orden de 39,75, 23,00 y 25,85 mg N kg^{-1} de mezcla suelo: compost para Sa, Ola y Ta. Las constantes (k) de mineralización ajustadas fueron 0,16, 0,08 y 0,12 mg N kg^{-1} de mezcla $día^{-1}$ respectivamente. Los compost de Sa están fuertemente mezclados con arenas, que ayudarían a mantener una estructura porosa de la mezcla estiércol-material de corral, que facilitaría la mineralización por mayor difusividad del O_2. En los 3 materiales no se logró mineralizar más allá del 32,29 % (Sa) del N total inicial, presentando el menor valor de mineralización el compost Ola (18,94%), sugiriendo la presencia de formas orgánicas del N de cierta recalcitrancia. Datos regionales de suelos abonados con estiércol de corral de encierro por períodos prolongados muestran que en efecto existe una acumulación más marcada del N que del C en los mismos.

Palabras claves: residuos pecuarios; abono; aporte de N

C3P35. APLICACIÓN DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS-PELLETS CON SEMBRADORAS CONVENCIONALES

Ferrari, Javier L*; Dosanto, Aldo M; Tittonell, Pablo A; Reuque, Raúl y Gazzotti, Juan I.
EEA INTA Bariloche

*ferrari.javier@bariloche.inta.gob.ar, CC227 (8400) INTA Bariloche. Te: 02944-422731

RESUMEN

Los abonos son fuentes de nutrientes para los cultivos, también tienen altos contenidos de materia orgánica, la cual mejora las propiedades físicas y químicas del suelo. El alto contenido de humedad y la baja densidad aparente de los abonos podría ser una limitante importante en su utilización a gran escala. Mediante la transformación de abonos en fertilizantes orgánicos por secado, molido y pelletizado podría mejorarse el transporte y almacenamiento y ampliar su uso en cultivos extensivos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación de fertilizantes orgánicos con maquinaria convencional. El trabajo fue realizado con un fertilizante orgánico producido a partir de estiercol de oveja. Se estabilizó el material bajo cubierta, posteriormente se hicieron pellets de 0,5 mm de diámetro y 0,5 de largo. Se determinó la humedad, la densidad aparente, pH, CE, N, P, Ca, Mg y K. Se aplicó el fertilizante con una sembradora con distribuidores de fertilizantes de estrella de velocidad fija y capacidad variable y otra sembradora con distribuidores chevron de capacidad fija y velocidad variable. Con la sembradora distruibuidor estrella no se alcanzo una dosis muy alta (64,4 kg ha^{-1}), los pellets pasaron sin dificultad por los distribuidores. Se observó una correcta aplicación tanto en el surco de siembra como en superficie. Con distribuidores chevrón se alcanzó una dosis mayor (183,7 kg ha^{-1}). Sin enbargo al calcular los kg ha^{-1} de P y N aplicados, resultan muy bajos en comparación con el PDA (con 20% de P y 18 % de N) debido a que la concentración de P y N en el fertilizante orgánico es muy baja (0,65 % P y 1,54 % N). El aporte fundamental del fertilizante orgánico es el carbono orgánico (27,6 %), el cual podría contribuir a evitar la perdida de materia orgánica de los suelos bajo agricultura.

Palabras clave: abonos, reciclado, nutrientes

INTRODUCCIÓN

Los abonos y abonos compostados son fuentes excelentes de nutrientes para los cultivos, los mismos pueden contener altos contenidos de materia orgánica, la cual puede ser usada para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo (Eghball & Power, 1994; Eghball 1999). Es probable que el carbono orgánico del abono tenga un valor mucho mayor que los nutrientes que contiene, si fuera aplicado a un suelo con baja materia orgánica o erosionado (Eghball & Power, 1994, Eghball 1999). Si bien métodos innovadores están siendo usados para transportar abono desde zonas productoras del mismo hacia zonas no productoras, esto no está ocurriendo a gran escala (Sharpley, 2003). El alto contenido de humedad y la baja densidad aparente podría ser una limitante importante en la utilización de los abonos en grandes superficies de cultivo. Mediante la transformación de abonos en fertilizantes orgánicos por secado, molido y pelletizado podría mejorarse el transporte y almacenamiento (López-Mosquera *et al.*, 2008) y ampliar la escala de utilización en pasturas naturales, cultivadas y cultivos extensivos ya que podría ser aplicado con maquinaria convencional (Ferrari *et al.*, 2015). La definición de fertilizante orgánico no está referida en este trabajo a los principios establecidos por la Federación Internacional de Agricultura Orgánica (IFOAM 2005), sino a un término más amplio debido a la presencia de carbono orgánico en estos materiales.

Los fertilizantes orgánicos son normalmente aplicados al voleo con esparcidoras centrífugas o de péndulo en cultivos intensivos, en cultivos extensivos no son comúnmente utilizados. Sin embargo mientras la superficies de los cinturones hortícolas y frutícolas alcanzan los miles de hectáreas y en suelos frecuentemente sobre enriquecidos en nutrientes, los cultivos extensivos alcanzan millones de hectáreas, en suelos frecuentemente con bajos niveles de fertilidad (García, 2001). Por ejemplo en nuestro país se siembran aproximadamente 20 millones de hectáreas de soja, con un balance negativo de carbono (Alvarez, 1995), pudiendo ser el destino de las grandes cantidades de materia orgánica y nutrientes acumulados en actividades ganaderas intensivas. Las sembradoras convencionales pueden aplicar el fertilizante tanto dentro del suelo como en superficie y son las mayormente utilizadas en cultivos extensivos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación de fertilizantes orgánicos con maquinaria convencional y estimar las dosis de nutrientes aplicadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado con un fertilizante orgánico producido a partir de estiercol de oveja (acumulado durante 1 año desde la última limpieza del corral). Fue recolectado de un corral techado a principios de septiembre de 2017 en un establecimiento de la localidad de Mallin Ahogado (El Bolsón). Se estabilizó el material bajo cubierta, en pila de 1,5 m^3, manteniendolo al 50% de humedad durante un mes, luego del cual no presentaba olor. Posteriormente se utilizó un molino de martillos y una peletizadora de placa y rodillos de pequeña escala con motor trifásico de 4 HP, diametro de agujeros de placa de 0,5 mm, largo de pellets 0,5 mm aproximadamente. Se secaron los pellets a 60 ºC previo a la aplicación, para las determinaciones quínicas se molió una muestra compuesta en molino de laboratorio. Se determinó la humedad (base húmeda), la densidad aparente (peso seco en volumen); el pH y la CE relación 1: 5 abono : agua. Se determinó N por digestión Kjeldahl y P, Ca, Mg y K por calcinación a 550ºC y extracción con ácido HCl. Posteriormente se determinó P por el método ascórbico molibdato, y Ca, Mg y K por absorción atómica (Westerman, 1990; Carter, 1993).

Para la aplicación del fertilizante, en la localidad de Cholila se empleo una vieja sembradora de arrastre marca Juber, con distribuidores de fertilizantes de estrella de velocidad fija y capacidad variable por apertura de la boca del dosificador. La sembradora cuenta con 9 cuerpos de siembra a 24 cm (ancho de labor 1,92 m) originalemente a zapata modificada a doble disco sembrador con resorte de safé y eje rígido en ruedas tapasurcos. Se recolectó en bolsitas de nylon el fertilizante aplicado en 100 m lineales, se pesó, se calculó el promedio, el desvio estandar y coeficiente de variación. Se calculó la dosis aplicada para el máximo de apertura del dosificador. Posteriormente se observó la aplicación dentro del zurco y luego con las mangueras de bajada sueltas, se observó la aplicación en superficie.

En la Localidad de Picún Leufú se empleo una sembradora nueva de tres puntos marca Surka con distribuidores chevron de capacidad fija y velocidad variable por engranajes y cadena, 9 cuerpos de siembra independientes con paralelogramo a 20 cm (ancho de labor 1,60 m). Se peso en bolsitas de nylon a dosis maxima y una dosis intermedia. Se cáluclo el promedio, desvió estandar y coeficiente de variación. Se trabajó con la máquina levantando la rueda que transmite el movimiento a los distribuidores, 25 vueltas de rueda de 2,28 m de circunferencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La densidad aparente del fertilzante orgánico, luego de secarlo a 60 º C aumentó de 0,55 Tn m^3 (Tabla 1) a 0,71 Tn m^3, este valor es similar a la densidad aparente de la UREA (0,70 Tn m^3) e inferior al PDA (0,95 Tn m^3). Aumentar la densidad aparente es un objetivo importante tanto para la aplicación como para el transporte y almacenaje del fertilizante (Alemi *et al.*, 2010). La humedad estuvo cercana al óptimo (10-15%) al momento de la peletización (Tabla 1) siendo muy importante la reducción de la humedad por secado artificial posterior a la peletización, tanto para el pasaje a través de los distribuidores como también para su almacenamiento. Si bien los pellets no tenían olor, el alto valor de pH (Tabla 1) sugiere que no se completó el proceso de compostaje.

Tabla 1. Valores de densidad aparente (Dap), humedad en base húmeda (H), pH en agua, conductividad eléctrica (CE) y nutrientes del fertilizante orgánico (FO) a partir de estiercol de oveja

	Dap	H	pH-H_2O	CE	C	N	P	Ca	Mg	K
	(Tn m^3)	(%)		(ds m^{-1})			(%)			
FO Pellet	0,55	21,6	9,0	5,8	27,6	1,54	0,58	1,49	0,32	0,68

En la tabla 2 se observan las dosis máximas alcanzadas. Con la sembradora de distruibuidores estrella (sembradora Juber) no se alcanzó una dosis muy alta (64,4 kg ha^{-1}), los pellets pasaron sin dificultad por los distribuidores, quedando enteros en las bolsitas de nylon. El coeficiente de varieación (14%) entre distribuidores es aceptable para una máquina de muchos años de uso. Se observó una correcta aplicación tanto en el surco de siembra como en superficie, en este caso soltando las manqueras de bajada del fertiliznte. Con distribuidores chevrón (sembradora Surka) se alcanzaron dosis mucho mayores (183,7 kg ha^{-1}). La dosis intermedia fue de 146,6 kg ha^{-1}, la máquina cuenta con multiples convinaciones de engranajes para lograr la dosis que se desee aplicar. En la actualidad la firma Juber en su

modelo alfa 2300, también tiene distribuidores chevrón, con 13 lineas a 17,5 cm, cuepos de siembra independientes con paralegramo y doble disco sembrador, lo que permitiría aplicar dosis aún mayores. Los distribuidores chevrón presentaron una gran precisión en la aplicación pudiendo descargar pellets de mayor tamaño, por ejemplo 0.8 cm por 1 cm de largo ya que si se quisiera aplicar dosis menores, varía la velocidad en vez de la apertura de la boca de descarga. Sin enbargo al calcular los kg ha^{-1}, por ejemplo de P y N, resultan muy bajos en comparación con el PDA (con 20% de P y 18 % de N) debido a que la concentración de P y N en el fertilizante orgánico es muy baja (0,65 % P y 1,54 % de N). El aporte fundamental del fertilizante orgánico esta en el carbono orgánico (27,6 %), el cual podría contribuir a evitar la perdida de materia orgánica de los suelos bajo agricultura. Podría aplicarse en forma alternada con fertilizantes inorgánicos, o reformularse la concentración de nutrientes en el momento de la pelletización. La adición de nutrientes fertilizantes minerales al abono durante la producción de fertilizantes en pellets organo-minerales aumenta las concentraciones de nutrientes, requiriendo tasas más bajas de aplicación a campo (Zebarth *et al*., 2005).

Tabla 2. Aplicación de fertilizante orgánico con dos sembradoras convencionales, ds: desvio estandar, cv: coeficiente de variación.

	distribuidores estrella 100 m lineales	distribuidor chevrón 57 m lineales
peso promedio por distribuidor en (g)	134,7 (ds: 18,9, cv: 14,0 %)	185,7 (ds: 3,1, cv:1,6%)
dosis máxima (kg ha^{-1})	64,4	183,2

Actualmente estamos estudiando el enriquecimiento de los pellets con materiales tanto orgánicos como inorgánicos con N, P y S. Los contenidos de nutrientes en pellets de distintos origenes y la liberación de nutrientes por mineralización deben ser estudiados también (Wang *et al.*, 2002). Qué efecto puede tener el fertilizante junto con la semilla, cómo responden las plantas y el suelo al agregado de fertilizantes orgánico son trabajos en curso que pueden aportar conocimiento de base para el reciclado de nutrientes.

CONCLUSIONES

Los resultados preliminares obtenidos muestran que es posible la aplicación de pellets orgánicos con sembradoras convencionales, las dosis de P y N son sustancialmente menores a los fertilizantes inorgánicos debido a la baja concentración de P y N en los abonos, aunque presentan la ventaja de aportar materia orgánica al suelo.

AGRADECIMIENTOS

Al Sr Carranza (productor agrpecuario de Mallin Ahorgado, El Bolsón), a Gustavo Rubinstein (productor agropecuario de Cholila), a Santiago Ruiz (productor de Picún Leufú). Trabajo financiado por los Proyectos Regionales INTA 1281101/02/03 y Programa Nacional de Recursos Naturales INTA.

BIBLIOGRAFÍA

- Alemi H, MH Kianmehr & AM Borghace. 2010. Effect of pellet processing of fertilizer on slow-release nitrogen in soil. Asian Journal of Plant Sciences. 9 (2): 74-80.
- Alvarez R, JH Lemcoff & AH Merzari. 1995.Balance de nitrógeno en un suelo cultivado con soja. Cienc Suelo. 13: 38-40.
- Carter MR. 1993. Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society Soil Science, Lewis Publ, CRC, Florida.
- Eghball B & JF Power. 1994. Beef cattle feedlot manure managment. J Soil Water Conserv, 49 (2): 113-122.
- Eghball B.1999. Liming effects of beef cattle feedlot manure or compost. Commun Soil Sci Plant Anal, 30 (19&20): 2563-25702.
- Ferrari JL; EE Martinez & MV Cremona. 2015. Nutrient balance in organic Raspberry production with dairy-manure amendments. Int J of Plant and Soil Sci, 7(5): 306-318.
- García F. 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana. Informaciones Agronómicas 9:1-3. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- IFOAM. 2005. The principles of organic agriculture. Bonn Germany: IFOAM. Available online at http://www.ifoam.org/about_ifoam7principles/index.html.

- Lopéz-Mosquera ME; F Cabaleiro; MJ Sainz; A Lopéz-Fabal & E Carral. 2008. Fertilizing value of broiler litter: Effects of drying and pelletizing. Bioresour. Technol. 99:5626-5633.
- Sharpley, AN; T Daniel; T Sims; J Lemunyon; R Stevens & R Parry. 2003. Página 21. Agricultural Phosphorus and Eutrophication. Second Edition. USDA-ARS. ARS–149, U.S.Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Wang Y; Y Katsumi & K Yakushido. 2002. Changes in Nitrate N content in different soil layers after the application of livestock waste compost pellets in a sweet corn field. Soil Sci. Plant Nutr, 48 (2): 165-170.
- Westerman RL. 1990. Soil testing and plant analysis. Third Edition. Soil Sci Soc Am, Inc Chapter 15, pag: 389:430. Madison, Wisconsin, USA.
- Yan, W; K Yamamoto & K Yakushido. 2002. Change in nitrate N content in different soil layers after the application of livestock waste compost pellets in a sweet corn field. Soil Sci Plant Nut, 48(2): 165-170.
- Zebarth BJ; R Chabot; J Coulombe; R Simard; J Douheret & N Tremblay. 2005. Pelletized organo-mineral fertilizer product as a nitrogen source for potato production.Can J Soil Sci. 85(3): 387-395.

C3P36. EXTRACCIÓN DE BASES DEL MODELO PRODUCTIVO, EN LOS SUELOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

García, Mirta G y Presutti, Miriam

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Calle 60 y 119. (1900). La Plata. Buenos Aires. Argentina. Correo electrónico: mirgarcia@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN

La provincia de Buenos Aires duplicó la superficie cosechada con trigo, maíz, soja y girasol en los últimos 47 años, la participación de la soja se ha incrementado notablemente, ya que en las primeras campañas este cultivo representaba el 1,2% de la superficie total cosechada, mientras que en la última (2015/2016) representa el 61,9 %. Esta predominancia conlleva a una extracción diferenciada de algunos nutrientes en particular, especialmente los cationes básicos: Ca^{2+}, Mg^{2+} y K^{+}, cuya reposición ha sido escasa o casi nula. El objetivo de este trabajo es visualizar áreas susceptibles de ser degradadas por la demanda sesgada de cationes básicos, provocado por el crecimiento exponencial de la superficie cultivada con soja en la provincia. Para ello se cuenta con la información básica de las Cartas de Suelos (1:50000), cuyo relevamiento permite determinar los umbrales críticos de las relaciones entre cationes para el desarrollo de la mayoría de los cultivos. Si bien estos datos no han sido actualizados, se podrían distinguir áreas más sensibles a presentar desbalance entre cationes, de mantenerse constante en el tiempo su dinámica en la matriz suelo. Se calculó la extracción de bases de los cuatro cultivos, (campañas 1969/2016), y se identificó por partido a aquel responsable de la mayor extracción de cada catión. Se visualiza a la soja predominando en los partidos del centro-norte de la provincia y en menor medida al trigo en el sur, respecto a sus requerimientos. Si se compara estos datos con las áreas más sensibles a presentar desbalances en los umbrales críticos originales, se podría predecir que la extracción sesgada de cationes causada por el cultivo de soja ampliaría y modificaría esos umbrales críticos originales, de mantenerse constante las condiciones de reposicion, y de no diversificarse las rotaciones y la tecnología acompañante; poniendo en peligro la sustentabilidad del agrosistema.

Palabras claves: relaciones cationes básicos, agricultura extractivista, sustentabilidad.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Buenos Aires duplicó la superficie cosechada con trigo, maíz, soja y girasol en los últimos 47 años, mientras que la producción se incrementó un 324%, en consonancia con los mayores rendimientos, sobre todo de los cultivos estivales. A nivel país, se triplicó el área cosechada para el mismo periodo y se sextuplicó la producción de estos granos. Desde la liberación de la soja transgénica en el año 1997 con el paquete tecnológico asociado (siembra directa, biocidas y fertilizantes) y la dependencia de las condiciones socio económicas del mercado que regulan las decisiones de uso de los suelos, se observa una tendencia al monocultivo de soja o en el mejor de los casos la combinación con trigo en un mismo año calendario. La predominancia de algún cultivo en particular genera deficiencias de nutrientes selectivas en el suelo, de acuerdo a la composición química del grano que se extrae. Si se tiene en cuenta que la aplicación vía fertilizantes arroja balance negativos de nutrientes (Cruzate &Casas, 2012; García & Gonzalez San Juan, 2016), se acrecienta la vulnerabilidad de los suelos por agotamiento o desequilibrio en sus reservas, poniendo en peligro la sustentabilidad del agroecosistema. Esto cobra relevancia para la soja, un cultivo fertilizado en baja proporción y particularmente sólo con P, y eventualmente algún micronutriente.

Este modelo de agricultura extractiva, se agrava en el caso de los nutrientes básicos (Ca^{2+}, Mg^{2+} y K^{+}), debido a que su reposición es escasa o nula (Gelati & Vázquez, 2004; Cruzate & Casas, 2009), situación que conlleva, entre otras causales a la acidificación de los suelos del ámbito templado. Estas bases son requeridas por las plantas en grandes cantidades para su crecimiento y el suelo los provee de acuerdo a la riqueza del material parenteral y el grado de meteorización, según las características climáticas y bióticas del lugar. Se encuentran adsorbidos en los coloides inorgánicos y orgánicos del suelo en equilibrio con las formas más inmediatamente asimilables en la solución edáfica, desde donde son absorbidos por las plantas y/o microorganismos e inmediatamente repuestas a la solución del suelo por intercambio catiónico para restablecer el equilibrio. Las reservas a largo plazo provienen de la mineralización de los residuos orgánicos y de la estructura mineral que los provee, como así también se pueden perder por erosión o lixiviación. La velocidad de estos procesos está determinada por la naturaleza y composición química de los coloides del suelo (Havlin *et al.*, 1999; Mengel & Kirkby, 2000), las condiciones climáticas y el manejo antrópico. En los suelos, aunque las cantidades netas disminuyen en relación a los contenidos iniciales, la proporcionalidad se conserva (Bertsch, 1998). Otro

proceso que se da, es la interacción entre cationes, niveles excesivos de uno puede causar deficiencias de otros por antagonismo. Si bien no existen calibraciones regionales en el país, luego de una amplia revisión bibliográfica, Vázquez y Pagani (2015) publicaron los siguientes umbrales críticos: Ca+Mg/K = 7-11/1; Ca/Mg = 3-15/1 y Ca/K = 13/1; que serían uno de los criterios de diagnóstico para identificar deficiencias relativas de algún catión en particular. Un valor superior a estos umbrales indicaría deficiencia relativa de los elementos del denominador, para la mayoría de los cultivos, con un rango de variación, según condiciones edafo-climático-culturales del sitio en estudio.

Nos interesa conocer el contenido de estos cationes que extraen los principales granos y cereales que se cultivan en la provincia de Buenos Aires, tales como trigo, maíz, soja y girasol. Se pueden estimar, tomando como base la planilla de cálculos de requerimientos nutricionales de IPNI (2016), donde se observa claramente que la soja se caracteriza por ser el grano que mayores requerimientos de cationes básicos necesita respecto a los otros cultivos. Si se valora con el 14% de humedad, para producir una tonelada de granos extrae desde el suelo 16 kg de K, 3 kg de Ca y 3 kg de Mg.

El objetivo de este trabajo es visualizar áreas susceptibles de ser degradadas por la extracción diferencial de cationes básicos, provocada por el crecimiento exponencial de la superficie cultivada con soja en la provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y MÉTODOS

Extracción de nutrientes básicos

Se analizaron las series históricas de estimaciones agrícolas elaboradas por el actual Ministerio de Agroindustria de la Nación, que consigna datos sobre superficie cosechada (ha), producción (t) y rendimiento (kg ha^{-1}), para los partidos de la provincia de Buenos Aires durante 47 campañas, desde la campaña 1969/70 hasta la 2015/16 de los cuatro cultivos principales: trigo, maíz, soja y girasol. En cada partido de la provincia y para cada cultivo individualmente, se aglomeraron los datos en cinco grupos (cuatro de 10 campañas y uno de 7) y se calcularon los rendimientos promedios de cada década, mediante la sumatoria de la producción anual dividida por la sumatoria de las superficies cosechadas anualmente en el mismo periodo. Los datos de extracción de nutrientes básicos en kg ha^{-1} fueron calculados utilizando la planilla elaborada por IPNI, Cálculo de requerimientos nutricionales (IPNI, 2016) a partir de los rendimientos medios calculados y con una humedad de grano de 14%. Las extracciones en kg ha^{-1} de todas las campañas y todos los cultivos fueron sumadas por partidos para obtener la extracción total de cada nutriente básico. Se generaron los mapas para cada catión y, en cada partido se elige el cultivo responsable de la mayor extracción del catión de referencia.

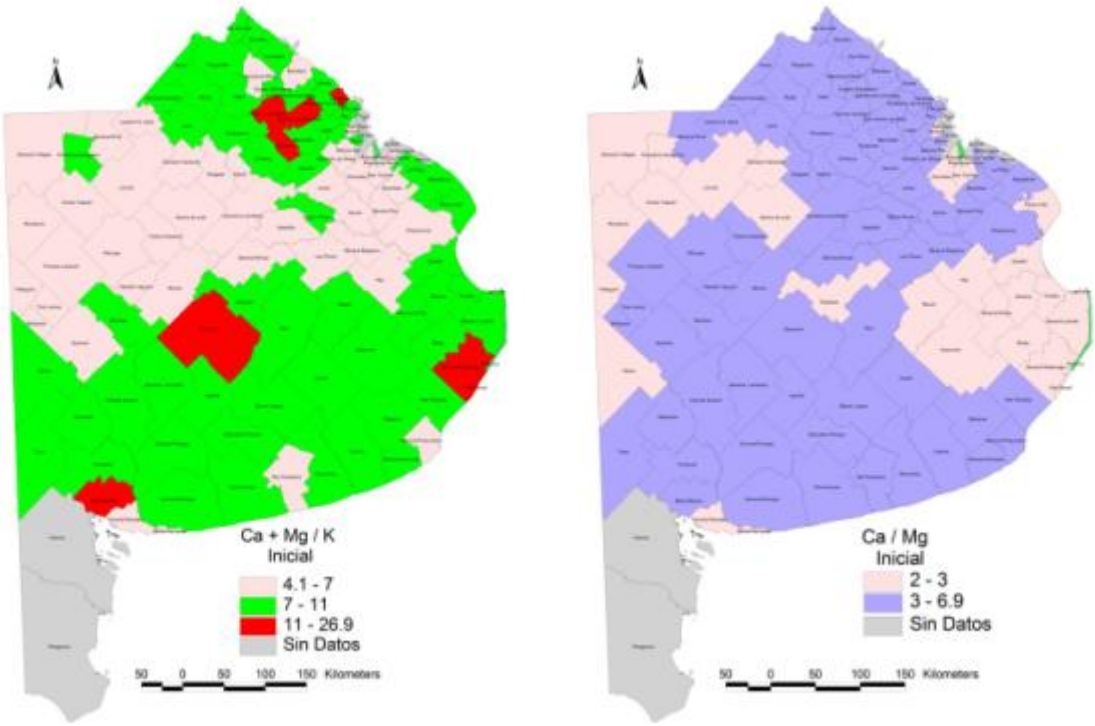
Relaciones entre nutrientes básicos

Se generó una base de datos con los contenidos intercambiables de Ca^{+2}, Mg^{+2} y K^{+} del horizonte superficial de las series de suelos descriptas por INTA, expresados en meq/100 g de suelo. Estos análisis químicos fueron realizados mayoritariamente durante las décadas del 60 y 70 y en menor medida en los 80. En un entorno SIG, fueron asociados a los polígonos de las unidades cartográficas, escala 1:50.000, los datos analíticos de la serie dominante. No se analizaron las unidades cartográficas definidas como complejos ni los partidos del sur bonaerense, Villarino y Patagones, por no estar relevados en la escala de trabajo. Se calculó un valor medio de la disponibilidad de cada catión por partido, mediante la ponderación de la superficie ocupada por las unidades cartográficas en cada partido y su correspondiente valor de disponibilidad. Se calcularon las relaciones iniciales Ca+Mg/K; Ca/Mg y Ca/K.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relaciones entre cationes básicos, según Cartas de Suelos (1:50.000), provincia de Buenos Aires

En la Figura 1 a) se observan los partidos que tienen una baja relación Ca+Mg/K, por debajo del umbral crítico (7-11/1) para la mayoría de los cultivos. Esto indicaría que el contenido de Ca y/o Mg por unidad de K, es menor. Para identificar cuál de ellos podría está en déficit se calculó la relación Ca/Mg, delimitando los partidos por debajo del umbral 3, tal como se visualiza en el mapa de la Figura 1 b), separándose así aquellas áreas con mayores posibilidades de sufrir déficit de Ca, de las otras que puedan presentar déficit de Mg (por encima de 3), considerando suficiencia de K.

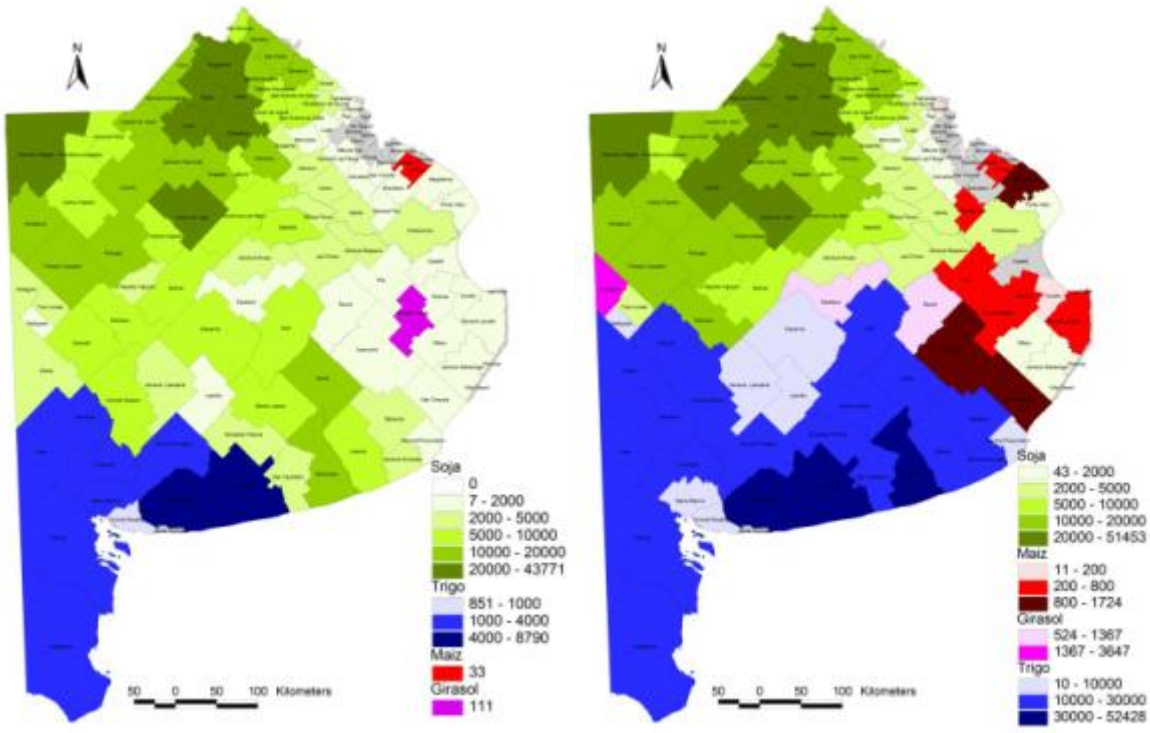


a) b)

Figura 1: Relaciones entre cationes básicos en la provincia de Buenos Aires

De manera general, se podría decir que el noroeste de la provincia y los partidos que delimitan el norte de la Pampa Deprimida presentan desbalances de Ca y/o Mg respecto al K. Cuando se compara lo que sucede al efectuar la relación Ca/Mg solamente se identifican algunos partidos más al oeste, tales como Gral Villegas, Rivadavia, Pellegrini, Adolfo Alsina, Ameghino, Carlos Tejedor, Leadro N Alem y Gral Viamonte como deficitarios en Ca, mientras que el resto de los partidos presentarían desbalances de Mg con respecto al Ca. Esta observación es importante a tener en cuenta por las consecuencias nutricionales sobre los cultivos, que podrían afectar su rendimiento.

También se identificó al cultivo que extrajo la mayor cantidad de toneladas de cada catión por partido a lo largo de estas 47 campañas. Se confeccionaron los mapas de la Figura 2 a) y b) donde se representa la extracción de Ca y Mg, y el cultivo responsable de esa mayor extracción por partido. Por los datos relevados respecto a la superficie cosechada con soja se observa que durante las primeras campañas este cultivo representaba el 1,2% de la superficie total cosechada, mientras que en la última campaña representa el 61,9 %.



a) b)

Figura 2. Extracción de Ca y Mg respectivamente ($t.ha^{-1}$) por el cultivo dominante.

Si se tiene en cuenta que la soja es el cultivo más extractivo de cationes y el de mayor superficie cosechada, claramente estaría en peligro la sustentabilidad del modelo productivo que se viene imponiendo en los últimos años. Coincidentemente en el NO y centro-norte de la Depresión del Salado fue caracterizada inicialmente con umbrales en las relaciones entre cationes por debajo de la situación crítica. Faltarían relevamientos de actualización de los datos analíticos de las cartas de suelos georreferenciados para corroborar de manera sistemática esta evolución. No obstante, numerosos investigadores recopilan información, Sainz Rozas et al (2013) demostraron una pérdida del 40-50 % de materia orgánica en el área pampeana, causada por la alta intensificación agrícola, falta de rotaciones con pasturas y el incremento en la frecuencia del cultivo de soja en las rotaciones

En la Figura 3 se observa la magnitud en la extracción de K por los cultivos estudiados. La zona sur y sureste la provincia de Buenos Aires, es apta ecológicamente para el cultivo de trigo, y como tal es el cultivo que representa la mayor extracción de Ca, Mg y K en esta zona, a excepción de los partidos de Lobería y Necochea.

El trigo requiere más Mg proporcionalmente respecto al Ca, tal como se visualiza en el mapa de la Figura 2 b) y tiene una mayor demanda de K, pero no parece ser este un catión preocupante de mantenerse las relaciones iniciales entre cationes (Figura 1) y una dinámica constante de reposición en el suelo. Se observa que la soja estaría cultivándose en los partidos de Lobería y Necochea, mencionándose como el cultivo de mayor extracción de K, ya que por tonelada quintuplica los requerimientos del trigo. Se entiende que estaría vigente la rotación trigo/soja de 2da, que de mantenerse las relaciones de extracción de Ca en el caso de la soja es mucho mayor que si se cultivara trigo.

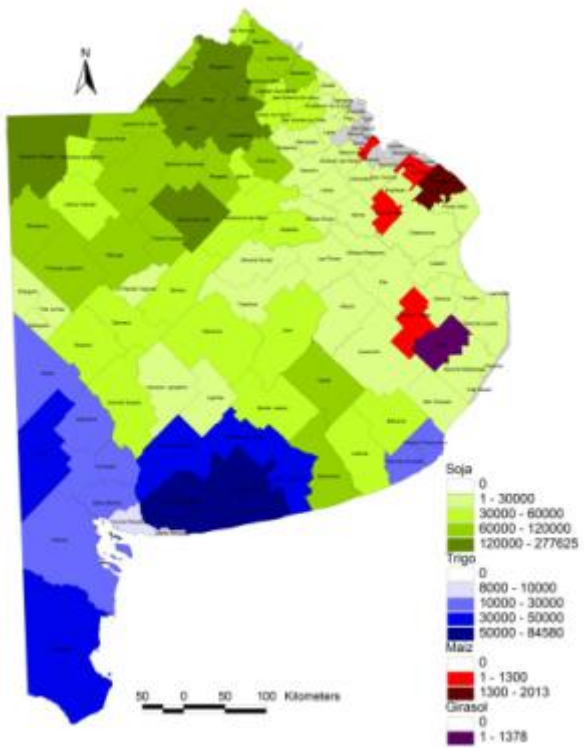


Figura 3. Extracción de K por los principales cultivos (47 campañas) en la provincia de Buenos Aires.

Habría que observar la evolución en la rotación por el desbalance de cationes, una mayor extracción de K en relación al Ca + Mg incrementaría el umbral crítico, tornándolos inadecuados para una correcta nutrición de los cultivos. Sainz Rozas et al (2013) encontraron aumentos en el umbral crítico para la relación Ca+Mg/K, al comparar suelos bajo agricultura versus prístinos en el NE de la provincia, a pesar de ser suelos muy bien provistos de K provenientes del loess pampeano como material originario.

CONCLUSIONES

- La provincia de Buenos Aires presenta áreas con umbrales críticos entre cationes por debajo de los considerados óptimos para la mayoría de los cultivos, según información originada a partir de las Cartas de suelos.

- La soja es el cultivo predominante en el modelo agrícola imperante en la provincia, siendo sus requerimientos de cationes básicos mayores a los del maíz, trigo y girasol.

- La extracción sesgada de cationes causada por el cultivo de soja ampliaría y modificaría esos umbrales críticos originales, de mantenerse constante las condiciones de reposicion, si no diversificarse las rotaciones y la tecnología acompañante.

- Se acentuaría la problemática de acidificación a largo plazo, por disminución de la capacidad de resiliencia de los buenos suelos bonaerenses.

BIBLIOGRAFÍA

- Bertsch, F. 1989. La fertilidad de los suelos y su manejo. Editorial: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. 163 pp.
- Cruzate, G.A., y R. Casas. 2009. Extracción de Nutrientes en la Agricultura Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, IPNI. 44:21-26.

- Cruzate G.A., y R. Casas. 2012. Extraccción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, IPNI. 6: 7-14.
- García FO y MF González San Juan.2016.Consumo de fertilizantes en el mundo y en la Argentina. Sustentabilidad de los Agrosistemas y el uso de fertilizantes. Cap. 3:61-84. VRL del website: http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/.pdf. Consultado 13/3/18.
- Gelati P y ME Vázquez. 2004. Exportación agrícola de nutrientes básicos en la zona norte de la Provincia. de Buenos Aires y el costo de su remediación. Acta Segundas Jornadas de la Asociación Argentino Uruguaya de Economía Ecológica (ASAUEE), 12-13/11, Lujan, Argentina. p. 28-29.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L.Tisdale, and W.L. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. 6th Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. 499 p.
- IPNI. 2016. Cálculo de requerimentos nutricionales. Versión 2016. URL del website: http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024. Consultado 13/3/18.
- Mengel K., Kirkby E.A. 2000. Principios de Nutrición Vegetal. Ed. Instituto Internacional de la Potasa, Basilea Suiza. 4ta Ed. 1ra Ed. en español. 692 p.
- Vazquez, M. y A. Pagani. 2015. Calcio y magnesio. Manejo de fertilización y enmiendas. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed. INTA. García (eds) En H. E. Echeverría y F. O. García. Buenos Aires. Argentina. P. 317-355.

C3P37. ¿QUE SUCEDE CON LAS FORMAS DE FÓSFORO CUANDO SE UTILIZAN CULTIVOS DE COBERTURA EN SUELOS DEGRADADOS?

Giannini, Ana P.; Irizar Alicia B. y Andriulo, Adrian E.

INTA EEA Pergamino, Ruta 32 Km 4,5. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. giannini.anapaula@inta.gob.ar

RESUMEN

En la Pampa Ondulada, la intensificación de la agricultura provocó un detrimento de la calidad de los suelos. A fines de la década del '80, los suelos habían perdido el 30% de sus reservas de carbono y el 42% de las reservas de fósforo total de la capa arable. La búsqueda de nuevos caminos para evitar que los suelos continúen deteriorándose está en marcha. Actualmente, los cultivos de cobertura (CC) se presentan como alternativa para atenuar las pérdidas de carbono del suelo, como así también de los demás nutrientes limitantes. Sin embargo, muy poco se ha estudiado en relación a la dinámica del fósforo (P) en sistemas con CC, en los cuales se podría ver afectada la nutrición mineral del cultivo siguiente. El objetivo de éste trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de un CC de avena/vicia en una secuencia soja-soja sobre distintas formas de P del suelo en el corto plazo. Se tomaron muestras de suelo de un ensayo de largo plazo bajo monocultivo de soja en siembra directa localizado en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Pergamino. Los tratamientos evaluados fueron: monocultivo de soja sin CC y con CC. A la siembra del cultivo de soja se aplicaron 12 kg P ha^{-1} año y los CC no se fertilizaron. Se tomaron muestras compuestas de suelo a cuatro profundidades (0-5, 5-10, 10-20 y 20-30 cm) en cuatro sitios seleccionados al azar. El fósforo extractable (Pe) se determinó mediante colorimetría y el P total (P inorgánico + P orgánico) y el Po mediante calcinación. Además, se midieron los valores de pH en disolución acuosa. Luego de cuatro años, la inclusión de CC en suelos degradados por monocultivo de soja generó un aumento del 13% (45 ppm) del P total a 0-5 cm de profundidad (no existieron diferencias entre tratamientos en las otras profundidades de suelo evaluadas). Con respecto al Pe, aumentó 64% (23 ppm) a 0-5 cm y 67% (7 ppm) a 5-10 cm, no existiendo diferencias en las demás profundidades. El pH disminuyó de 6,3 a 5,4 con CC solamente en 0-5 cm. El Po no mostró diferencias significativas entre tratamientos; esto puede deberse a la rápida mineralización de compuestos orgánicos lábiles aportados por los CC en las primeras etapas de la descomposición. El resultado de esta mineralización estaría reflejado en la generación de ácidos, provocando la disminución de pH, y en el aumento de P mineral. La inclusión de CC aporta una fracción orgánica de P que favorece el reciclado de dicho nutriente, el P vuelve al suelo en formas lábiles provocando un aumento del P inorgánico y del P de la solución del suelo. Esto disminuiría la probabilidad de afectar negativamente la nutrición fosforada del cultivo principal de la rotación y además, permitiría ajustar las dosis de fertilizante fosforado. De todas formas, se necesita más estudio para evaluar el efecto de dicha tecnología sobre las formas de P del suelo.

Palabras claves: calidad de los suelos, cultivos de cobertura, reciclado de P.

C3P38. MICRONUTRIENTES EN SUELOS SEGÚN DOS SOLUCIONES EXTRACTORAS: MODELOS DE CORRELACIÓN ENTRE MEHLICH-3 Y DTPA-TEA

Giannini Kurina, Franca; Balzarini, Monica; Rampoldi, E. Ariel y Hang, Susana.

CONICET; Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.
francagianninikurina@gmail.com

RESUMEN

Una alternativa para la cuantificación de micronutrientes disponibles para los cultivos en suelo consiste en utilizar soluciones extractoras como Mehlich-3 y DTPA-TEA. Actualmente, no existe un consenso sobre la elección de una u otra y los resultados obtenidos por ambos métodos no pueden compararse entre sí. Se evaluó la extracción de Fe, Mn, Cu y Zn utilizando dos soluciones extractoras en suelos a fin de detectar relaciones entre los resultados de ambos métodos en función de las características del suelo. A 93 suelos de los primeros 15 cm de profundidad provenientes de diferentes sitios de la provincia de Córdoba se les cuantificó pH, nitrógeno total, carbono orgánico total, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, arena, limo, arcilla. Los elementos Fe, Mn, Cu y Zn se extrajeron con Mehlich-3 y DTPA-TEA y se cuantificaron por espectrofotometría de absorción atómica. Para los cuatro elementos estudiados Mehlich-3 registró mayores concentraciones resultando la solución extractora más agresiva. Las concentraciones obtenidas por ambos métodos se correlacionaron y mostraron un ordenamiento equivalente de los suelos estudiados. En los suelos de pH más alto las diferencias entre los métodos fueron mayores. Para cada micronutriente se propuso un modelo en base a propiedades de suelo previamente seleccionadas (pH y Arena) que describió la relación entre las dos soluciones extractoras para el elemento evaluado. Los mejores ajustes se lograron para Fe (R^2=0,81) y Mn (R^2=0,73) mientras que los modelos para Cu (R^2=0,67) y Zn (R^2=0,66) registraron mayor error.

Palabras claves: modelos de regresión, métodos de determinación.

INTRODUCCIÓN

Existe hoy un creciente interés en aquellos nutrientes que se necesitan en pequeñas cantidades por los cultivos. Este foco de atención radica en las potenciales mermas de rendimiento por deficiencias y las respuestas observadas en términos de rendimientos a la fertilización por micronutrientes (Modaihsh, 1997; Johnson *et al.*, 2005). Los incrementos en la exportación de nutrientes debido al aumento sostenido de rendimientos y a la intensificación de uso sobre suelos agrícolas también deviene en la necesidad de incorporar micronutrientes vía fertilización (Takkar, 1993, Gubta *et al.*, 2008).

Las concentraciones de micronutrientes en suelos están determinadas por el sustrato geológico original y los subsiguientes regímenes geoquímicos y pedogenéticos (Hodgson, 1963; Holmgren *et al.*, 1993; Gubta *et al.*, 2008). Sin embargo, su biodisponibilidad, es decir la fracción disponible para ser absorbida por el cultivo, varía según características propias del suelo y las condiciones de la rizosfera. Las características del suelo que condicionan la disponibilidad de nutrientes son pH, contenido de materia orgánica y aquellas que determinan las superficies de adsorción (Giddens, 1964). La disponibilidad de micronutrientes para las plantas puede estimarse por soluciones extractoras que simulan la capacidad de absorción de la planta (Gubta *et al.*, 2008), y de este modo comparar la concentración de nutrientes entre diferentes suelos, establecer concentraciones umbral para definir fertilizaciones, evaluar interacciones entre nutrientes.

Entre las soluciones extractoras más utilizadas para cuantificar micronutrientes tales como Fe, Mn, Cu y Zn se encuentran Mehlich-3 y DTPA-TEA. La solución Mehlich-3 trabaja a pH 3, permite extraer simultáneamente P, Ca, Na, K, Mn, Fe, Mn, Cu y Zn pudiendo emplearse tanto para suelos ácidos como para suelos de origen calcáreo. Además, se ha demostrado que las cantidades extraídas con este método correlacionan con la respuesta del cultivo (Wang *et al.*, 2004). La solución DTPA-TEA trabaja a pH 7,3, y fue desarrollada para medir exclusivamente formas disponibles de Zn, Fe, Mn o Cu en suelos neutros y calcáreos. Actúa a través de la formación de complejos con cationes solubles, lo que provoca el desplazamiento de aquellos que se encuentran retenidos en los sitios de intercambio o formando complejos con la materia orgánica (Melgar *et al.*, 2001).

Actualmente, si bien existen diversos estudios que abordan la cuantificación de micronutrientes a partir de distintas soluciones extractoras, no existe un consenso sobre la elección de una u la otra (Cancela *et al.*, 2001; Behera &

Shukla, 2014). Los laboratorios eligen sobre la base de su experiencia práctica, y los resultados obtenidos muchas veces no pueden utilizarse en análisis comparativos globales. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar como contribuyen las propiedades del suelo a explicar las diferencias en las concentraciones de micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn) obtenidas por las soluciones extractoras Mehlich-3 y DTPA-TEA; para posteriormente, modelar la relación entre ambas y proponer una función que permita llevar los resultados obtenidos por uno u otro método a la misma escala de análisis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelos

Se trabajó con muestras de suelos de los primeros 15 cm de 93 sitios que cubren una superficie de 14,2 millones de hectáreas de la provincia de Córdoba, Argentina limitada por los paralelos de 29º y 35º de latitud sur y los meridianos de 61° y 65° de longitud oeste. Los órdenes de suelo de los sitios muestreados correspondieron a Molisoles (72%), Entisoles (13%) Aridisoles (5%) y Alfisoles (5%). El uso del suelo se concentró en agrícola (72%) y el 28% restante se repartió entre vegetación natural (pastizales y monte) y pasturas implantadas.

Métodos y análisis

En cada muestra se determinó pH en agua 1: 2,5 (suelo: agua); carbono orgánico total (COT) usando combustión húmeda con $K_2Cr_2O_7$ 1N según el método de Walkley & Black; N total (NT) con el método Kjeldahl; capacidad de intercambio catiónico (CIC) por saturación con acetato de amonio 1N a pH 7; arena, limo y arcilla por el método de la pipeta de Robinson. Las técnicas se realizaron según Sparks (1996).

Para cada muestra de suelo se realizaron dos extracciones diferentes de Fe, Mn, Cu y Zn. Una a partir de la solución extractora Mehlich-3 (Mehlich, 1984) y la otra a partir de la solución extractora DTPA-TEA (Lindsay & Norvell, 1978). La cuantificación en los sobrenadantes se realizó por espectrofotometría de absorción atómica (PinAAcle 900, Perkin Elmer Inc.) con una lámpara multielemento para Fe, Mn, Cu y Zn de cátodo hueco.

Análisis estadístico

Se obtuvieron los coeficientes de correlación lineal de Pearson entre las concentraciones obtenidas por las dos soluciones extractoras, y mediante prueba T apareada se evaluó la significancia estadística de las diferencias de medias entre ambas. Mediante análisis multivariado de Procrustes (Balzarini *et al.*, 2015) se cuantificó el consenso en el ordenamiento de las muestras según los valores de Fe, Mn, Cu y Zn determinados por ambos extractantes.

Se calculó la diferencia porcentual entre las concentraciones obtenidas con ambas soluciones extractoras para cada elemento. Las cuatro diferencias porcentuales (una por cada elemento) se explicaron, mediante regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) (Balzarini *et al.*, 2015), a partir de las variables edáficas (pH, NT, COT, CE, CIC, arena, limo y arcilla). Posteriormente, para explorar cuánto contribuyó cada variable edáfica a explicar las diferencias porcentuales se realizó análisis por árboles de clasificación y regresión (BRT) (Elith *et al.*, 2018) utilizando cada diferencia relativa como variable respuesta y el conjunto de variables edáficas como predictoras.

Se modelaron las concentraciones extraídas por DTPA-TEA en función de la concentración obtenida por Mehlich-3, agregando las covariables edáficas que resultaron significativas a partir un análisis de regresión lineal múltiple. De esta manera se evaluó la magnitud y el sentido de cada covariable, y se propuso una relación entre las concentraciones de ambas extractoras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización de las propiedades edáficas de los suelos con los que se trabajó se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades edáficas de los suelos evaluados. N=93

Variable		Media	Mínimo	Máximo
pH	1:2,5 (s:H_2O)	6,74	5,31	10
CE	1:2,5 (s:H_2O) dSm^{-1}	2,97	0,17	75,37
COT	g kg^{-1}	13,48	2,75	27,94
NT	%	0,13	0,05	0,36
CIC	Cmol kg^{-1}	15,93	7,2	29,4
ARENA	%	39,55	0,6	86,3
LIMO	%	41,24	4	88,1
ARCILLA	%	19,35	0,2	44,6

Las concentraciones extraídas por DTPA-TEA y Mehlich-3 presentaron correlaciones para los cuatro micronutrientes evaluados. Se observaron diferencias entre medias de las concentraciones extraídas por las dos extractoras (Tabla 2), indicando que la extracción generada por Mehlich-3 superó la obtenida por DTPA-TEA (Tabla 2). Mehlich-3 posee a un pH de 3 cuatro puntos por debajo de DTPA-TEA, que tiene un pH de 7,3, por lo cual genera un disturbio mayor en suelos con pH cercanos a la neutralidad como los evaluados en este trabajo.

Tabla 2: Correlaciones y diferencias de medias entre concentraciones extraídas por Mehilich-3 y DTPA-TEA

	Fe		Mn		Cu		Zn	
	DTPA-TEA	Mehlich-3	DTPA-TEA	Mehlich-3	DTPA-TEA	Mehlich-3	DTPA-TEA	Mehlich-3
Coeficiente de correlación	0,83		0,51		0,45		0,75	
Media	49,9	114,7	68,2	150,8	1,4	1,6	1,1	1,3
p-valor	<0,01		<0,01		0,01		0,04	
Diferencias de medias relativa	57%		55%		17%		16%	
p-valor	<0,01		<0,01		0,01		0,04	

El análisis de Procrustes registró una configuración de consenso del 85% entre los ordenamientos generados por Mehlich-3 y DTPA. Este resultado indica que de manera global la variabilidad entre los suelos es similar para las dos soluciones extractoras. Es decir, los comportamientos no se alteraron por utilizar una solución extractora u otra.

A partir del análisis PLS (Figura 1) se pudo identificar que las mayores diferencias de concentraciones entre extractoras se observaron para Fe y Mn y fueron explicadas por el pH. Similares observaciones fueron presentadas por Behera et al. (2014). Las diferencias de concentración para Cu y Zn, correlacionaron negativamente con el porcentaje de arena y positivamente con COT, NT, CIC y arcilla. Los suelos con mayor contenido de arena registraron menores diferencias. Esto se explica en parte, por los bajos niveles de los elementos estudiados que estos suelos presentaron. Obrador *et al.* (2017) reportaron que suelos con bajo contenido de COT y alto porcentaje de arena contenían bajas concentraciones de Cu y Zn.

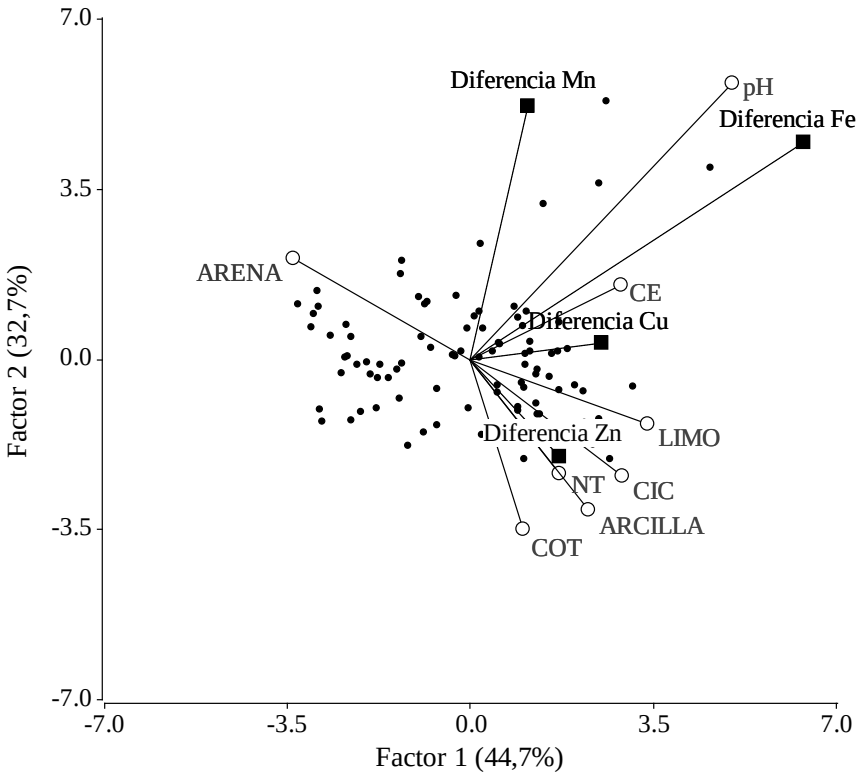


Figura 1: Triplot, análisis PLS. Se pueden observar simultáneamente las muestras (círculos negros), las variables edáficas utilizadas para caracterizarlas (círculos blancos) y las diferencias porcentuales entre soluciones extractoras para cada elemento (cuadrados negros). Variables correlacionadas positivamente se encuentran formando ángulos cerrados y variables correlacionadas negativamente se encuentran formando ángulos abiertos.

La contribución relativa de cada una de las propiedades edáficas a la diferencia porcentual entre Mehlich-3 y DTPA-TEA (Tabla 3) observadas a partir del análisis BRT confirmó los resultados del análisis PLS. Para Fe, Mn y Cu se incrementaron las diferencias entre extractoras a mayor pH de suelo. Para Mn y Fe las diferencias fueron mayores ante un mayor contenido salino (CE). Por otra parte, para Cu y Zn las diferencias fueron explicadas en mayor medida por COT y NT.

Tabla 3: Contribución relativa de cada una de las propiedades edáficas a la diferencia porcentual entre las concentraciones obtenidas entre Mehlich-3 y DTPA-TEA, para cada micronutriente.

Variable	Diferencia Fe	Diferencia Mn	Diferencia Cu	Diferencia Zn
Arcilla	4,3	5,8	6,6	4,1
Arena	11,4	5,6	8,5	16,1
CE	18,1	11,9	5	8,3
CIC	6,2	12,1	9,7	6,6
COT	13,5	5,3	24,8	23,2
LIMO	18	24,2	15,9	10,1
NT	5,6	4,2	5,7	27,8
pH	23	31	23,8	3,6

Contribución Relativa Porcentual (%)

Finalmente, se modelaron las concentraciones extraídas por DTPA-TEA en función de las extraídas por Mehlich-3, los términos y coeficientes de cada modelo se muestran en la Tabla 3. Los mejores ajustes se lograron para Fe y Mn, mientras que para Cu y Zn, los modelos tuvieron mayor error. Los términos correspondientes a las extracciones de cada elemento por Mehlich-3 mostraron para todos los modelos una pendiente positiva menor a uno. Los β para pH fueron siempre negativos correspondiéndose con lo observado en los análisis anteriores en donde las diferencias entre las

extractoras fueron mayores a medida que el pH de suelo aumentó. La variable Arena se adicionó a los modelos de Fe, Mn y Cu; para Mn y Cu su contribución resultó negativa mientras que para Fe esta fue positiva.

Tabla 4: Modelos propuestos para predecir valores obtenidos por extracciones a partir de DTPA-TEA en función de las concentraciones obtenidas por Mehlich-3, pH del suelo y contenido de Arena.

Termino del modelo	Fe		Mn		Cu		Zn	
	β	E.E.	β	E.E	β	E.E	β	E.E
constante	288,25	82,15	289,12	30,25	3,32	0,33	2,15	0,36
Mehlich-3	0,38	0,03	0,15	0,06	0,07	0,04	0,37	0,03
ARENA	0,31	0,07	-1,18	0,17	-0,02	0,00	-	-
pH	-72,48	22,41	-29,19	4,28	-0,21	0,04	-0,23	0,05
pH^2	4,23	1,55	-	-	-	-	-	-
ECMP*	283,14		873,52		0,1		0,12	
R^2	0,81		0,73		0,67		0,66	

Los términos del modelo presentados resultaron significativos (p-valor <0,05). * Error Cuadrático Medio de Predicción

CONCLUSIONES

Las concentraciones obtenidas por ambos métodos se correlacionaron y mostraron un ordenamiento equivalente de los suelos estudiados. Las propiedades involucradas en las diferencias existentes entre métodos fueron propiedades que regulan la concentración de estos elementos en el suelo. En suelos con mayor pH se incrementaron las diferencias entre ambos métodos. Las concentraciones de Fe, Mn, Cu y Zn obtenidas por Mehlich-3 fueron mayores a las obtenidas por DTPA-TEA. Finalmente, se obtuvieron modelos de regresión para cada elemento que permitiera estimar las concentraciones para una solución extractora en base a la otra y las propiedades del suelo contenido de arena y pH. Los mejores ajustes se lograron para para Fe y Mn mientras que para Cu y Zn el error fue mayor. Los modelos propuestos podrán ser utilizados en situaciones en las que sea necesario comparar valores obtenidos por los diferentes métodos de extracción.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Agencia de Promoción de Ciencia y Tecnología (ANPCyT-PICT 2014-1071), al Ministerio de Ciencia y Tecnología de la provincia de Córdoba (MinCyT-PIODO 2015), al Consejo Nacional de Investigación Científica y Técnicas (CONICET-PIP 2015) y al laboratorio de suelos de INTA Manfredi por su apoyo a esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Balzarini, M, C Bruno; M Córdoba & I Teich. 2015. Herramientas en el análisis estadístico multivariado. Córdoba, Argentina.
- Behera, SK & AK Shukla. 2014. Total and extractable manganese and iron in some cultivated acid soils of India: Status, distribution and relationship with some soil properties. Pedosphere 24(2): 196-208.
- Cancela, RC; A Roca Freire; C Aparecida de Abreu & A Paz González. 2001. Eficacia de cuatro extractantes en la evaluación de la disponibilidad de cobre para maíz y soja. Bragantia 60(3).
- Elith, J; JR Leathwick & T Hastie. 2008. A working guide to boosted regression trees. J. Anim. Ecol. 77(4): 802-813.
- Giddens J. 1964. Micronutrients—the new dimension in agriculture. Fert. Solutions Magazine 7: 18–21.
- Gupta, UC; WU Kening & S Liang. 2008. Micronutrients in soils, crops, and livestock. Earth Sci. Front. 15(5): 110-125.
- Hang, S; GJ Negro; AM Becerra & AE Rampoldi. 2015. Suelos de Córdoba: Variabilidad de las propiedades del horizonte superficial. Maita Jorge Omar Editorial, Córdoba, Argentina.
- Hodgson, JF. 1963. Chemistry of the micronutrient elements in soils. In Advances in Agronomy Vol. 15, pp. 119-159. Academic Press.
- Holmgren, GGS; MW Meyer; RL Chaney & RB Daniels. 1993. Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America. J. Environ. Qual. 22(2): 335-348.

- Johnson, SE; JG Lauren; RM Welch & JM Duxbury. 2005. A comparison of the effects of micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of chickpea (*Cicer arietinum*), lentil (*Lens culinaris*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) in Nepal. Experimental Agriculture 41(4): 427-448.
- Lindsay, WL & WA Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper1. Soil Sci. Soc. Am. J. 42(3): 421-428.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 15(12): 1409-1416.
- Melgar, RJ; J Lavandera; MT Duggan & L Ventimiglia. 2001. Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. Ciencia del Suelo 19(2): 109-114.
- Modaihsh, AS. 1997. Foliar application of chelated and non-chelated metals for supplying micronutrients to wheat grown on calcareous soil. Experimental Agriculture 33(2): 237-245.
- Obrador, A; JM Alvarez; LM Lopez-Valdivia; D Gonzalez; J Novillo & MI Rico. 2007. Relationships of soil properties with Mn and Zn distribution in acidic soils and their uptake by a barley crop. Geoderma 137(3-4): 432-443.
- Sparks, DL; PA Helmke & AL Page. 1996. Methods of soil analysis: Chemical methods (No. 631.417/S736 V. 3). SSSA.
- Takkar, PN. 1993. Requirement and response of crop cultivars to micronutrients in India—a review. In: Randall P J, Delhaize E, Richards R A, et al. (eds.), Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. Pp: 341-348.
- Wang, JJ; DL Harrell; RE Henderson & PF Bell. 2004. Comparison of soil-test extractants for phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, zinc, copper, manganese, and iron in Louisiana soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 35(1-2): 145-160.

C3P39. ÍNDICES ESPECTRALES PARA MONITOREAR EL ESTRÉS DE N EN PAPA PARA INDUSTRIA

Giletto, Claudia; Ortega, Vanina; Mateos Inchauspe, Facundo; Silva, Sandra; Cambareri, Matías y Echeverría, Hernán

Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce. UNMdP. Ruta 226 km 73,5. CC 276 (B7620EMA) Balcarce, Buenos Aires. Argentina. giletto.claudia@inta.gob.ar

RESUMEN

Los sensores multiespectrales han sido estudiados en muchos cultivos, pero se conoce poco de su utilidad como método de monitoreo del nivel de nitrógeno (N) en papa para industria. El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes índices espectrales e identificar si permiten predecir el rendimiento del cultivo de papa. Se realizaron cuatro ensayos en el Sudeste Bonaerense y los tratamientos fueron 0, 50, 75, 100, 150 y 200 kg N ha^{-1}. Se determinó la reflectancia del canopeo (400-900 nm) con el espectroradiómetro JAZ Ocean Optics a los 80 días después de la plantación y se calcularon los índices espectrales de estructura, índice de vegetación diferencial normalizado verde ($NDVI_V$) y rojo ($NDVI_R$); de clorofila (IC_1 e IC_2) y de borde-rojo (IBR_1 e IBR_2). Se determinó el rendimiento a la cosecha. El rendimiento varió de 43,9-68,5 Mg ha^{-1} y dependió del sitio. Al relacionar el rendimiento relativo (RR) con el N disponible (Nd) se estableció que el umbral crítico de N en el suelo necesario para alcanzar el 95% del RR fue de 220 kg N ha^{-1} (Si Nd < 220 kg ha^{-1}, RR= 44,64 + 0,65Nd; Si Nd > 220 kg ha^{-1}, RR = 95%; R^2=0,44; p=0,002). Los modelos cuadráticos obtenidos al relacionar el RR y los índices espectrales explicaron el 26-46% de la variación del RR. Los umbrales de suficiencia de N variaron de 0,86 a 0,98. Se concluye que el $NDVI_V$ y los índices de clorofila (IC_1 e IC_2) calculados con las reflectancias en el rango del verde (ρ_{550} y ρ_{590} nm) y el índice de borde-rojo (ρ_{700} y ρ_{750} nm) fueron los más sensibles a la variación del rendimiento debido a la disponibilidad de N.

Palabras claves: índices espectrales, rendimiento, dosis de nitrógeno.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el nutriente que más limita el crecimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) y requiere un adecuado manejo de la fertilización nitrogenada para asegurar rendimiento y calidad de los tubérculos. El exceso de N puede retrasar la maduración del cultivo y la calidad de los tubérculos (Goffart *et al*., 2008); mientras que, la deficiencia de N puede reducir el tamaño y el rendimiento de los tubérculos (Bélanger *et al*., 2000). La papa se caracteriza por tener un sistema radicular superficial y ser sensible al déficit de nutrientes (Zebarth *et al*., 2012). Elevadas dosis de N provocan baja eficiencia de uso del N proveniente del fertilizante (menor a 50%) (Cambouris *et al*., 2008), favoreciendo la pérdida de N principalmente por lavado de nitrato y la contaminación de las aguas subterráneas (Errebhi *et al*., 1998). Por lo tanto, el manejo adecuado de la fertilización nitrogenada es importante desde el punto de vista económico y medioambiental (Zebarth *et al*., 2012). Para ello, es necesario realizar el monitoreo del estrés de N durante el ciclo, siendo los sensores multiespectrales una tecnología a escala de canopeo que permite obtener información precisa en tiempo real de la dinámica espacio-temporal del nivel de N de los cultivos (Morier *et al*., 2015).

Los índices espectrales han sido categorizados en tres grupos: estructurales, de clorofila y de borde-rojo. Los índices de estructura, como el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), cuantifican el desarrollo del canopeo. Los que miden la reflectancia en longitudes de onda del verde ($NDVI_V$) son más eficientes para detectar deficiencias de N que los índices que utilizan la reflectancia en el rojo ($NDVI_R$) (Clay *et al*., 2006; Spripada *et al*., 2008; Giletto *et al*., 2016). Los índices de clorofila (IC) están asociados a la intensidad del color verde del follaje. Los índices de borde-rojo (I_{BR}) identifican en forma conjunta las características de la vegetación y del contenido de clorofila (Darrin *et al*., 2009; Morier *et al*., 2015). Se desconocen antecedentes que demuestren cuales son las longitudes de onda del espectro de reflectancia que identifican de manera más eficiente el nivel de N en papa para industria. Por lo que, el objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes índices espectrales, determinados en la etapa de llenado de tubérculos, e identificar si permiten predecir el rendimiento en la variedad de papa para industria Innovator.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron cuatro ensayos de fertilización nitrogenada durante la campaña agrícola 20016/17 en lotes de producción de papa (variedad Innovator), ubicados en Mar del Plata (38º 00´ 00” S 57º 33´ 00” O) y Balcarce (37º 52´

00” S 58º 15´ 00” O), provincia de Buenos Aires. El suelo en todos los casos fue Argiudol Típico (USDA, 1999). La Tabla 1 muestra algunas características de los suelos y datos del manejo durante el ciclo del cultivo. Previo a la plantación se realizaron determinaciones en el suelo de N-NO_3^- (Nini); N incubado en anaerobiosis (Nan); P-Bray 1; materia orgánica (MO) y pH.

Tabla 1: Características del suelo a la plantación y manejo de cada sitio experimental.

	Nini[1] (0-60 cm)	Nan[2] (0-20 cm)	P-Bray[3] (0-20 cm)	MO[4]	pH	Fecha plantación	Fecha cosecha
	kg ha^{-1}	mg kg^{-1}		mg kg^{-1}			
Sitio 1	41,5	95,7	28,6	6,2	5,4	12/10/2016	09/02/2017
Sitio 2	46,7	50,2	33,6	4,3	6,2	08/11/2016	08/03/2017
Sitio 3	46,0	74,2	37,5	5,6	5,8	28/10/2016	25/02/2017
Sitio 4	29,4	74,7	41,2	6,1	8,0	18/10/2016	15/02/2017

[1]Keeney y Nelson (1982); [2]Echeverría *et. al*., 2000; [3] Bray y Kurtz (1945); [4] Walkley y Black (1934).

En todos los sitios se utilizó un diseño en bloques completos y aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos de fertilización nitrogenada fueron 0, 50, 75, 100, 150 y 200 kg N ha^{-1}. La fuente de N fue urea granulada [$(NNH_2)_2CO$] aplicada al voleo e incorporada con 10 mm de agua de riego. Cada unidad experimental tenía 6 surcos a 0,85 m de ancho y 5 m de largo. La plantación se realizó con una sembradora de dos surcos con 0,85 m ancho entre surcos y una densidad media de 5 cortes por metro de surco. Para asegurar en los lotes que el P no limitara el crecimiento del cultivo, se adicionaron 50 kg P ha^{-1} utilizando superfosfato triple de calcio (0-20-0) a la plantación junto a la semilla. Se regó a partir del momento crítico (45-50 días después de plantación, ddp) hasta la madurez para asegurar el suministro hídrico adecuado al cultivo. El control de enfermedades e insectos se realizó mediante aplicaciones de productos específicos y el control de malezas se llevó a cabo mediante métodos químicos y mecánicos (Caldiz, 2006).

Tabla 2: Índices espectrales de vegetación determinados a partir de la reflectancia del canopeo utilizando el espectroradiómetro JAZ Ocean Optics.

Índices espectrales de vegetación	**Ecuación**
Estructura	
Índice de vegetación diferencial normalizado rojo ($NDVI_R$)	$(\rho_{770}-\rho_{650})/(\rho_{770}+\rho_{650})$ †
Índice de vegetación diferencial normalizado verde ($NDVI_V$)	$(\rho_{880}-\rho_{590})/(\rho_{880}+\rho_{590})$
Clorofila	
Índice de clorofila (IC_1)	$(\rho_{880}/\rho_{590})-1$
Índice de clorofila “*a*” (IC_2)	(ρ_{750}/ρ_{550})
Borde-rojo	
Índice de borde-rojo (IBR_1)	$(\rho_{800}/\rho_{740})-1$
Índice de borde-rojo (IBR_2)	(ρ_{750}/ρ_{700})

†ρ: Valor de reflectancia a la longitud de onda (nm) que indica el subíndice.

Se midió la reflectancia del canopeo entre los 400 y 900 nm con el espectroradiómetro JAZ Ocean Optics a los 80 ddp y se determinaron los índices espectrales de vegetación presentados en la Tabla 2. Para cada índice se estableció el valor relativo como la relación entre el valor de cada tratamiento y el mayor valor promedio de cada sitio. En madurez fisiológica (cosecha) se tomaron muestras de tubérculos en un área de 2 m^2 en cada unidad experimental y se estimó el rendimiento. Schroder *et al*. (2000) para cuantificar la respuesta en rendimiento a la fertilización con N y utilizando resultados de diferentes experimentos recomiendan transforman los rendimientos absolutos en RR. Se calculó el rendimiento relativo (RR) como la relación entre el rendimiento de cada tratamiento y el mayor rendimiento promedio de cada sitio. El efecto de la dosis de N sobre el rendimiento fue analizado mediante análisis de varianza utilizando el programa Statistical Analysis Systems (SAS Institute, 2002). Las medias de cada tratamiento fueron comparadas mediante la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) ($p<0,05$) cuando el ANOVA fue significativo. Se relacionó el RR con el N disponible (Nd) y se ajustó el modelo lineal-meseta utilizando el PROG NLIN. El Nd se determinó como la suma del Nini (Tabla 1), N mineralizado y dosis de N. El N mineralizado, según el Nan, varió de 125 a 152 kg ha^{-1} (Echeverría *et al*., 2000). Se relacionó el RR con los índices espectrales y se ajustaron modelos cuadráticos de regresión entre las variables utilizando el PROC REG.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento total de tubérculos frescos varió de 43,9 a 68,5 Mg ha^{-1} (Tabla 3), siendo en la mayoría de los casos superiores al rendimiento promedio para la variedad Innovator (40 Mg ha^{-1}) en lotes de producción del Sudeste Bonaerense (Caldiz, 2006). El rendimiento varió ($p<0,05$) por efecto de la dosis de N, sólo en el Sitio 4 (Tabla 3). En todos los sitios, la dosis más elevada de N redujo el rendimiento. Al relacionar el RR con el Nd se estableció que el umbral crítico de N en el suelo necesario para alcanzar el 95% del RR fue de 220 kg N ha^{-1} (Figura 1). Valores de Nd por encima de los 350 kg N ha^{-1} redujeron al RR por debajo del 95%, elevadas dosis de N probablemente retrasaron el inicio de tuberización y acortaron la etapa de llenado de tubérculos.

Tabla 3: Rendimiento de tubérculos frescos a cosecha para las distintas dosis de nitrógeno (N) en los 4 sitios. Letras distintas indican diferencias significativas según test de DMS ($p\leq0,05$).

	Rendimiento (Mg ha^{-1})			
	S1	S2	S3	S4
0	56,7	43,9	59,7	53,9 c
50	62,4	53,9	68,4	59,0 ab
75	64,4	49,8	68,2	61,6 a
100	64,7	53,7	64,4	59,8 ab
150	63,2	50,0	68,5	58,8 bc
200	56,6	45,8	64,9	54,3 c
p-valor	0,319[1]	0,356	0,242	0,024
CV	9,0	12,67	7,1	4,3
R^2	0,46	0,40	0,47	0,74

[1]significativo $p\leq0,05$

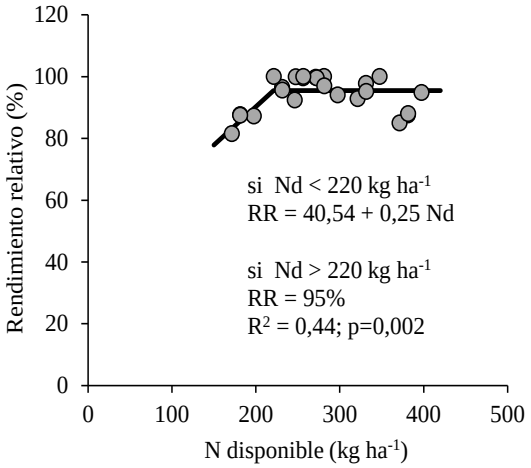


Figura 1: Rendimiento relativo (RR) en función del N disponible (Nd).

El espectro de reflectancia de los tratamientos en la etapa de llenado de tubérculos (80 ddp) para cada sitio se muestra en la Figura 2. Los mayores valores fueron determinados en las regiones del verde (≅ 550 nm) y del infrarrojo (750-900 nm) y los menores valores en la región de absorción de la clorofila (≅ 680 nm). Resultados similares fueron determinados por Jain *et al*. (2007) y Morier *et al*. (2015). Jain *et al*. (2007), demostraron que los tratamientos fertilizados con N reflejan más la luz en la región infrarroja y menos en la región visible que los tratamientos con estrés de N. Esto es debido a que, los tratamientos fertilizados dispersan más la luz por la mayor cobertura vegetal. Mientras que, los pigmentos de clorofila absorben la luz visible y reducen la reflectancia en las regiones rojo y azul del espectro (Jensen, 2007). Sin embargo, en las firmas espectrales no se determinó un claro ordenamiento de los tratamientos en función de la dosis de N entre los sitios. Las dosis intermedia de N (50, 75 y 100 kg N ha^{-1}) tuvieron la mayor reflectancia en la región infrarroja del espectro. Al relacionar el rendimiento (rto) con la reflectancia en el infrarrojo (ρ_{750}) se determinó estrecha relación lineal (rto= 25,07 + 0,63ρ_{750}; R^2=0,43; r=0,65; $p<0,0001$). Mientras que, contrario a lo esperado, el testigo no tuvo la mayor reflectancia en la región visible.

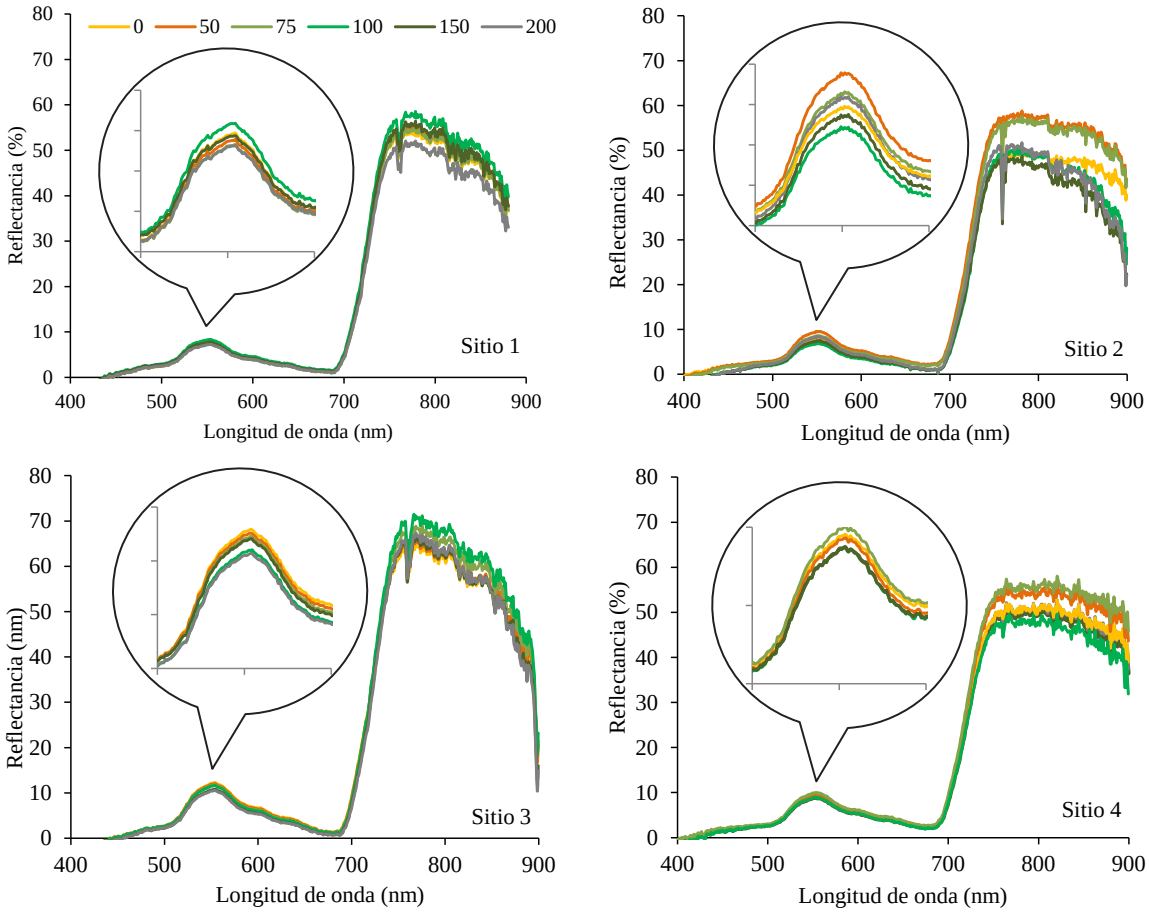


Figura 2: Reflectancia (%) en función de la longitud de onda (nm) para cada tratamiento y sitio.

Los índices espectrales de estructura, $NDVI_Rr$ y $NDVI_Vr$, variaron de 0,95-1,00 y de 0,92-1,00; respectivamente (datos no presentados). Al relacionar éstos con el RR se determinó asociación significativa sólo para el $NDVI_Vr$ y el modelo explicó el 46% de la variación del RR (Tabla 4), demostrando que este índice fue más sensible al estrés de N. Resultados similares fueron determinados por Giletto *et al*. (2016). Los índices de clorofila, IC_1r e IC_2r, variaron de 0,70-1,00 y 0,83-1,00; respectivamente. Los modelos cuadráticos fueron significativos y explicaron el 40-41% de la variación del RR. Mientras que los índices de borde-rojo, IBR_1r e IBR_2r, variaron de 0,69-1,00 y de 0,61-1,00; respectivamente. Al relacionar el RR con estos índices, los modelos fueron significativos pero el coeficiente de regresión (R^2) fue mayor para el IBR_2r; demostrando que, el sector del espectro (700-750 nm) donde se produce el mayor cambio en la reflectancia predijo mejor el nivel de N en el cultivo. Los umbrales de suficiencia de N variaron de 0,86 a 0,98, siendo mayores para los índices de estructura y menores para los índices de borde-rojo.

Tabla 4: Coeficientes de la función cuadrática de la relación entre el rendimiento relativo y el índice de vegetación diferencial normalizado relativo rojo ($NDVI_Rr$) y verde ($NDVI_Vr$); índice de clorofila relativo (IC_1r e IC_2r) e índices de borde-rojo relativo (IBR_1r e IBR_2r). c = coeficiente cuadrático; b = coeficiente lineal; a = ordenada al origen; R^2 = coeficiente de determinación. Umbral (95% RR) = valores relativos de los índices necesarios para alcanzar el 95% del rendimiento relativo.

	p-valor	c	b	a	R^2	Umbral (95% RR)
$NDVI_Rr$	0,212[1]	-7992,7	15765,9	-7679,3	0,14	-
$NDVI_Vr$	0,001	-1346,7	2778,3	-1334,3	0,46	0,98
IC_1r	0,004	-121,4	254,0	-35,5	0,40	0,91
IC_2r	0,004	-539,6	1062,3	-426,5	0,41	0,94
IBR_1r	0,038	-147,6	286,6	-43,4	0,27	0,90
IBR_2r	0,003	-137,8	259,5	-26,1	0,42	0,86

[1]significativo $p \leq 0,05$

CONCLUSIONES

Los resultados de esta experiencia son prometedores respecto a la posibilidad de caracterizar en papa el estatus nitrogenado utilizando sensores espectrales a los 80 ddp, debido a que el $NDVI_V$ y los índices de clorofila (IC_1 e IC_2) calculados con las reflectancias en el rango del verde (ρ_{550} y ρ_{590} nm) y el índice de borde-rojo (ρ_{700} y ρ_{750} nm) fueron los más sensibles a la variación del rendimiento debido a la disponibilidad de N.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto de investigación Diagnóstico foliar de nutrientes en papa para industria aprobado por la UNMdP (Código: Min.: 15/A529 Univ.: AGR527/17).

BIBLIOGRAFÍA

- Bélanger G; JR Walsh; JE Richards; PH Milburn & N Ziadi. 2000. Yield response of two potato culivars to supplemental irrigation and N fertilization in New Brunswick. AJPR. 77:11–21.
- Bray, RH & L Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil S. 59:39-45.
- Cambouris, AN; BJ Zebarth; MC Nolin & MR Laverdière. 2008. Apparent fertilizer nitrogen recovery and residual soil nitrate under continuous potato cropping: Effect of N fertilization rate and timing. CJSS. 88:813–825.
- Caldiz DO. 2006. Producción, cosecha y almacenamiento de papa en la Argentina. Buenos Aires, Argentina. 226 p.
- Clay DE; KI Kim; J Chang; SA Clay & K Dalsted. 2006. Characterizing water and nitrogen stress in corn using remote sensing. AJ. 98: 579-587.
- Darrin FR; VI Adamchuk; JF Shanahan; RB Ferguson & JS Schepers. 2009. Optimization of crop canopy sensor placement for measuring nitrogen status in corn. AJ. 101: 140–149.
- Echeverría HE; N San Martin & R Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. CS. 18: 9-16.
- Errebhi M; CJ Rosen; SC Gupta & DE Birong. 1998. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. AJ. 90:10-15.
- Giletto CM; JE Rattin; HE Echeverría & DO Caldiz. 2011. Requerimiento de nitrógeno para alcanzar máximo rendimiento y calidad en variedades industriales de papa. Rev. Fac. CA Cuyo. 43(1):85-95.
- Giletto CM, SE Silva; MN Cassino; EC Zamuner & HE Echeverría. 2016. Caracterización del estrés de nitrógeno en papa para industria usando el NDVI. CS. 34(2):121-129
- Goffart JP; M Oliver & M Frankinet. 2008. Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: past–present–future. Potato R. 51:355–383.
- Jain N; S Ray; JP Singh; & S Panigrahy. 2007. Use of hyperspectral data to assess the effects of different nitrogen applications on a potato crop. Precis. Agric. 8:225–239.
- Jensen JR. 2007. Remote sensing of the environment: An earth resource perspective. Second ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Keeney DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page, AL; Miller RH & Keeney DR (eds.). Methods of soil analysis. 2nd ed. ASA, Madison, WI. pp. 643-698.
- Morier T; AN Cambouris & K Chokmani. 2015. In-season nitrogen status assessment and yield estimation using hyperspectral vegetation indices in a potato crop. Agron. J. 107(4):1295-1309.
- Murphy J & JP Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Plant and Soil. 34:467-481.
- Schroder JJ; JJ Neeteson; O Oenema; PC Struik. 2000. Does the crop or soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of art. Field Crops Res. 66:151-164.
- Sripada RP; JP Schmidt; AE Dellinger & DB Beegle. 2008. Evaluating multiple indices from a canopy reflectance sensor to estimate corn n requirements. AJ. 100:1553–1561.
- Walkley A & A Black. 1934. An examination of the degtjarett method of determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil S. 37:29-38

- Zebarth BJ; G Belanger; AN Cambouris & N Ziadi. 2012. Nitrogen fertilization strategies in relation to potato tuber yield, quality and crop N recovery. In: Zhonggi H; R Larkin & W Honeycutt (eds.). Sustainable potato production: global case studies. Springer USA. pp. 165-186.

C3P40. EVALUACIÓN DEL NDVI PARA DELINEAR ZONAS DE MANEJO DE NITRÓGENO PARA EL CULTIVO DE MAÍZ

Girón, Paula [1, 2] y Pagani, Agustín[1, 3]
[1]Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA)
[2]EEA INTA Villegas
[3]Clarion, 9 de Julio, Buenos Aires
giron.paula@inta.gob.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el uso del i) índice de vegetación diferencial normalizado de todos los cultivos anteriores integrantes de la rotación previa (NDVIt) y ii) el de los cultivos de maíz únicamente (NDVIm) como criterios de delimitación de zonas de manejo (ZM) para explicar la variabilidad espacial de rendimiento en maíz, la respuesta a nitrógeno (N) y la dosis óptima económica (DOEN). En la campaña 2016-17 se condujeron seis ensayos de maíz en franjas con dosis de N (0, 30, 60, 120, 240 kg N ha^{-1}) en lotes de producción del noroeste bonaerense, tres se realizaron en siembra temprana y tres en tardía. De cada lote se obtuvieron imágenes satelitales de períodos críticos de nueve años de cultivos anteriores (NDVIt) y de los años que solo hubo maíz (NDVIm). Los ensayos se cosecharon con monitores de rendimiento, las franjas con los tratamientos de N fueron divididas en transectas de 20 m de longitud y se promediaron los puntos de rendimiento de cada transecta para cada bloque y dosis de N. Estas transectas fueron agrupadas en categorías de 0.01 y 0.02 unidades para el NDVIt y NDVIm, respectivamente. Los resultados mostraron que el uso de NDVIt no se mostró como un criterio lo suficientemente sensible para delinear ZM con respuesta diferencial a la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Si bien el empleo de mapas de NDVIm pareció ser más sensible que el mapa NDVIt, es necesario integrar otras capas de información para poder establecer estrategias más sólidas de fertilización nitrogenada con dosis variable con el objetivo de aumentar la eficiencia en el uso de este insumo.

Palabras claves: NDVI, DOEN, rendimiento

INTRODUCCIÓN

El concepto general de que los lotes de producción agrícola no son espacialmente uniformes es ampliamente conocido. Existe abundante bibliografía nacional e internacional que muestra variabilidad espacial a nivel intra-lote en cuanto a tipo de suelo y propiedades edáficas (Kravchenko & Bullock, 2000), disponibilidad de nutrientes (Cambardella *et al.*, 1994); rendimiento de cultivos (Urricarriet *et al.*, 2011), contenido de proteína en grano (Bongiovanni *et al.*, 2007), exportación de nutrientes con las cosechas (Mallarino *et al*., 2011) y respuesta por parte de varios cultivos a la aplicación de fertilizantes y enmiendas (Scharf *et al.*, 2005).

La agricultura de precisión es la aplicación de tecnologías y principios para gestionar la variabilidad espacial y temporal asociada a todos los aspectos de la producción agrícola con el fin de incrementar la eficiencia en el uso de los insumos, preservando la calidad ambiental (Pierce & Nowak, 1999). Uno de los enfoques propuestos que utilizan a la agricultura de precisión como herramienta para el manejo sitio-específico es el que se basa en la delimitación de zonas de manejo (ZM). Se define a una ZM como una subregión dentro de un lote que expresa una combinación homogénea de los factores limitantes de rendimiento para los cuales es apropiada una dosis única de un insumo específico (Doerge, 1999). Existen diferentes criterios para la delineación de ZM como el muestreo de suelo en grilla (Atherton *et al.*, 1999), el uso de mapas de rendimiento de cultivos anteriores (Ferguson *et al.*, 2003), topografía (Franzen *et al.*, 2000), conductividad eléctrica aparente (Lund *et al.*, 1999), tipo de suelo (Pautasso *et al.*, 2010) e imágenes espectrales asociadas a la productividad vegetal (Basso, 2012), entre otros.

En Argentina el empleo del índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI, Rouse *et al*., 1973) obtenido mediante el procesamiento de imágenes espectrales de origen satelital ha ganado popularidad en los últimos años como criterio simple y económico para delinear ZM. Sin embargo no son abundantes los estudios que han evaluado esta metodología, especialmente para el manejo variable de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Además existen dudas acerca de la conveniencia de incluir las imágenes de todos los cultivos previos posibles o solo las que corresponden a cultivos de maíz para delinear zonas con respuesta contrastante a la aplicación de N.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el uso del i) NDVI de todos los cultivos anteriores integrantes de la rotación (NDVIt) y ii) el de los cultivos de maíz únicamente (NDVIm) como criterios de delimitación de ZM para explicar la variabilidad espacial de rendimiento en maíz, la respuesta a N y la DOEN.

MATERIALES Y MÉTODOS

Seis ensayos en franja con dosis de N fueron conducidos en la campaña 2016-2017 en lotes de producción del noroeste bonaerense con características de variabilidad edafo-topográficas típicas de la zona. Tres ensayos se realizaron con maíz de fecha de siembra temprana (octubre) y los otros tres con fecha de siembra tardía (diciembre).

De cada lote se obtuvieron imágenes satelitales de los últimos nueve años con los satélites Landsat 5 y Landsat 8 (Land Viewer, 2017). Las fechas de las imágenes se establecieron considerando las etapas críticas de determinación de rendimiento de los cultivos de grano (Andrade *et al.*, 1995), momento en el que se puede evidenciar con mayor precisión el potencial grado de variabilidad espacial de un lote de producción. En la Tabla 1 se muestra para cada sitio experimental la secuencia de cultivos que integraron la rotación durante las nueve campañas previas a la realización de los ensayos.

Tabla 1. Secuencia de cultivos de las últimas nueve campañas para cada sitio experimental, los cultivos antecesores fueron: Mz: maíz, Sj: soja, Cb: cebada, PP: pastura, Gs: girasol, Vc: vicia y CC: cultivo de cobertura de gramínea.

Maíces tempranos						
Campaña	**Sitio**	**Cultivo**	**Sitio**	**Cultivo**	**Sitio**	**Cultivo**
2006-2007		Sj		Sj		Mz
2007-2008		Sj		Tr/Sj		Sj
2008-2009		Sj		Mz		Mz
2009-2010		Sj		Sj		Sj
2010-2011	**1**	Mz	**2**	Tr/Sj	**3**	Mz
2011-2012		Sj		Mz		Sj
2012-2013		Cb/Sj		Sj		Mz
2013-2014		Sj		Mz		Sj
2014-2015		Sj		Sj		Mz
2015-2016		Tr/Sj		Tr/Sj		Sj

Maíces tardíos						
Campaña	**Sitio**	**Cultivo**	**Sitio**	**Cultivo**	**Sitio**	**Cultivo**
2006-2007		PP		Sj		Sj
2007-2008		PP		Mz		Tr/Sj
2008-2009		PP		Mz		Mz
2009-2010		PP		Mz		Sj
2010-2011	**4**	Gs	**5**	Sj	**6**	Tr/Sj
2011-2012		Sj		Mz		Mz
2012-2013		Sj		Sj		Sj
2013-2014		Mz		Tr/Sj		Mz
2014-2015		Vc/Sj		Sj		Sj
2015-2016		CC/Sj		Sj		Tr/Sj

A cada imagen se le calculó el NVDI [(IRC-R)) / (IRC+R), dónde: IRC es la reflectividad en el infrarrojo cercano (longitud de onda de 760-900 nm) y R es la reflectividad en el rojo (longitud de onda de 630-690 nm)] y luego se promediaron todas las imágenes (NDVIt) y sólo las pertenecientes a cultivos de maíz anteriores (NDVIm) a fin de obtener un indicador de la productividad y variabilidad espacial de los sitios experimentales.

Los ensayos en franja contaron con cinco dosis de N (0, 30, 60, 120, 240 kg N ha^{-1}) en los maíces de fecha de siembra temprana y 4 dosis (0, 30, 60, 120 kg N ha^{-1}) en los maíces de fecha de siembra tardía, excepto el Sitio 6 que tuvo las mismas 5 dosis que los maíces de fecha de siembra temprana. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones en los Sitios 1, 2, 3, 5 y 6, y cuatro repeticiones en el Sitio 4. En cada ensayo se orientaron las franjas de manera tal que cada bloque quedara lo más uniformemente representado por los patrones de variabilidad edáfica y topográfica del terreno. El ancho de la franja fue igual al ancho de trabajo de la fertilizadora (10 m en el Sitio 1, 4 y 5, 18 m en el Sitio 2 y 6, y 28 m en el Sitio 3) y el largo de la franja fue igual al largo del lote (800, 1140, 780, 160, 320 y 480 m para los Sitios 1, 2, 3, 4, 5 y 6, respectivamente). En todos los casos la fuente de N fue urea (46-0-0) aplicada al voleo en el estadío de V4 (Ritchie & Hanway, 1982). Todos los sitios tuvieron N aportado como fosfato monoamónico (11-52-0) al momento de la siembra, 60, 87, 100, 60, 75 y 50 kg de fertilizante ha^{-1} en los Sitios 1, 2, 3, 4, 5 y 6, respectivamente. Las demás prácticas de manejo fueron las normalmente utilizadas por cada productor.

Se cosecharon los surcos centrales de cada franja (11 a 30 dependiendo del sitio) con cosechadoras equipadas con monitor de rendimiento y DGPS excluyendo los bordes, utilizando una metodología similar a la reportada en trabajos previos (Scharf *et al.*, 2005; Pagani & Mallarino, 2012, 2015). Los mapas de rendimiento generados fueron procesados mediante el programa ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015) para corregir y eliminar los valores de rendimiento defectuosos. La información de rendimiento generada fue analizada con el mismo software a una escala espacial considerablemente menor a las de las franjas completas con el objetivo de estudiar la variabilidad espacial de la respuesta a N dentro de cada sitio. Por esta razón, las franjas con los tratamientos de N fueron divididas en transectas de 20 m de longitud (Lark, 1997) y se promediaron los puntos de rendimiento de cada transecta para cada bloque y dosis de N. Estas transectas fueron agrupadas en categorías de 0,01 y 0,02 unidades para el NDVIt y NDVIm, respectivamente (Tabla 1). Dichas categorías serán llamadas ZM a partir de ahora. Se promediaron los rendimientos de cada transecta para cada tratamiento y ZM

delineada y se ajustaron curvas de respuesta en función de la dosis de N. El modelo seleccionado en cada caso fue el de mayor R^2 y menor cuadrado medio de error. Utilizando el método de la derivada primera y la relación de precios histórica N:grano de maíz de 10:1, se determinó para cada curva la DOEN de manera similar a lo reportado por Pagani *et al*. (2008). Finalmente se estudió para cada sitio la relación entre la DOEN y el valor promedio de NDVI de cultivos anteriores considerando NDVIm o NDVIt para evaluar que metodología presenta mayor sensibilidad para explicar la variabilidad espacial de la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinco de los seis sitios experimentales mostraron mayores niveles de variabilidad espacial para el NDVIm que para el NDVIt (Tabla 2) sugiriendo que el uso de imágenes de cultivos de maíz únicamente podría ser un indicador más sensible que el uso de todos los cultivos que integraron la rotación para detectar variabilidad espacial en el rendimiento y la respuesta a la fertilización nitrogenada para cultivos de maíz subsiguientes. Existe abundante evidencia que indica que el maíz presenta mayor sensibilidad a factores ambientales que los otros cultivos que normalmente integran la rotación agrícola en la Región Pampeana (Andrade *et al.*, 1995).

Tabla 2. Estadísticas descriptivas del índice de vegetación diferencial normalizado promedio considerando todos los cultivos integrantes de la rotación (NDVIt) o solo el de los cultivos de maíz previos (NDVIm) para los seis sitios experimentales.

Maíces tempranos			
Sitio	**Estadístico**	**NDVIt**	**NDVIm**
1	Media	0,40	0,51
	Máximo	0,44	0,62
	Mínimo	0,36	0,33
	%CV	4,42	19,8
2	Media	0,59	0,52
	Máximo	0,62	0,59
	Mínimo	0,44	0,33
	%CV	4,11	9,43
3	Media	0,59	0,27
	Máximo	0,62	0,29
	Mínimo	0,53	0,24
	%CV	4,33	4,05

Maíces tardíos			
Sitio	**Estadístico**	**NDVIt**	**NDVIm**
4	Media	0,19	0,16
	Máximo	0,20	0,19
	Mínimo	0,18	0,15
	%CV	2,32	7,48
5	Media	0,56	0,64
	Máximo	0,57	0,66
	Mínimo	0,54	0,62
	%CV	1,21	1,73
6	Media	0,40	0,60
	Máximo	0,45	0,67
	Mínimo	0,34	0,48
	%CV	6,30	8,34

En la Figura 1 se observa la curva de respuesta del rendimiento maíz a la fertilización nitrogenada considerando el promedio de las franjas que atravesaron los seis sitios experimentales. El estudio a nivel de franja es equivalente al uso de información proveniente de tolvas con balanza normalmente utilizadas en lotes de producción y es importante para demostrar cómo las respuestas promedio pueden parcialmente enmascarar el impacto real de la fertilización en lotes con variabilidad espacial.

Los rendimientos máximos alcanzados, la respuesta a N y la DOEN fueron mayores para los maíces de siembra temprana que para los de siembra tardía (13001 vs. 9749, 4210 vs. 1561 y 137 vs. 66 kg ha^{-1} como promedio de maíces tempranos y tardíos, respectivamente). Estos resultados pueden ser parcialmente explicados por las mejores condiciones de crecimiento experimentadas por los maíces de siembra temprana en una campaña con precipitaciones primaverales por encima de lo normal (datos no mostrados) y por la menor tasa de mineralización de N asociada a menor temperatura del suelo en las situaciones de siembra temprana. El otro factor que influenció la respuesta a N y la DOEN fue el cultivo antecesor, ya que en general estas fueron mayores cuando el antecesor fue trigo/soja respecto a soja de primera. La mayor inmovilización de N por parte del rastrojo de trigo en relación a la soja de primera y la menor tasa de mineralización por mayor cobertura de suelo (menor temperatura) pueden explicar estas diferencias (Salvagiotti *et al.*, 2016). Particularmente, en el Sitio 4 (de siembra tardía) la DOEN determinada fue 0 (aun cuando se observó una leve respuesta a N), lo que evidencia una ajustada sincronía entre la tasa de mineralización de N del suelo y las tasa de absorción de N por parte del cultivo durante todo el ciclo de crecimiento.

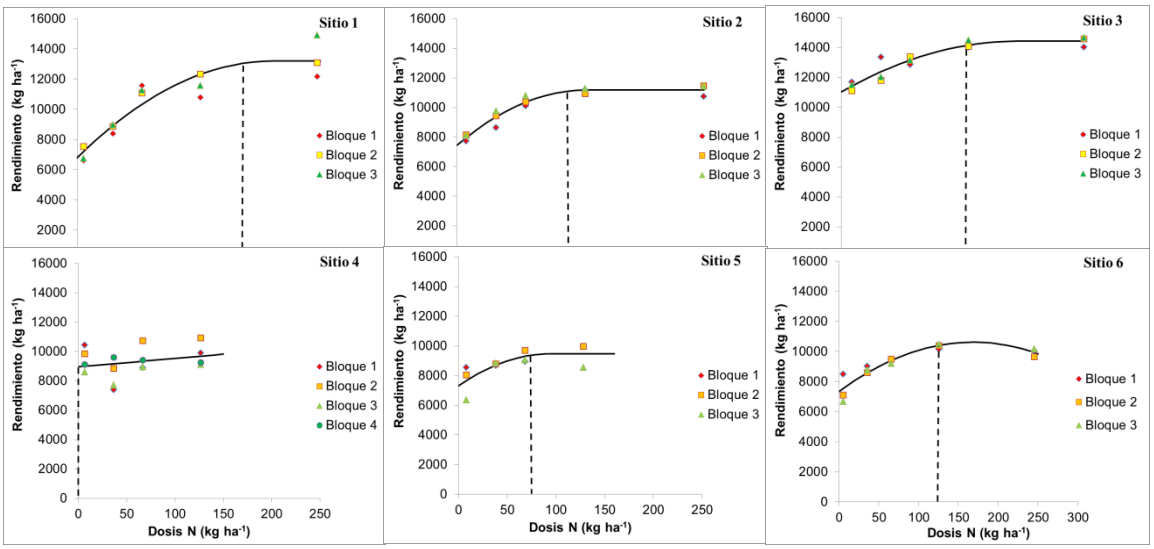


Figura 1. Rendimiento de maíz en función de la dosis de nitrógeno (N) aplicado considerando el promedio de cada franja para los seis sitios experimentales. Las líneas verticales punteadas indican la dosis óptima económica de N.

El estudio de la respuesta a la fertilización nitrogenada dentro de cada lote considerando las transectas de 20 m agrupadas en función de la productividad de cultivos anteriores muestra diferentes niveles de variabilidad dependiendo del sitio (Figura 2). En general, las diferencias a nivel intra-lote del rendimiento máximo y mínimo alcanzado estuvieron relacionadas a las diferencias en la productividad de cultivos anteriores (asociados a variabilidad espacial de NDVI promedio de los 9 años anteriores), lo que no necesariamente ocurrió con la respuesta a N y la DOEN sugiriendo que este criterio de caracterización ambiental ampliamente utilizado en la Región Pampeana Argentina necesita ser revisado.

Existe abundante evidencia a nivel internacional (Sawyer *et al.*, 2006) que documenta la falta de asociación entre el rendimiento esperado del cultivo de maíz y la DOEN en regiones húmedas. Estos resultados son perfectamente aplicables a gran parte de la zona húmeda argentina y están asociados a que las condiciones que determinan mayor rendimiento de un cultivo no necesariamente determinan mayor respuesta a la aplicación de N (y por ende mayor DOEN) y viceversa. Por ejemplo, en muchas zonas productivas en secano con pluviometría variable, si no se producen excesos hídricos importantes (años normales), en general se observan mayores rendimientos de los cultivos en las regiones más bajas dentro de los lotes, que generalmente presentan textura más fina, mayor contenido de materia orgánica y mayor disponibilidad hídrica. Por el contrario, las áreas más elevadas del lote con textura más gruesa generalmente contienen menor contenido de materia orgánica y humedad, por lo que normalmente producen menores rendimientos en años normales. Utilizando el criterio del rendimiento esperado o delineando zonas de manejo en base a NDVI, la dosis de N recomendada sería consistentemente mayor en las áreas deprimidas y menor en las áreas de mayor elevación. Este criterio no tiene en cuenta que en las áreas deprimidas, la DOEN puede verse reducida con respecto al promedio del lote debido al mayor aporte de N del suelo por mineralización, asociado al relativamente alto contenido de MO. Por otro lado en años húmedos, el agua deja de ser el factor tan limitante en las áreas de mayor elevación (usualmente de textura más gruesa y menor contenido de MO) y suelen observarse altas respuestas a la aplicación de N debido al relativamente bajo aporte edáfico. Esta situación ejemplifica como el uso del rendimiento objetivo como criterio de decisión, presenta falencias para determinar las necesidades de N de un cultivo en regiones de pluviometría variable.

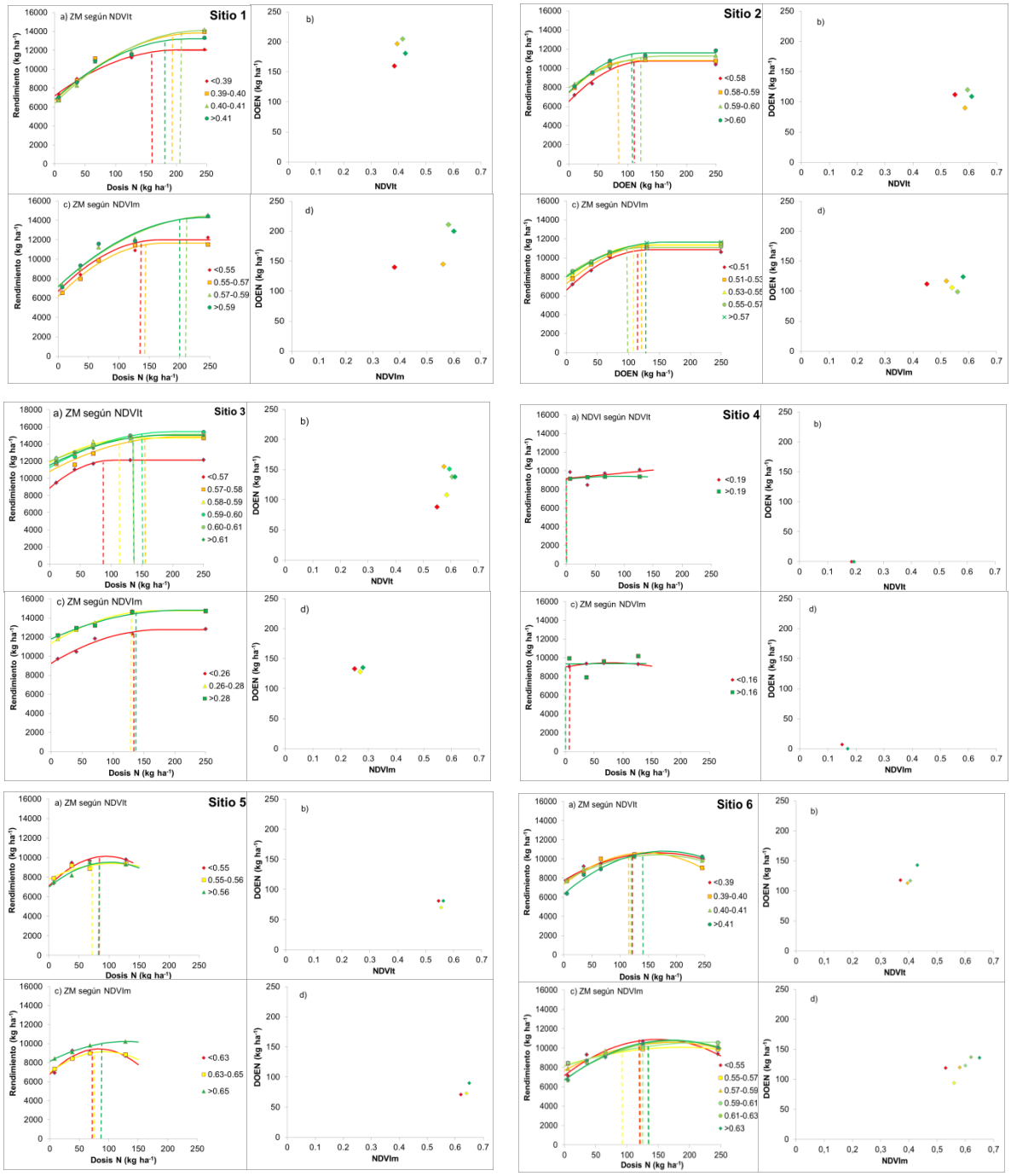


Figura 2. a) Rendimiento en función de la dosis de nitrógeno (N) en cada sitio experimental para cuatro zonas de manejo (ZM) delimitadas por valores de NDVI promedio de todos los cultivos antecesores de 10 campañas. b) Dosis óptima económica de N (DOEN) en función del NDVI promedio de todos los cultivos antecesores de 10 campañas (NDVIt). c) Rendimiento en función de la dosis de N en cada sitio experimental para cuatro ZM delimitadas por valores de NDVI promedio de cultivos de maíces de las últimas 10 campañas, las líneas verticales punteadas indican la dosis óptima económica de N para cada ZM. b) DOEN en función del NDVI promedio de cultivos de maíces de las últimas 10 campañas (NDVIm). En las figuras a y c las líneas verticales punteadas indican la DOEN para cada ZM.

CONCLUSIONES

En la campaña evaluada, el uso de NDVIt no se mostró como un criterio lo suficientemente sensible para delinear ZM con respuesta diferencial a la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Si bien el empleo de mapas de NDVIm pareció ser más sensible que el mapa NDVIt, es necesario integrar otras capas de información para poder establecer estrategias más sólidas de fertilización nitrogenada con dosis variable con el objetivo de aumentar la eficiencia en el uso de este insumo.

AGRADECIMIENTOS

A los Ing. Agr. Daniel Bergia y Pablo Cucinelli (Establecimiento "La Clarita"), al Tec. Agr. Hugo Mendía (Establecimiento "La Justina"), al Tec. Agr. Alberto Hellbusch y Sres. Agustín Iaconis, Neri Faundes y Pablo Agüero (EEA INTA General Villegas) por su colaboración para que se lleven a cabo estos ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade F; A Cirilo; S Uhart & M Otegui. 1996. Ecofisiología del Cultivo de Maíz. Editorial La Barrosa, Dekalb Press. INTA, FCA UNMP.
- Atherton BC; MT Morgan; SA Shearer; TS Stombaugh & AD Ward. 1999. Site-specific farming: a perspective on information needs, benefits and limitations. J. Soil Water Cons. 54: 455–461.
- Basso B; C Fiorentino; D Cammarano; G Cafiero & J Dardanelli. 2012. Analysis of rainfall distribution on spatial and temporal patterns of wheat yield in Mediterranean environment. Eur. J. Agron. 41: 52-65.
- Bongiovanni R; C Robledo & D Lambert. 2007. Economics of site-specific nitrogen management for protein content in wheat. Comput Electron Agric. 58:13-24.
- Cambardella CA; TB Moorman; TB Parkin DL; Karlen; JM Novak; RF Turco & AE Konopka. 1994. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. Soil Sci Soc Am J. 58:1501-1511.
- Doerge, TA. 1999. Management Zone Concepts. S.l: Potash & Phosphate Institute. Site-Specific Management Guidelines 2, 4 p. ESRI. 2015 ArcGIS. Disponible en: http://desktop.arcgis.com/es/ [Acceso: 22/05/2015]
- Ferguson RB; RM Lark & GP Slater. 2003. Approaches to management zone definition for use of nitrification inhibitors. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 937-947.
- Franzen DW, AD Halvorson & VL Hoffman. 2000. Management zones for soil N and P levels in the Northern Great Plains. EN: PC et al. (Ed.) Proc. Int. Conf. on Prec. Agric, 5th Bloomington MN. 16-19 Julio 2000. ASA, CSSA, SSSA. Madison WI.
- Kravchenko AN & DG Bullock. 2000. Correlation of Corn and Soybean Grain Yield with Topography and Soil Properties. Agron J. 92:75-83.
- Land viewer. 2017. https://eos.com/landviewer/?lat=-16.13026&lng=-43.06641&z=4
- Lark RM & JV Stafford. 1997. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. Annals of Applied Biology. 130:111-121.
- Lund DL; PE Colin; D Christy & PE Drummond. 1999. Applying soil electrical conductivity technology to precision agriculture. EN: Robert, P.C.; Rust, R.H.; larson, W.E.(Ed).Precision Agriculture. Madison: ASA-CSSA-SSSA. pp.1089-1100.
- Mallarino A, R Oltmans, J Prater, C Villavicencio & L Thompson. 2011. Nutrient uptake by corn and soybean, removal, and recycling with crop residue, Proc. 2011 Integrated Crop Management Conference, Iowa State University, Ames, Iowa.
- Pagani, A & AP Mallarino. 2012. Comparison of methods to determine crop lime requirement under field conditions. Soil Sci. Soc. Am. J. 76: 1855-1866.
- Pagani, A. y Mallarino A.P. 2015. On-farm evaluation of corn and soybean grain yield and soil pH responses to liming. Agron. J. 107(1): 71-82.
- Pagani, A; HE Echeverría; HR Sainz Rozas & PA Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo. 26(2): 183-193.
- Pautasso JM; S Albarenque; G Schulz; A Kemerer; D Bedendo & R Melchiori. 2010. Delimitación de zonas de manejo mediante variables de suelo y validación para maíz. EN: INTA, EEA Manfredi. 9º Curso internacional de Agricultura de precisión, 4º Expo de maquinarias precisas, 2º Gira tecnológica de precisión. Manfredi: Ediciones INTA. pp.207-214.
- Pierce, FJ & P Nowak. 1999. Aspects of precision agriculture. EN: Spark, D. (Ed) Advances in Agronomy. San Diego: Academic Press. 67: 1-85.
- Ritchie, S. and Hanway J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. Technol. Spec. Rep., 48 p.
- Rouse Jr JW; R Haas; J Schell & D Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium: 309−317 p.
- Salvagiotti F; JM Enrico; M Barraco; G Prieto & MB Agosti. 2016. Componentes de la eficiencia de N en maíz de siembra tardía con diferentes antecesores. Actas XXV Congreso Argentino de Ciencia del Suelo. Rio Cuarto. AACS.
- Sawyer JE; G Nafziger; L Randall; B Bundy, G Rehm & B Joern. 2006. Concepts and rationale for regional nitrogen rate guidelines for corn. Publ. PM2015, Iowa State Univ. Extension, Ames, IA.

- Scharf, PC; NR Kitchen; KA Sudduth; JG Davis; VC Hubbard & JA Lory. 2005. Field-Scale Variability in Optimal Nitrogen Fertilizer Rate for Corn. Agron. J. 97: 452-461.
- Urricariet S; M Niborski & CM Kvolek. 2011. Atributos del suelo y paisaje asociados a la variabilidad de rendimientos de maíz en la pampa arenosa. Ciencia del suelo. 29:49-59.

C3P41. N Y S EN CEBADA CERVECERA: EFICIENCIAS DE UTILIZACIÓN Y SUS COMPONENTES

Gómez, Federico M.[1 2]; Boero, José J.[1 2]; Prystupa, P.[1 2]; Ferraris, Gustavo[3] y Gutiérrez Boem, Flavio H.[1 2]

[1] Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453. CABA. Argentina. [2] INBA – CONICET. [3] EEA Pergamino, INTA. fgomez@agro.uba.ar

RESUMEN

La eficiencia de utilización de un nutriente es la relación entre el rendimiento logrado y la cantidad del nutriente absorbido. El requerimiento de un nutriente (i.e. cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento) es la inversa de la eficiencia de utilización y puede ser entendido como el producto entre la concentración del nutriente en el grano y la inversa del índice de cosecha del nutriente. El objetivo de este trabajo fue determinar la relación entre la concentración de N y S en el grano, el ICN, ICS y la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento. Se realizaron 31 experimentos durante 2 años en el centro-norte de la provincia de Buenos Aires sobre lotes en producción. Los tratamientos fueron: 1 – Control (sin agregado de fertilizante adicional al realizado por el productor), 2 – Sin limitaciones de N (aplicación de 150 kg N ha^{-1}), 3 – Sin limitaciones de S (aplicación de 15 kg S ha^{-1}). Tanto la fertilización N como S produjeron un incremento en la cantidad de N y S absorbido por unidad de rendimiento, respectivamente. A diferencia de la concentración de N en grano (proteína), que presentó una relación positiva con la abundancia de este nutriente en el cultivo, la concentración de S en grano presentó un plateau ante pequeños aumentos en la cantidad de S absorbido por unidad de rendimiento. Esto se debió principalmente a una fuerte caída en el ICS frente al aumento en la cantidad de S absorbida por unidad de rendimiento. El ICN, por el contrario, disminuyó menos al aumentar la cantidad de N absorbida. Por tanto, la relación N:S en grano presentó una mayor asociación con la abundancia de N en el cultivo que con la de S.

Palabras claves: Cebada, Nitrógeno, Azufre

INTRODUCCIÓN

En Argentina, el destino tradicional del cultivo de cebada es la industria maltero-cervecera. La industria maltera y cervecera es altamente exigente en términos de contenido proteico: se requieren valores de entre 10 y 12%. En experimentos llevados a cabo en la región pampeana se ha observado que el contenido proteico de los granos se asoció positivamente con la disponibilidad de N y negativamente con el rendimiento (Prystupa et al., 2016). Para alcanzar un contenido proteico entre el 10 y el 12% se debe contar en el suelo con 22 y 40 kg ha^{-1} de N disponible por tonelada de rendimiento en grano (Prystupa et al., 2008). Hay poca información para cebada y cultivos afines (i.e. trigo) respecto de la relación entre disponibilidad o absorción de S por el cultivo y la concentración de S en el grano.

La pendiente de la relación entre rendimiento y nutriente absorbido se conoce como eficiencia de utilización (EU = R/NUabs, R: rendimiento, NUabs: nutriente absorbido). La EU puede ser afectada por el nivel de rendimiento alcanzado. Esta se asume lineal y constante cuando el rendimiento no está cerca del potencial del sitio y cae por encima del 70-80% del rendimiento máximo (Dobermann y Cassman, 2002). La EU también puede caer con alta disponibilidad del nutriente en el suelo, que lleva a un aumento en la absorción sin un aumento proporcional en el rendimiento (i.e. consumo de lujo), o por estreses ambientales (van Keulen y van Heermst, 1982). La inversa de la EU es el requerimiento (NUabs R^{-1}). Este cociente se puede descomponer en dos componentes con sentido agronómico: la concentración del nutriente en el grano (NUgrano R^{-1}), y la inversa del índice de cosecha (IC) del nutriente (NUabs $NUgrano^{-1}$):

$$\left(\frac{NUabs}{R}\right) = \left(\frac{NUgrano}{R}\right) * \left(\frac{NUabs}{NUgrano}\right)$$

Esta relación implica que un aumento de la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento llevaría a tener una mayor concentración del nutriente en el grano, siempre y cuando el IC del nutriente se mantuviera constante.

En un experimento de fertilización de cebada con N y S se observó que, a diferencia del N, la concentración de S en el grano fue poco sensible a cambios en la cantidad de S absorbido por unidad de rendimiento, debido a grandes cambios en el ICS (Gutierrez Boem et al., 2014). Esto pudo deberse a la distinta abundancia relativa de los dos nutrientes en ese experimento (i.e. el rendimiento del cultivo respondió a la aplicación de N y no a la de S), o a que la relación entre la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento y la concentración del nutriente en el grano es distinta para

N y S. Si la concentración de S en el grano fuera poco sensible a cambios en la cantidad de azufre absorbido por unidad de rendimiento, sería muy difícil intentar cambiar la concentración de S (y la relación N:S) del grano vía fertilización azufrada. El objetivo de este trabajo fue determinar la relación entre la concentración de N y S en el grano, el ICN, ICS y la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 31 experimentos durante 2 años en el centro-norte de la provincia de Buenos Aires sobre lotes en producción. Los tratamientos fueron: 1 – Control (sin agregado de fertilizante adicional al realizado por el productor), 2 – Sin limitaciones de N (aplicación de una dosis de 150 kg N ha^{-1} a la siembra), 3 – Sin limitaciones de S (aplicación de una dosis de 15 kg S ha^{-1} a la siembra). Los tratamientos se dispusieron en bloques completos aleatorios. La fuente de N utilizada fue urea y la de S fue yeso. En madurez del cultivo se cosecharon 4 metros lineales (~ 0.84 m^2) del cultivo por parcela, se secaron a 70ºC y se trillaron. Se determinó biomasa aérea, rendimiento en grano, y el número y peso individual de los granos. La concentración de N y S en los granos y rastrojo se determinó mediante una digestión húmeda y una posterior colorimetría (N) o turbidimetría (S). El rendimiento se expresó con 13% de humedad, mientras que la concentración de nutrientes se expresó en base seca.

Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza con modelos mixtos. El efecto de N y S se evaluó con contrastes en un modelo mixto donde se consideró los tratamientos como factores fijos, mientras que los sitios y los bloques anidados dentro de los sitios como efectos aleatorios (R Core Team, 2017, Bates et al., 2015). La relación entre el rendimiento y la cantidad de nutriente absorbida fue ajustada a través de un modelo esférico condicional y un modelo lineal, en el caso de N y S, respectivamente. La función esférica condicional puede describirse a través de:

$$y = \begin{cases} b * \left(\left(\frac{3}{2}\right) * \left(\frac{x}{c}\right) - \left(\frac{1}{2}\right) * \left(\frac{x}{c}\right)^3 \right), & si \;\; x \leqslant c \\ b, & si \;\; x > c \end{cases}$$

donde y es el rendimiento (kg ha^{-1}), x es la cantidad de nutriente absorbido (kg nutriente ha^{-1}), b es el rendimiento potencial (Mg ha^{-1}) y c es la mínima cantidad de nutriente absorbido (kg nutriente ha^{-1}) en la cual se alcanza el rendimiento potencial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos variaron entre 1735 y 9111 kg ha^{-1}, lo que reflejó a variabilidad de los ambientes explorados (Tabla 1). El agregado de N (N150) provocó un aumento del rendimiento del 17 % respecto del control (promedio de todos los sitios), aunque este efecto fue variable entre sitios (interacción sitio x tratamiento significativa). Se observó una respuesta al agregado de N en 13 de los 31 sitios, con una respuesta media de 1669 kg ha^{-1} en esos sitios. El agregado de S no tuvo un efecto generalizado en toda la red (i.e. se observó efecto del agregado de S en un sólo sitio). Respecto a las concentraciones de N y S en grano, el rango explorado fue algo mayor para N que para S, entendido como la relación entre la concentración máxima y mínima observada (1.75 y 2.34 para S y N, respectivamente). La concentración de N en grano aumentó un 25% frente al agregado de este nutriente, mientras que la concentración de S en grano aumentó por el agregado de S un 9%, y tuvo una tendencia a aumentar con el agregado de N (Tabla 1). Los rangos observados de nutriente absorbido por el cultivo fueron similares para N y S (Max/Min: 7.9 y 7.0 para N y S, respectivamente). La fertilización nitrogenada produjo la reducción del ICN y el incremento del ICS. El requerimiento de ambos nutrientes (nutriente absorbido por tonelada de rendimiento) aumentó frente al agregado de los respectivos nutrientes (i.e. 42% y 12%, respectivamente).

Tabla 1. Medidas de resumen de variables medidas y ANOVA.

Variable	Estadístico	Control	N150	S15	ANOVA y contrastes *	
Rendimiento (kg ha^{-1}, 13% humedad)	Mínimo	1779	2554	1735	Tratamiento	$p < 0,01$
	1er cuartil	3676	4332	3885	Sitio	$p < 0,01$
	Media	4892	5735	4889	Trat x Sitio	$p < 0,01$
	3er cuartil	5991	7095	5951	N150 vs Control	$p < 0,01$ (+ 829)
	Máximo	8359	8556	9111	S15 vs Control	$p = 0,68$
N en grano (mg N g^{-1})	Mínimo	10,6	11,4	10,0	Tratamiento	$p < 0,01$
	1er cuartil	12,0	15,1	11,9	Sitio	$p < 0,01$
	Media	13,3	16,7	13,4	Trat x Sitio	$p < 0,01$
	3er cuartil	14,2	18,6	14,4	N150 vs Control	$p < 0,01$ (+ 3,4)
	Máximo	17,1	23,4	17,9	S15 vs Control	$p = 0,71$
S en grano (mg S g^{-1})	Mínimo	0,8	0,8	1,0	Tratamiento	$p < 0,01$
	1er cuartil	1,0	1,1	1,1	Sitio	$p < 0,01$
	Media	1,1	1,1	1,2	Trat x Sitio	$p < 0,01$
	3er cuartil	1,2	1,2	1,2	N150 vs Control	$p = 0,08$
	Máximo	1,3	1,4	1,4	S15 vs Control	$p = 0,01$ (+ 0,05)
N absorbido (kg ha^{-1})	Mínimo	21,4	66,3	22,4	Tratamiento	$p < 0,01$
	1er cuartil	55,1	108,0	51,9	Sitio	$p < 0,01$
	Media	74,6	118,8	74,2	Trat x Sitio	$p = 0,14$
	3er cuartil	94,7	136,3	94,7	N150 vs Control	$p < 0,01$ (+ 44)
	Máximo	134,1	169,5	145,4	S15 vs Control	$p = 0,95$
S absorbido (kg ha^{-1})	Mínimo	2,2	3,7	3,0	Tratamiento	$p < 0,01$
	1er cuartil	6,3	7,1	7,1	Sitio	$p < 0,01$
	Media	7,7	9,2	8,7	Trat x Sitio	$p < 0.01$
	3er cuartil	8,9	11,6	10,2	N150 vs Control	$p < 0,01$ (+ 1,5)
	Máximo	12,8	14,6	15,5	S15 vs Control	$p < 0,01$ (+ 1,1)
IC de biomasa	Mínimo	0,42	0,37	0,41	Tratamiento	$p < 0,01$
	1er cuartil	0,46	0,42	0,45	Sitio	$p < 0,01$
	Media	0,48	0,45	0,47	Trat x Sitio	$p = 0,03$
	3er cuartil	0,50	0,48	0,49	N150 vs Control	$p < 0,01$ (- 0,03)
	Máximo	0,54	0,53	0,56	S15 vs Control	$p = 0,12$
ICN	Mínimo	0,64	0,59	0,65	Tratamiento	$p < 0,01$
	1er cuartil	0,74	0,66	0,74	Sitio	$p < 0,01$
	Media	0,76	0,71	0,77	Trat x Sitio	$p = 0,05$
	3er cuartil	0,79	0,77	0,80	N150 vs Control	$p < 0,01$ (- 0,05)
	Máximo	0,84	0,82	0,84	S15 vs Control	$p = 0,46$
ICS	Mínimo	0,49	0,52	0,42	Tratamiento	$p < 0,01$
	1er cuartil	0,54	0,57	0,51	Sitio	$p < 0,01$
	Media	0,61	0,63	0,56	Trat x Sitio	$p < 0,01$
	3er cuartil	0,67	0,70	0,62	N150 vs Control	$p = 0,01$ (+ 0,02)
	Máximo	0,75	0,74	0,67	S15 vs Control	$p < 0,01$ (- 0,05)
N absorbido R^{-1} (kg N Mg^{-1})	Mínimo	11,8	12,3	11,1	Tratamiento	$p < 0,01$
	1er cuartil	12,9	17,0	13,2	Sitio	$p < 0,01$
	Media	15,2	21,6	15,4	Trat x Sitio	$p < 0,01$
	3er cuartil	16,6	24,2	16,6	N150 vs Control	$p < 0,01$ (+ 6,2)
	Máximo	23,2	35,5	23,7	S15 vs Control	$p = 0,74$
S absorbido R^{-1} (kg S Mg^{-1})	Mínimo	1,0	1,1	1,4	Tratamiento	$p < 0,01$
	1er cuartil	1,5	1,4	1,7	Sitio	$p < 0,01$
	Media	1,6	1,6	1,8	Trat x Sitio	$p < 0,01$
	3er cuartil	1,7	1,9	2,1	N150 vs Control	$p = 0,79$
	Máximo	2,2	2,0	2,4	S15 vs Control	$p < 0,01$ (+ 0,25)

* Si el contraste es significtivo ($p < 0.05$), se informa la magnitud del efecto entre paréntesis.

Las funciones de borde superior -l(q90) y c(q90)- corresponden a las situaciones de máximos rendimientos para la distintas cantidades de n y s absorbido por el cultivo (figura 1a y 1b). Estas funciones se pueden interpretar como las situaciones de máxima dilución de un nutriente determinado y a condiciones de deficiencia del nutriente en cuestión, donde se maximiza la eficiencia de utilización de un nutriente en la fase lineal. Las funciones de borde inferior -l(q05) y c(q05)- corresponden a las situaciones de mínimos rendimientos para las distintas cantidades de nutriente absorbido y se puede interpretar como de mínima eficiencia de utilización (figura 1), asociadas a condiciones donde el rendimiento del cultivo estuvo limitado por otro factor además del nutriente que se está evaluando, o bien, a situaciones de "consumo de lujo" del nutriente en cuestión (Setiyono et al., 2010). La EU de N máxima estimada fue de 78.5 kg grano kg N absorbido-1 hasta que se alcanza el plateau. El requerimiento de N mínimo estimado fue de 12.7 kg n mg-1 (figura 1.a). La EU de N mínima estimada fue de 30.9 kg grano kg n absorbido-1, lo cual se correspondió con un requerimiento de N máximo estimado de 32.3 kg N mg^{-1}. Cuando se ajustó una función a cada tratamiento, se observó que no hubo diferencias entre los tratamientos control y s15 (linea roja en la fig 1a). El tratamiento n150 mostró una relación con pendientes más bajas que la del control, lo que refleja una disminución en la EU del N (linea verde en la fig. 1.a). A diferencia de N, en el caso de S la relación entre el rendimiento y la cantidad de S absorbido por el cultivo presentó una forma lineal (i.e. no se observó un plateau bien definido) (figura 1b). Las EU de S máxima y mínima fueron de 733 y 450 kg kg S absorbido-1, respectivamente. Los requerimientos mínimo y máximo fueron de 1.36 y 2.22 kg S mg-1, respectivamente. No se observó efecto del agregado de N ni de S sobre esta relación. La EU de S media fue de 608 kg kg S absorbido-1 y los requerimientos medios fueron de 1.64 kg S absorbido mg-1 (figura 1b). El rendimiento potencial estimado cuando el cultivo absorve por encima de 147,6 kg de N ha-1 fue de 8579 kg ha-1.

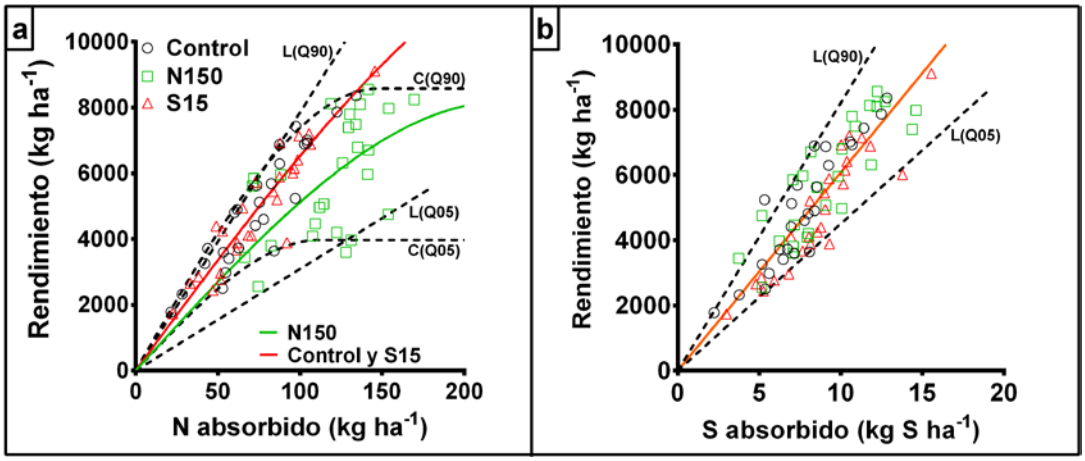


Figura 1. Relación entre el rendimiento y la cantidad de nutriente absorbido. L(Q90) y L(Q05) corresponden a las líneas de borde del cuantil 90 y 5%, respectivamente. C(Q90) y C(Q05) corresponden a las curvas del cuantil 90 y 5%, respectivamente. a) N. La curva roja corresponde a la función esférica ajustada para los tratamientos control y S15 conjuntamente. La curva verde corresponde a la función esférica ajustada al tratamiento N150. b) S. La recta naranja corresponde a la función lineal ajustada a todos los tratamientos en conjunto.

Se observó una relación curvilínea entre la concentración de N en grano y la cantidad de N absorbido por unidad de rendimiento (Figura 2a). A diferencia de lo observado por Prystupa et al. (2016), la relación entre estas variables fue más estrecha, esto último asociado a que, al determinar la cantidad de N absorbido, no se tienen en cuenta las pérdidas del fertilizante aplicado. Para obtener granos con contenido proteico de 11% (17.6 mg N g^{-1}) es necesario que el cultivo absorba 22 kg N Mg $rendimiento^{-1}$ (Figura 2a). La relación entre la concentración de S en grano y la cantidad de S absorbido por unidad de rendimiento presentó mucha mayor variabilidad que la de N (Figura 2). Por otro lado, el incremento de la concentración de S en el grano (Figura 2b), debido a que se alcanzó un plateau en la concentración de S en el grano para valores altos de S absorbido por unidad de rendimiento.

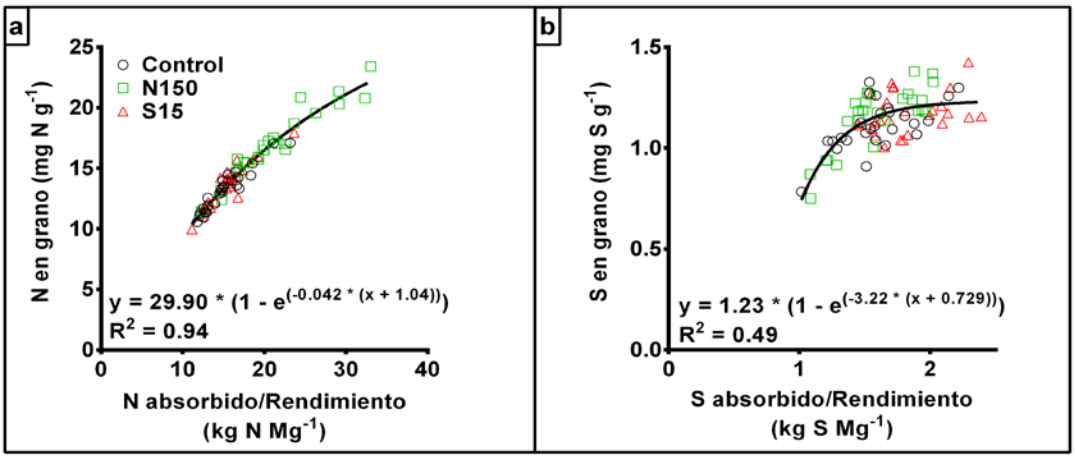


Figura 2. Relación entre la concentración de nutriente en grano y el requerimiento de nutriente del cultivo.a) N. b) S.

Si bien la relación entre el IC de ambos nutrientes y la abundancia de estos en el cultivo fue negativa, la tasa de disminución fue muy contrastante (Figura 3.a y 3.b). En términos relativos, un incremento del 100% en la cantidad de nutriente absorbido por tonelada de rendimiento produjo la disminución del 13 y 27% en el ICN e ICS, respectivamente.

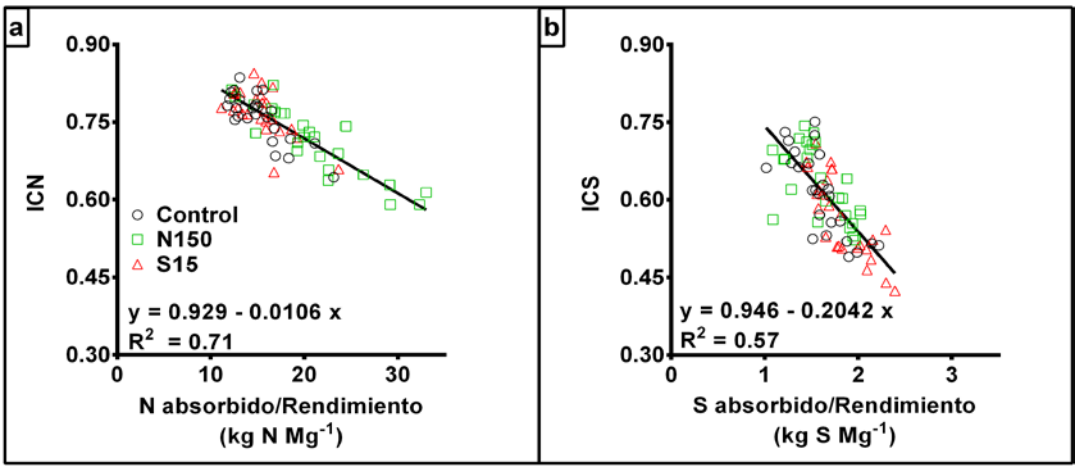


Figura 3. Relación entre el índice de cosecha de nutriente y el requerimiento de nutriente del cultivo. a) Nitrógeno. b) Azufre.

La asociación entre la relación N:S en grano y la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento fue lineal y positiva en el caso de N, mientras que se presentó de manera inversa y curvilínea hasta alcanzar un plateau en el caso de S (Figura 4).

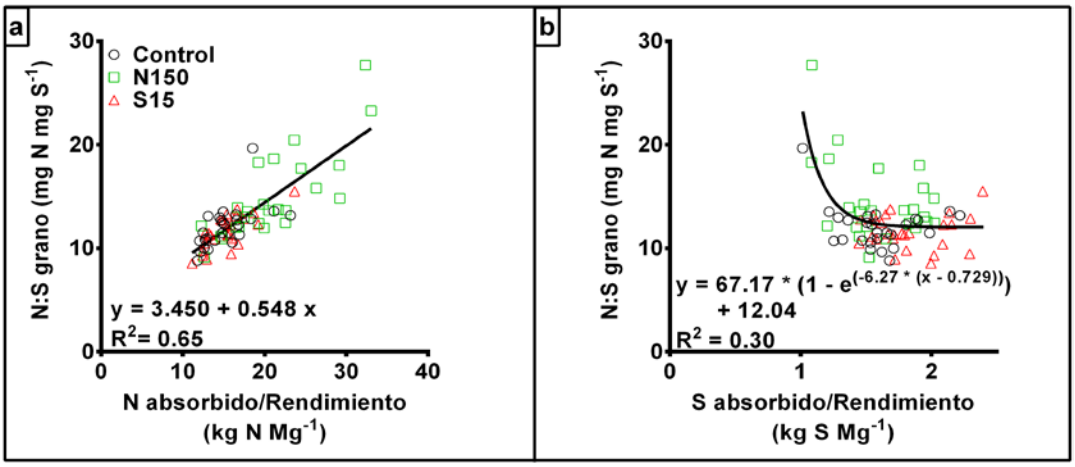


Figura 4. Relación entre el ratio de concentraciones N:S en grano y el requerimiento de nutriente del cultivo. a) Nitrógeno. b) Azufre.

CONCLUSIONES

Tanto la fertilización N como S produjeron un incremento en la abundancia de los respectivos nutriente en el cultivo (i.e. N y S absorbido por unidad de rendimiento). El aumento en el N absorbido por unidad de rendimiento se asoció de manera positiva con la concentración de N en grano, mientras que en el caso de S, pequeñas variaciones en la abundancia de este nutriente conllevaron a alcanzar un plateau en la concentración de S en grano. Por lo tanto, la concentración de S en grano fue menos sensible que la de N a cambios en la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento. Esto se debió en gran medida a una gran disminución del ICS frente al aumento de la abundancia de S en el cultivo, a diferencia de lo observado en el caso de N. Por tanto, la relación N:S en grano resultó estar asociada en mayor medida a la abundancia de N en el cultivo, que a la de S. Frente a pequeñas aumentos en la cantidad de S absorbido por unidad de rendimiento, la relación N:S rápidamente alcanzó un plateau.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la colaboración de los productores y asesores: Alejandro Alegre, Carlos Gutiérrez, Emilio Secreto, Gustavo Franco, Jorge Álvarez, Nicolás Casella, Sebastián Arias, Ricardo Falconi, Gustavo Herrá. Esta investigación fue financiada por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT-2013-1846) y la Universidad de Buenos Aires (UBACyT 20020130100746BA).

BIBLIOGRAFÍA

- Abeledo LG; DF Calderini & GA Slafer. 2008. Nitrogen economy in old and modern malting barleys. Field Crops Res. 106: 171-178.
- Bates, D; M Maechler; B Bolker & S Walker. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. J Stat Softw, 67: 1-48.
- Cossani CM; GA Slafer & R Savin. 2009. Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. Field Crops Res. 112: 205-213.
- Dobermann A & KG Cassman. 2002. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. Plant Soil. 247: 153-175.
- Gutiérrez Boem FH; F Gomez; C Caputo & P Prystupa. 2014. Fertilización de cebada: I. eficiencia de utilización y concentración de N-P-S en grano. XXIV CACS, Bahía Blanca, mayo.
- Ministerio de Agroindustria. 2017. Coordinación de Servicios de Información, Estimaciones Agrícolas.
- Prystupa P; R Bergh;G Ferraris; T Loewy; L Ventimiglia; FH Gutierrez Boem & L Couretot. 2008. Fertilización nitrogenada y azufrada en cebada cervecera cv. Scarlett. IA del Cono Sur 38: 5-11.
- Prystupa, P; G Ferraris; L Ventimiglia; T Loewy; L Couretot; R Bergh & FH Gutiérrez Boem. 2016. Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires: I. Efectos sobre el rendimiento y el contenido proteico de los granos. IA de Hispanoamérica 21: 7-14.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.
- Setiyono T; D Walters; K Cassman; C Witt & A Dobermann, A. 2010. Estimating maize nutrient uptake requirements. Field Crops Res. 118: 158-168.
- van Keulen, H & HDJ van Heermst. 1982. Crop response to the supply of macronutrients. Agric. Res. Rep. 916, C. Agric. Publ. Doc., Wageningen, 45 p.

C3P42. EFECTO DE DOS TIPOS DE FERTILIZANTES FOLIANRES SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ALGODÓN

Gomez Nestor A[1], Pastori Saino Noelia De Lourdes [2] y Sanchez María Cristina[1]

[1] INTA EEA Santiago del Estero, RN 9 Km 1108, La Abrita, Santiago del Estero; [2] FACYT I+D S.A. - Laguna Larga - Córdoba.

gomez.nestor@inta.gob.ar

RESUMEN

La fertilización foliar se emplea en situaciones de nutrientes poco solubles, suelos de baja fertilidad o intensa lixiviación, volatilización o como complemento a la fertilización del suelo. El objetivo fue evaluar el efecto de dos formulaciones de fertilizantes foliares sobre el crecimiento y rendimiento del algodón. El experimento se desarrolló sobre un suelo Haplustol torriorténtico del área de riego del Río Dulce, Santiago del Estero. Se probaron dos fertilizantes foliares respecto al testigo (T0). La formulación 1 (Tratamiento 1-T1) contenía N, K, Ca y la formulación 2 (T2) contenía además de éstos macronutrientes, los micronutrinetes B, Cu, Zn, Mn y Fe. La aplicación se realizó a los 64 DDS días después de la siembra. A los 108 DDS, se evaluaron parámetros de crecimiento del algodón: materia seca de planta total y particionada (hoja, tallo, fruto); en madurez del cultivo (172 DDS) se evaluaron rendimiento final de fibra bruta, porcentaje (%) al desmote, peso de 100 semillas e I.C (índice de cosecha). La materia seca del fruto y del tallo no se diferenció significativamente entre los tratamientos. Materia seca de planta total presentó diferencia significativa, T2 produjo 14.674 kg ha^{-1} y se diferenció del T1 y T0 con el 80 y 65% respectivamente. Materia seca de hojas presentó diferencia significativa, T2 y T1 produjeron 3.100 y 2.500 kg ha^{-1} respectivamente, diferenciándose del T0 con 1.426 kg ha^{-1}. Al comienzo de la etapa de fructificación, las hojas retranslocan fotosintátos hacia los frutos, aumentando la demanda a medida que el fruto crece. Por lo tanto al contener mayor nutrientes en las hojas, tendría una mayor disponibilidad de fuente para el fruto y una mayor persistencia en la planta. El rendimiento no presento diferencias significativas, siendo que T2 rindió 1.681 kg ha^{-1} de fibra bruta, T1 produjo el 95 % y T0 el 82 %.

Palabras claves: fertilización, hojas, retraslocación

INTRODUCCIÓN

La zona algodonera con riego de Santiago del Estero, la fertilización al suelo es una práctica de manejo utilizada por algunos productores y en muchos casos no superando dosis de 50 kg de N ha^{-1}. Por su parte la fertilización foliar es una práctica aún menos difundida en esta zona para este cultivo. Cliff *et al*., (1998) menciona que la complementación de la fertilización al suelo con la foliar conducen a mejores resultados para el rendimiento del algodón. También es conocido que las aplicaciones de fertilizantes foliares son dependientes de la edad de las hojas, observándose en hojas jóvenes una mayor absorción que en hojas maduras (Bondola *et al*., 1997). Los fertilizantes foliares aplicados en hojas maduras producen una retraslocación de asimilados hacia las raíces, mientras hojas juveniles mantienen la mayor parte del fertilizante en ella, realizadas en pruebas de nitrógeno marcado (Melgar 2011).

En algodón las recomendaciones para las primeras aplicaciones de fertilizante foliar son aconsejable desde inicio de floración, aproximadamente a los 60 DDS – días después de la siembra- coincidiendo con el periodo de incremento en la demanda de los recursos por el cultivo (Cliff *et al*., 1998).

Las mejores respuestas a la fertilización foliar a base de N (nitrógeno) se da en situaciones con: bajo contenido de nutrientes en el perfil del suelo, lixiviación, volatilización o inmovilización de los fertilizantes nitrogenados o cuando los suelos permanecen húmedos temporalmente limitando la disponibilidad de N (Melgar 2011).

Cliff *et al.*, (1998) observó que aplicaciones foliares en plantas de algodón con 30 kg de N ha^{-1} produce un incremento de 70 kg ha^{-1} de fibra, combinada con fertilizaciones al suelo de N.

Schmithalter (2017) observó incrementos de rendimiento del 10% con aplicaciones de fertilizantes foliares, mientras en INTA Saenz Peña (2013) obtuvieron un 13% de incremento con aplicación de este tipo de fertilización.

Desde hace unos años comenzó a utilizarse las formulaciones de foliares a base de multinutrientes, principalmente incorporando a los micronutrientes. Por ejemplo en Argentina en zonas citrícolas del NOA son muy utilizado el Zn, Fe y Cu, mientras en el Alto Valle en manzanos, perales y uvas son utilizado el B, Fe y Mn (Melgar, 2005), algunas en forma preventivas de enfermedades. El B (Boro) últimamente muy utilizado en cultivos extensivos de la pampa húmeda con resultados altamente positivos.

Por tal motivo este ensayo se basó en evaluar los efectos de dos formulaciones de fertilizantes foliares, una conteniendo los nutrientes básicos N, K, Ca, y otra formulación, que además de los macro, presenta los micronutrientes B, Cu, Zn, Mn, Fe, sobre el rendimiento y parámetros de crecimiento del cultivo de algodón.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el campo experimental Francisco Cantos del INTA EEA Santiago del Estero, provincia Santiago del Estero, (Latitud sur 28º 01' y Longitud oeste 64º 17') departamento Silípica. El suelo donde se desarrolló el experimento es Haplustol torriorténtico, familia franca gruesa mixta hipertérmica (Angueira y Zamora 2007). El perfil tiene una secuencia A1p (0-20 cm) - AC (20 – 52 cm) - C1k (52 – 87 cm) – C2k (+ 87 cm). Es un suelo de origen loéssico con una textura franco limoso en el horizonte A (9 % arcilla y 57% de limo). La descripción de la fertilidad química del lote implantado el ensayo se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Datos de fertilidad de suelo extraída a la siembra del ensayo. CE: conductividad eléctrica del extracto de saturación; pH: pH extracto de saturación 1:25; P: fosforo Bray en ppm; Nt (%): nitrógeno total en %; MOT (%): materia orgánica total en %.

Profundidad (cm)	CE (dS/m)	pHex	P (ppm)	Nt (%)	MOT (%)
0-20	0,69	7,1	36,8	0,09	1,54
20-40	1,33	7,2	36,8	0,08	1,20
40-60	2,44	7,1	29,9	0,07	1,03

El clima se clasifica como semiárido, mesotermal (Thornthwaite y Mather). La precipitación media anual es de 550 mm, las temperaturas medias del mes más cálido (enero) y más frío (julio) son de 27,7 ºC y 13,3 ºC, respectivamente, mientras que las temperaturas máxima y mínima son de 46 ºC y – 10 ºC, respectivamente (Boletta *et al.*, 1989). Para la campaña en estudio (2015/2016) los datos climáticos se describen en la Figura 1.

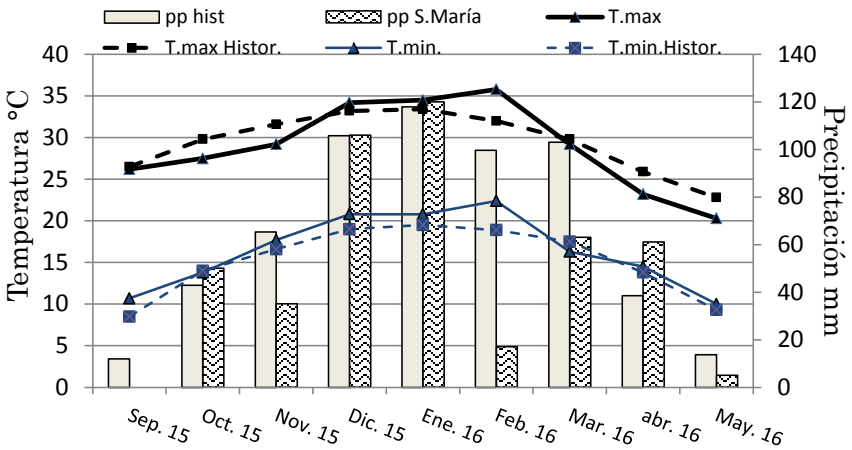


Figura 1. Eje de izquierda la temperatura máxima media mensual (sep. 2015 a mayo 2016) y su promedio histórico, temperatura mínima mensual (sep. 2015 a mayo 2016) y su promedio histórico y precipitación acumulada mensual (sep. 2015 a mayo 2016) y su promedio histórico para esos meses.

El diseño del experimento fue en bloques al azar, con 3 tratamientos y 4 repeticiones. El tamaño de las parcelas consistió de 5 surcos de 8 metros de largo. Los tratamientos consistieron de dos formulaciones de fertilizantes foliar (Tabla 2) y el control o testigo (T0). Se aplicó la dosis recomendada de 1 lt ha^{-1} a los 64 días desde la siembra, utilizándose una mochila pulverizadora de 20 lts, tratando de mantener una presión constante de salida y un pico de cono hueco.

Tabla 2. Concentración de nutrientes en % p/p en fertilizantes foliar para los dos tratamientos .

	Nutrientes % p/p									
Tratamientos	N	P	K	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn	Ca
T1	20		2							8
T2	9	3	3	3	0,1	0,1	0,05	0,03	0,02	

T1: Motivaror Impulso Facyt; T2: Motivador Vegetal Facyt. N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; S: azufre; B: boro; Fe: hierro; Mn: manganeso; Cu: cobre; Zn: zinc; Ca: calcio.

La variedad del cultivo de algodón utilizada fue NuOpal BG/RR (semilla ácido deslintada y tratada con Carbendazin y Thiram) resistente al glifosato y al complejo de capulleras y orugas defoliadoras. El ensayo fue sembrado el 11 de diciembre de 2015 y cosechado el 31 de mayo de 2016.

.

Determinaciones

A los 108 DDS (apertura de 1° capullo) se cortaron 2 submuestras de plantas de medio metro lineal cada una por parcela y se separó por órganos: hoja, peciolo, tallo, fruto. Luego se llevó a estufa a 60 °C hasta peso constante, determinándose la biomasa seca de estos órganos.

A madurez de cultivo (172 DDS) se cosecharon manualmente 2 surcos de 8 m lineales por parcela y se determinó el rendimiento final de fibra bruta. De las muestras cosechadas por parcela se separaron en 3 submuestras de 300 g y se desmoto mediante una microdesmotadora eléctrica, determinándose la relación fibra-semilla o % al desmote. De las muestras desmotadas se contó 3 submuestras de 100 semillas y se pesó obteniéndose el peso de 100 semillas. A la siembra se tomaron muestras de suelo para determinar la fertilidad química.

El I.C (índice de cosecha) se determinó entre la relación del rendimiento de fibra y la biomasa total seca a los 108 DDS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La máxima acumulación de materia seca aérea de plantas de algodón se produce entre los 98 a 120 DDS, según el tipo de manejo, fertilidad y clima prevaleciente durante el cultivo. La materia seca del fruto, a los 108 DDS no se diferenció significativamente entre los tratamientos, sin embargo los fertilizantes foliares presentaron los mayores pesos (Tabla 3). La biomasa seca de tallos tampoco ofreció diferencia significativa entre los tratamientos a esa misma fecha de extracción (Tabla 3).

Tabla 3. *p*-valor, DMS para las medias de tratamientos de las variables en peso seco de los frutos, tallos y plantas en kg ha^{-1}, obtenidas a los 108 DDS.

	Promedio por tratamiento		
Tratamiento	Fruto	Tallo	Planta
T0	2918	5848	9977 a
T1	3153	5913	11242 a
T2	3431	7072	14675 b
DMS	1530	1908	3351
p-valor	0,77 NS	0,33 NS	0,02 *

La materia seca total de las plantas presentó diferencia significativa entre los tratamientos ($p \leq 0,05$). El tratamiento T2 acumulo la mayor biomasa total con 14.674 kg ha^{-1}, diferenciándose significativamente del T1 que produjo un 80 %, mientras el T0 el 65% del T2 (Tabla 3). Gomez *et al*. (2017a) en un ensayo de fertilización realizada a los 60 DDS, con 100 kg de N ha^{-1} en forma de Urea, obtuvieron 7.500 kg ha^{-1} de materia seca total de plantas, aproximadamente a la misma fecha de muestreo.

A los 108 DDS el cultivo transitó el periodo de máxima acumulación de biomasa, donde las hojas maduras del sector inferior de la planta comienzan a caer al suelo luego de retraslocar los nutrientes al fruto (Craig 2002). Según la condición nutricional de la hoja esta podría tener una madurez prematura y su caída posterior ante una inadecuada nutrición, o sino una mayor persistencia en la planta con buenas condiciones nutricionales. Algunos de los factores que puede acelerar la caída prematura de las hojas puede ser, suelos con bajos contenidos de nutrientes, estrés por falta de agua y ataques severos de insectos entre otros. La figura 2 muestra la cantidad materia seca en hojas (108 DDS), presentando diferencia significativa ($p \leq 0,05$) y con los mayores pesos para los tratamientos fertilizados. El T2 y el T1 acumularon 3.100 y 2.500 kg ha^{-1} de materia seca en hojas respectivamente, diferenciándose del T0 que acumuló 1.426 kg ha^{-1}.

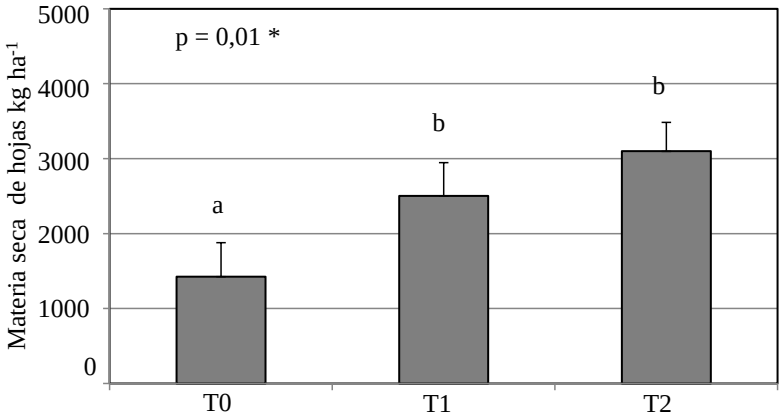


Figura 2. Efecto de los tratamientos sobre la materia seca de hojas kg ha^{-1} a los 108 DDS. T0: testigo; T1: Motivador Impulso Facyt; T2: Motivador Vegetal Facyt.

Craig 2002 encontró una relación estrecha entre acumulación de biomasa de hoja y la concentración de N en hojas, principalmente debido a la retraslocación de nutrientes. Cuando comienza la fructificación, a partir de los 60 DDS aproximadamente, las hojas retranslocan fotosintátos hacia los frutos, aumentando la demanda a medida que el fruto crece, y la actividad de las raíces empieza a declinar (Melgar 2011). Patterson *et al.* (1978) observaron que ante una baja disponibilidad de N en hoja y de carbohidratos puede llevar a un aborto del fruto.

El IC no presento diferencias significativa entre tratamientos, sin embargo el testigo (T0) presento una mayor partición hacia los destinos (Tabla 4). Gomez *et al.*, (2017a) obtuvieron valores de IC de 0,40 con mayores rendimientos y menores biomasa total. Las semillas y el porcentaje de desmote no presentaron diferencias entre los tratamientos. Estos valores son normales a lo que se maneja a campo, sin embargo Gomez *et al.*, (2017 a) en ensayos de fertilización con 100 kg de N ha^{-1}, obtuvieron valores al desmote del 40%, independientemente de la fertilización. .

Tabla 4. *p*-valor y medias de tratamientos para las variables de componentes de rendimiento: IC, peso de 100 semillas (g), y porcentaje al desmote.

	Variable de rendimiento		
Tratamiento	I.C	100 semillas	Desmote
T0	0,28	10,21	33,8
T1	0,22	10,13	33,6
T2	0,20	9,67	33,9
DMS	0,15	0,87	0,90
p-valor	0,62 NS	0,39 NS	0,76 NS

El rendimiento de fibra bruta no ofreció diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos (Figura 3). El T2 rindió 1.681 kg ha^{-1} de fibra bruta, mientras que el T1 produjo el 95 % y el T0 que no recibió fertilización un 82%.

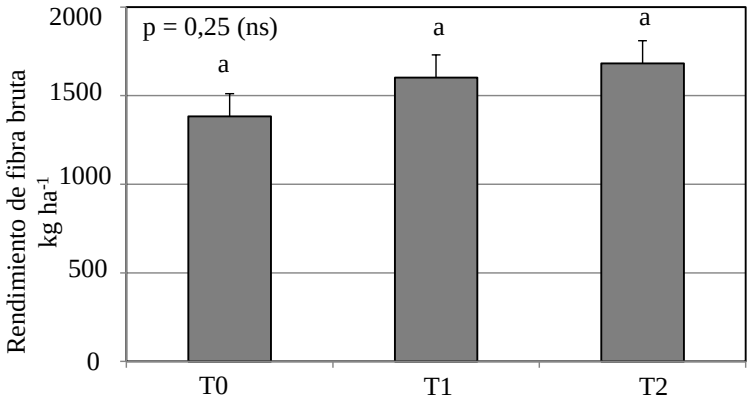


Figura 3. Efecto de los tratamientos de fertilizantes foliares sobre el rendimiento de algodón en bruto, expresado en kg ha^{-1}. T0: testigo; T1: Motivador Impulso Facyt; T2: Motivador Vegetal Facyt.

En INTA Saenz Peña (2013) obtuvieron un incremento del 10 % con fertilizantes foliares de similares características, mientras un ensayo donde se evaluó con una y dos aplicaciones de fertilizantes foliar incrementaron el rendimiento un 10% y un 20% respectivamente (Schmithalter, 2017). Mondino y Araujo (2011) observaron incrementos del 30 % con respecto al testigo.

La diferencia en 300 kg en rendimiento de fibra bruta entre el control y los fertilizados resultan en una ganancia monetaria significativa, ya que partió de un suelo pobre de fertilidad, y el costo de los fertilizantes foliares son bajos en relación a otros tipos de fertilizantes, pudiéndose emplear en combinaciones con insecticida y reguladores de crecimientos, con lo cual los costos aún son menores.

Entre las dos formulaciones de fertilizantes, el multinutrientes (T2: Motivador Vegetal Facyt) mostró una tendencia a incrementar la materia seca de plantas totales, también el de frutos y tallos, pero sin diferencia significativa.

CONCLUSION

Los tratamientos fertilizados presentaron entre un 15 a un 18% de incremento de rendimiento, no significativo, respecto del testigo sin fertilizar, según el tipo de formulación utilizada. La materia seca de los tallos, de los frutos, el Indice de Cosecha, peso de 100 semillas, el porcentaje al desmote no presentaron diferencias con respecto al control, ya que el fertilizante foliar tiene como efecto directo a las hojas, conservándose y retraslocando nutrientes por un mayor tiempo al fruto. Es necesario continuar investigando en prácticas de fertilización para mejorar la productividad del sistema en forma sustentable en estos ambientes del chaco semiárido con riego.

AGRADECIMIENTOS

A la Empresa FACYT I+D S.A, al laboratorio de suelos, agua y vegetales del INTA EEA Santiago del Estero y al Pret Centro del INTA Santiago del Estero.

BIBLIOGRAFÍA

- Bondada, BR; DM Oosterhuis & RJ Richard. 1997. Cotton Leaf Age, epicuticular Wax, and Nitrogen-15 Absorption. CSS .37: 807-811
- Cliff, S; DM Oosterhuis; D Howard & JS McConnell. 1998. Foliar Nitrogen and Potassium Fertilization of Cotton. News & View, Potash & Phosphate Institute (PPI) and the Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC). Midsouth June 1998
- Craig, CCJ .2002. Nitrogen use efficiency ofcotton following corn in rotation and foliar fertilization of cotton using leaf blade analysis. Tesis doctoral. Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. Louisiana, USA.
- Gomez, NA; EL Yñiguez; EA Azar; R, Sayago & M Molli. 2017 a. Respuesta a la fertilización nitrogenada y fosforada, aplicados en estados reproductivo del algodón, en la zona de riego de Santiago del Estero. 2° Congreso Internacional del Gran Chaco Americano: Territorio e Innovación. 4 y 5 de octubre de 2017, Nodo tecnológico, Santiago del Estero.

- Gomez, NA; E Romero; A Azar; J Cervetto & M Carrizo. 2017 b. fertilización nitrogenada en siembra y en floración y sus efectos sobre el crecimiento y rendimiento en algodón. 1° Congreso Internacional de Algodón. Roque Saenz Peña, Chaco. 27 de octubre de 2017.
- INTA Saenz Peña. 2013. Evaluar el comportamiento de los fertilizantes foliares Motivador Vegetal Facyt y Motivador Impulso Facyt sobre el rendimiento y calidad de fibra en algodón. Boletín técnico. EEA Saenz Peña, Chaco. sec-direccion@chaco.inta.gov.ar
- Melgar, R. 2005. Aplicación Foliar de Micronutrientes. http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/05/Aplicaci%C3%B3n-Foliar-de-Micronutrientes-Art%C3%ADculos.pdf. 02-10-2014
- Melgar, R. 2011. Fertilización del algodón. Uso complementario de aplicación Foliar de nutrientes. Fertilizar. Asociación civil. Nro 18, enero 2011.
- Mondino, MH & L Aarujo. 2011. Fertilizacion foliar con nitrato de potasio para mejorar la cantidad y calidad de fibra del algodón en surcos estrechos a 0,52 m. 8º Congresso Brasileiro de Algodão & I Cotton Expo 2011, São Paulo, Pag.: 1863-1871
- Patterson, LL; DR Buxton & RE Briggs. 1978. Fruiting in Cotton as Affected by Controlled Boll Set. ASA 70: 118-122
- Schmithalter N. 2017. Evaluación de la incidencia de la utilización de nitrógeno foliar de liberación controlada en la productividad del algodón. Boletín técnico. http://www.amauta.ag/admin/public/documents/uploads/ensayos/57.pdf. 30-01-2017

C3P43. VALORIZACION INICIAL DE ESTRATEGIAS DE FERTILIZACION EN LA REGION PAMPEANA

Grasso, Andrés A.[1] y Diaz-Zorita, Martin[2]

[1]Fertilizar AC, B. Mitre 1332 4° P, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. grasso@fertilizar.org.ar
[2]Desarrollo de Tecnologías en Monsanto, Parque Industrial Pilar, Calle 10 N°753, Pilar, Buenos Aires, Argentina. martin.diaz.zorita@monsanto.com

RESUMEN

Las estrategias para el manejo de la nutrición de los cultivos en sistemas agrícolas argentinos son variadas conduciendo a diversidad de resultados tanto en producción como sobre los suelos. Si bien abundan los estudios que describen aportes individuales o en secuencias de cultivos de la aplicación de fertilizantes, son limitados los resultados que comparan entre planteos de manejo de la nutrición. La implementación de modelos de recomendación regionales o de nutrición balanceada con respecto a prácticas frecuentes de fertilización incrementaría la producción de cultivos y la eficiencia de uso de los nutrientes aplicados. El objetivo es cuantificar las diferencias en producción agrícola según planteos contrastantes de manejo de la nutrición en condiciones agrícolas representativos de la región pampeana. Se analizaron los rendimientos de cultivos agrícolas sobre 8 estudios donde se establecieron cuatro tratamientos: i) sin fertilización, ii) fertilización promedio aplicada en la región, iii) fertilización promedio recomendada y iv) fertilización balanceada. En todos los casos los planteos de fertilización mostraron mayores rendimientos que el control sin aplicación de nutrientes con diferencias entre el 5% y el 53% según los cultivos considerados. La implementación de estrategias recomendadas o de nutrición balanceada también incrementaron la producción en todos los cultivos con respecto a la práctica aplicada con frecuencia en la región. En maíz y en soja esta mejora se relacionó con aumentos en la eficiencia de uso del N y del P aplicados. La implementación de prácticas recomendadas de fertilización en sistemas de producción pampeanos es una herramienta para reducir la brecha productiva alcanzable en la región.

Palabras claves: Sistemas agrícolas de secano, nutrición balanceada, producción de cultivos

INTRODUCCION

Las estrategias para el manejo de la nutrición de los cultivos en sistemas agrícolas argentinos son variadas conduciendo a diversidad de resultados tanto en producción como sobre los suelos. Si bien abundan los estudios que describen aportes individuales o en secuencias de cultivos de la aplicación de fertilizantes, son limitados los resultados que comparan entre planteos de manejo de la nutrición. Algunos de estos estudios describen los efectos acumulados en el tiempo de la aplicación de prácticas individuales tales como la fertilización validando la implementación de estrategias de manejo bajo criterios de reposición y enriquecimiento (Barraco *et al.*, 2014; Correndo *et al.*, 2015).

A partir de los análisis de brechas productivas y otros estudios, se describen oportunidades de mejora en la producción agrícola pampeana, entre las que se describe el manejo eficiente de la nutrición de cultivos. El manejo de la nutrición de los cultivos y su implementación reiterada afecta no sólo los niveles de fertilidad de los suelos sino, genera una brecha de rendimientos entre los diferentes planteos (Grasso & Zorita *et al.*, 2016). La combinación de prácticas puede mejorar la eficiencia de uso de recursos en secuencias aun cuando la cantidad de insumos aplicados se incrementa (Caviglia *et al.*, 2017).

La implementación de modelos de recomendación regionales o de nutrición balanceada con respecto a prácticas frecuentes de fertilización incrementaría la producción de cultivos y la eficiencia de uso de los nutrientes aplicados. El objetivo es cuantificar las diferencias en producción agrícola según planteos contrastantes de manejo de la nutrición en condiciones agrícolas representativos de la región pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña agrícola 2016/2017 se establecieron módulos de evaluación de larga duración en condiciones de producción representativas de sistemas agrícolas pampeanos (Tabla 1). En todos los casos el manejo de los cultivos es bajo prácticas de labranza cero con control químico de malezas y aplicación de prácticas frecuentes de manejo de cultivos de alta producción adaptadas regionalmente (i.e. genotipos, control de plagas y enfermedades, etc.). En cada sitio se establecieron cuatro tratamientos de manejo de la nutrición de los cultivos: i) sin fertilización, ii) fertilización promedio

aplicada en la región, iii) fertilización promedio recomendada y iv) fertilización balanceada. La dosis promedio de uso en cada región se estimó a partir de la información de encuestas a 1.200 productores y técnicos en la región pampeana coordinada por Fertilizar AC durante la campaña 2015/2016 (Fertilizar AC, 2017). El tratamiento de fertilización recomendada promedio se estableció para cada sitio considerando resultados de análisis de suelos y expectativas de productividad media regional según información local provista por referentes locales responsables de la conducción de los estudios. La fertilización para la nutrición balanceada de altos rendimientos se estimó según los mayores rendimientos alcanzables en cada región y considerando las demandas de NPS y Zn para tal propósito (Tabla 2). En todos los casos, las semillas sembradas de soja fueron inoculados en el momento de la siembra con productos comerciales para evitar limitaciones nitrogenadas en su normal crecimiento y producción.

Tabla 1: Localización y caracterización de los sitios experimentales.

			Propiedades edáficas			
			0-20 cm (mg kg^{-1})			0 – 40 cm
Localidad (provincia)	Cultivo	Antecesor	Pe (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	SSO4 (mg kg^{-1})	NNO3 (kg ha^{-1})
Pergamino (Buenos Aires)	Maíz	Soja	14	0,79	8	90
Nogoyá (Entre Rios)	Soja	Maíz	9,3	0,96	6,9	-
M. Juárez (Córdoba)	Soja 2°	Trigo	11	-	2,2	-
Río Cuarto (Córdoba)	Maíz	Soja	22,9	0,82	8,2	27
Tres Arroyos (Bueno Aires)	Soja	Trigo/Soja	10,7	-	-	-
25 de Mayo (Buenos Aires)	Cebada/Maíz	Trigo/Soja	8,4	0,92	5,8	42
25 de Mayo (Buenos Aires)	Trigo/Soja	Soja	8,9	0,86	4,9	47
25 de Mayo (Buenos Aires)	Maíz	Soja	10,6	0,94	6,4	62

Tabla 2: Rangos aplicados de nutrientes según cuatro estrategias para la fertilización cultivos en la región pampeana en 8 sitios de experimentación. En el caso de fertilización con N se muestran los rangos aplicados en cultivos de cereales.

	Nutriente aplicado (kg ha^{-1})			
Tratamiento	N	P	S	Zn
Control sin fertilizar	0	0	0	0
Fertilización promedio aplicada regionalmente	38 a 65	7 a 18	0	0
Fertilización recomendada promedio	46 a 70	7 a 20	6 a 18	0
Fertilización para nutrición balanceada de alta producción	100 a 170	17 a 40	12 a 26	1,5

En cada sitio, los tratamientos se dispusieron en franjas de al menos 20 m de ancho y 100 m de longitud empleando equipos convencionales de siembra y conducción de los cultivos con cosecha mecánica en estadios de madurez comercial de los cultivos. Los resultados se analizaron considerando cada sitio como una repetición y comparación entre los promedios de los rendimientos, respuestas relativas sobre el tratamiento de fertilización frecuente y la eficiencia de uso del N aplicado en cereales y del P según parámetros estadísticos descriptivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos de cebada sin fertilización alcanzaron los 3.489 Kg/ha, la mejora en los rendimientos por el manejo de la nutrición alcanzó 6.784 kg/ha, una mejora del 95% con planteos de alta producción. En trigo, los rendimientos variaron entre 4.290 y 5.729 kg/ha, las mejoras fueron de un 34%. El cultivo de maíz tuvo mejoras de 37% en los rendimientos que fueron de 9.417 a 12.790 kg/ha. En el Maíz de 2° sembrado luego del trigo, las mejoras fueron superiores que en la siembra de primera, con valores de 2.520 a 6.520 kg/ha entre los diferentes manejos, 160% de aumento. En soja, con rendimientos de 3.523 a 4.218 kg/ha las mejoras fueron de un 20%. Y en el cultivo de soja de 2° con antecesor trigo, las mejoras de un 23% llevaron los rendimiento de 2.255 a 2.746 kg/ha (Tabla 3).

Tabla 3: Rendimientos promedios en kg/ha para todos los cultivos según el manejo de la nutrición

Tratamiento	Cebada	Trigo	Maíz	Maíz (2°)	Soja	Soja (2°)
Control sin fertilizar	3.489,33	4.290,00	9.417,00	2.520,50	3.532,08	2.255,92
Fertilización promedio aplicada regionalmente	5.038,67	5.518,00	10.715,86	4.417,50	3.579,13	2.223,60
Fertilización recomendada promedio	5.402,33	5.265,00	11.788,43	6.467,25	3.811,98	2.389,52
Fertilización para nutrición balanceada de alta producción	6.784,00	5.729,00	12.790,86	6.520,75	4.218,13	2.746,77

En promedio, la aplicación de fertilizantes mostró mayores rendimientos que la ausencia de la práctica con aportes de entre 10 y 160% con diferencias tanto entre cultivos como entre tratamientos mejorados de manejo de la nutrición. Entre los tratamientos de fertilización, la aplicación de las recomendaciones para producción promedio regional mostraron aumentos de entre el 5 y 50% de los rendimientos (Figura 1). Estas mejoras fueron también mayores al aplicar estrategias de nutrición balanceada para alta producción. En el caso de cultivos de maíz de segunda, sembrados sobre antecesor trigo, la diferencia entre las recomendaciones promedio y de alta producción fueron de menor magnitud, aunque mostraron las mayores brechas de mejora entre la condición de uso actual de nutrientes y las mejoradas.

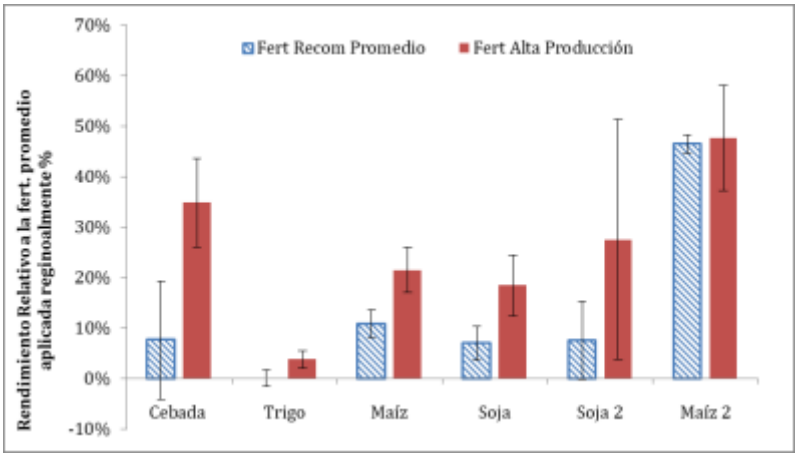
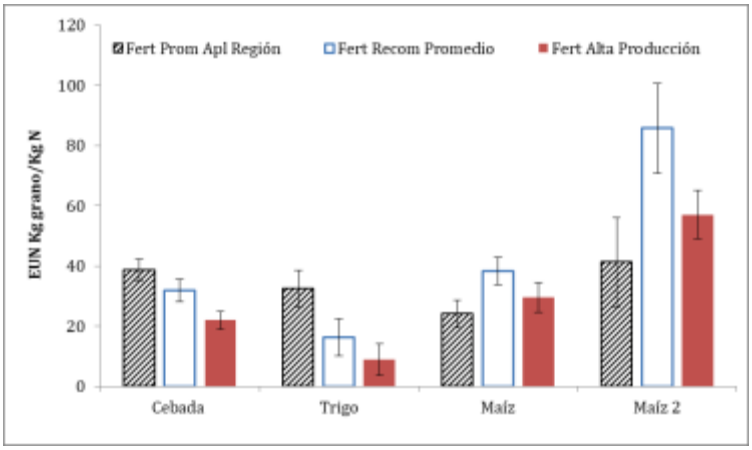


Figura 1: Porcentaje de mejora en la producción media de cultivos en la región pampeana según estrategias mejoradas de fertilización. Las barras en cada columna indican el error estándar de la media.

La eficiencia en el uso del N aplicado para la producción de cereales mostró diferencias según los cultivos considerados. En el caso de trigo y de cebada al intensificarse la aplicación de fertilizantes con aumentos en las dosis de nitrógeno las mejoras en producción fueron menos que proporcionales reduciendo la eficiencia de uso (Figura 2). En cambio, en el caso de maíz, tanto cuando se sembró como primer cultivo como de segunda sobre antecesor trigo, al implementar estrategias recomendadas de fertilización donde se incrementó la aplicación de nitrógeno la eficiencia de uso del nutriente aumentó (Figura 2). Situación similar se describió en cultivos de soja en cuanto al uso del fósforo donde la intensificación productiva recomendada para cada región se acompañó con aumentos en la eficiencia del nutriente tanto en cultivos de siembra de primera como de segunda sobre trigo (Figura 2).



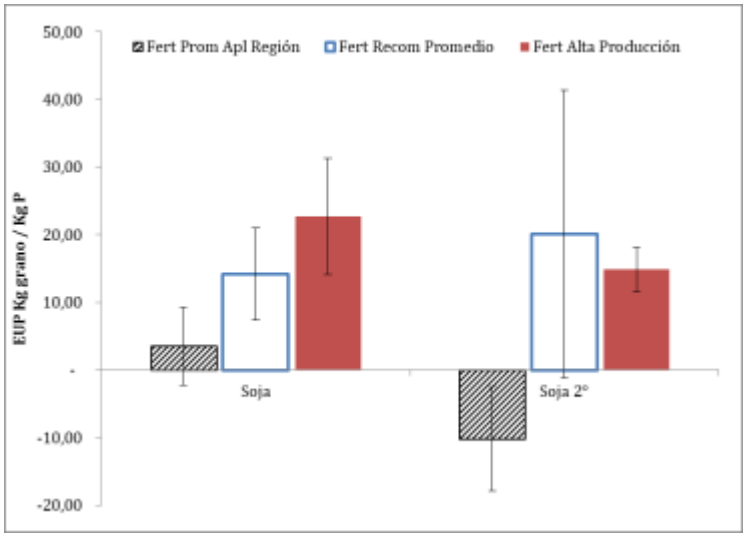


Figura 2. Eficiencia del uso del nitrógeno (EUN) del fosforo (EUP) según estrategias de fertilización en la región pampeana. Las barras en cada columna indican el error estándar de la media

CONCLUSIONES

En condiciones de producción representativas de la región pampeana se validaron mejoras en los rendimientos de los cultivos al implementar estrategias de fertilización recomendadas o de nutrición balanceada con respecto a la aplicación actual de esta práctica. Los rangos de mejora y su relación con la eficiencia en uso de los nutrientes aplicados varía según cultivos y planteos de nutrición. Estudios en desarrollo integran el efecto del sistema productivo en las prácticas de nutrición.

AGRADECIMIENTOS

A Fertilizar AC y su comité técnico por el financiamiento de los estudios y los aportes en su diseño y discusión de los resultados. A los Ing.Agr. Luis Ventimiglia (INTA 9 de Julio), Gustavo Ferraris (INTA Pergamino), Gabriel Esposito (UNRC), Cesar Quintero (UNER) y Martín Zamora (CHEI Barrow), por la instalación, conducción y discusión de los estudios.

BIBLIOGRAFÍA

- Barraco, M., M. Díaz-Zorita, C. Justo & A. Lardone. 2014. ¿Fertilización fosfatada por suficiencia o mantenimiento en secuencias agrícolas de la pampa arenosa? En: Actas del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo - II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”. Producción sustentable en ambientes frágiles. AACS (ed.), Bahía Blanca, Bs. As., 5-9 mayo. 2014. AACS. Argentina.

- Caviglia, O. 2017. Uso de recursos en diferentes sistemas de producción con énfasis en la pampa húmeda Argentina. III Workshop Internacional de Ecofisiología de cultivos, Mar del Plata (BA, Argentina), 28-29 de septiembre del 2017. http://www.ecofisiovegetal.com.ar/presentaciones/09.-%20CAVIGLIA%20-%20III%20Workshop%20Ecofisiolog+%C2%A1a%20Vegetal%20-%202017.pdf (fecha de consulta: 14 de marzo del 2018).
- Correndo AA, M Boxler & FO García. 2015. Análisis económico del manejo de la fertilización con enfoque en el largo plazo. Cienc. Suelo (Argentina) 33:197-212.
- Díaz-Zorita M & A Grasso. 2016. Fertilización intensificada de planteos agrícolas. XXIV Congreso Anual AAPRESID. Del 3 a 5 Agosto de 2016, Rosario, Santa Fe.
- Fertilizar AC. 2017. Detalle de consumo de fertilizantes - Extensivos. http://www.fertilizar.org.ar/?page_id=468. (fecha de consulta: 14 de marzo del 2018).

C3P44. ALTERNATIVAS PARA INCREMENTAR LA SUSTENTABILIDAD EN SECUENCIAS BASADAS EN EL CULTIVO DE SOJA

Gudelj, VJ.; OE Gudelj; MB Conde; CA Lorenzon; PS Vallone; CM Galarza
INTA EEA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina. E-mail: gudelj.vicente@inta.gob.ar

RESUMEN

El monocultivo de soja y la baja reposición de nutrientes es un problema para la sustentabilidad de los suelos en Argentina. Una posible solución a esta problemática seria utilizar gramíneas como cultivos de coberturas previo a la implantación de la soja y aumentar los niveles de fertilización. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la utilización de Triticale (*Tritico secale*) como cultivo de cobertura previo a soja y la fertilización con nitrógeno, fosforo y azufre (NPS) sobre el rendimiento de la soja y algunas propiedades físicas del suelo. Durante el periodo 2006-2016 se condujo un experimento en la EEA INTA Marcos Juárez donde se evaluaron los siguientes tratamientos: 1) Soja sin fertilización (S s/f); 2) Soja con fertilización de reposición de P y S (S c/f P y S); 3) Cultivo de cobertura/Soja ambos sin fertilización (CC/S s/f); 4) Cultivo de cobertura /Soja con fertilización de P y S (CC/ S c/f P y S); 5) Cultivo de cobertura fertilizado con N / Soja con fertilización de reposición de P y S. (CC c/f N -S c/f P y S) y 6) Cultivo de cobertura fertilizado con N/ Soja con reposición de P y S, en secuencia de 3 años con Maíz y Trigo /Soja con NPS (SEC). El análisis estadístico se realizó utilizando modelos lineales mixtos, teniendo en cuenta los efectos de tratamientos, año y la interacción. Se compararon las medias de los tratamientos con el test LSD de Fisher (5%). En los años sin influencia de napas freáticas los cultivos de cobertura fertilizados con NPS tuvieron una incidencia negativa en el rendimiento de la soja cuando las precipitaciones de los meses de diciembre, enero y febrero fueron escasas. En los años con influencia de napas se insinuó un mejor comportamiento de los tratamientos con cobertura respecto de los sin cobertura. La fertilización no incidió sobre los rendimientos e incluso la aplicación de N no deprimió el rendimiento de soja. En dos de los once años de estudio la soja en una secuencia con gramíneas se diferenció positivamente de todos los demás tratamientos. La utilización de cultivos cobertura no tuvo un efecto positivo sobre la densificación del suelo, e incluso a partir de la profundidad 10-15cm se observó un incremento de la misma. Los cultivos de cobertura mejoraron la estabilidad estructural del suelo. Si bien los cultivos de cobertura pueden aportar significativamente en el uso y manejo del suelo es necesario para definir su utilización valerse de los pronósticos climáticos a largo plazo.

Palabras clave: soja, cultivo de cobertura, sostenibilidad

INTRODUCCIÓN

La superficie implantada con soja (*Glycine max L. Merr.*) creció significativamente en Argentina, tanto por la incorporación de nuevas áreas como por aumento del monocultivo, lo que lleva a un balance negativo de carbono (C) con el consiguiente deterioro en la calidad del suelo. Las secuencias de cultivos que incluyen gramíneas y leguminosas permiten aportar altas cantidades de C que puede ser mayor aun cuando los mismos se fertilizan. Además del incremento en el aporte de C, las secuencias de cultivos adecuadas permiten un mejor control de plagas, malezas y enfermedades. Con todo es posible preservar las condiciones físicas y químicas del suelo y a su vez obtener mejores rendimientos que cuando se utiliza monocultivo. Estudios realizados en INTA Marcos Juárez indicaron que el rendimiento de soja puede aumentarse hasta un 10 % y el maíz hasta un 37 % cuando ambos cultivos se realizan en rotación comparada con el sistema de monocultivo (Lattanzi 1989). En este mismo experimento si bien superficialmente hubo una tendencia a tener menor densidad aparente (DA) en las secuencias que tenían trigo respecto del monocultivo de soja, estas diferencias no fueron significativas, a mayor profundidad no hubo diferencia entre secuencias evaluadas y en todas las profundidades los valores medidos siempre estuvieron por debajo del punto crítico para esta variable en este tipo de suelo, Argiudol típico. No ocurrió lo mismo con la estabilidad estructural (EE) donde el mejor efecto sobre esta variable lo produjo la secuencia trigo/soja y el peor el monocultivo de soja, surgiendo esta secuencia como la más degradativa de todas (Gudelj, O y Masiero, B. 2001). Si bien se han hecho ingentes esfuerzos para difundir secuencias adecuadas de cultivos que aporten cantidades necesarias de C, que junto con otras prácticas de manejo hagan sustentable el sistema, la superficie con monocultivo de soja sigue siendo alta. En cuanto a la reposición de nutrientes en la campaña 2010/11, por ejemplo, se extrajeron 3.93 millones de toneladas de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S) y calcio (Ca), siendo la reposición de 1,36 millones de toneladas, lo que representa un 34,6 % de reposición (Cruzate y Casas 2012). Los balances negativos reducen la cantidad y disponibilidad de nutrientes en los suelos afectando su calidad (fertilidad), el rendimiento de los cultivos y la sustentabilidad de los sistemas de producción (Garcia y Gonzalez San Juan 2010). En este contexto, se plantea como desafío el desarrollo de prácticas que atenúen o reviertan el impacto negativo de la práctica del monocultivo, debido a lo extractivo que resulta y a la baja cantidad de C que aportan sus residuos. Experimentos con

avena en el área de Pergamino indicaron un importante aporte de materia seca y mejoraron la eficiencia en la captación del agua de lluvia de primavera respecto de barbechos limpios (Cordone et al., 1986). Trabajos conducidos en Illinois han demostrado que los cultivos de cobertura pueden mantener y aumentar la materia orgánica del suelo (MO) y de esta manera mejorar la calidad física de los suelos (Bollero, 2005). La estrategia de reposición de nutrientes fundamentalmente con N, P y S se viene experimentando en los sistemas agrícolas de nuestro país desde fines de 1990, con la finalidad de mantener las reservas de nutrientes en el suelo contribuyendo a la sustentabilidad (Gudelj et al. 2004 y 2006). La estrategia en secuencias basadas en el cultivo de soja seria utilizar gramíneas como cultivos de cobertura que aporten materia seca, que mantengan raíces vivas hasta supresión de su crecimiento previo a la siembra de la soja y que mediante la captura de nutrientes eviten las pérdidas por lixiviación de los mismos, los cuales podrían ser utilizados por el cultivo siguiente; y además incrementar la fertilización cuando se hace soja en forma continua, de modo de mejorar el balance de C y otros nutrientes como N, P y S. El P y el S son nutrientes necesarios de reponer dada la alta extracción del cultivo de soja, en tanto que el N requiere una consideración especial. Por una parte, considerando valores medios de fijación simbiótica y extracción de N en los granos de soja, su balance es muy deficitario, pero por otra parte, las experiencias de fertilización nitrogenada conducidas en la región pampeana en sitios con más de dos o más años de cultivo previo con soja, no tuvieron efecto sobre los rendimientos cuando se aplicó el N a la siembra, ni cuando la aplicación se realizó en el periodo reproductivo, e incluso, en la literatura internacional se han determinado efectos negativos sobre la nodulación con aplicaciones de N en el momento de siembra de la soja (Gutierrez Boem, 2005). Estos antecedentes sugieren la inconveniencia de plantear aplicaciones de N al cultivo de soja como medida para revertir el balance negativo de este elemento en el monocultivo. Una alternativa sería aplicarlo en el cultivo de cobertura antecesor de manera que sea liberado-ciclado en la soja siguiente. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la utilización de Triticale (*Tritico secale*) como cultivo de cobertura previo a soja y la fertilización con NPS sobre el rendimiento de la soja y algunas propiedades físicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento de larga duración se conduce en la EEA INTA Marcos Juárez, suelo Argiudol típico de la serie homónima de textura superficial franco-limosa con 25,1% de arcilla; 68,9% de limo; 5,4% de arena muy fina y 0,6% de arena fina (INTA, 1978). Al inicio de la experiencia, el sitio tenía más de 30 años de agricultura continua, 2,54 % de MO, 27 $mg.kg^{-1}$ de P extractable (Pe), 5 $mg.kg^{-1}$ de S-SO_4 y pH 6, de 0- 20 cm de profundidad. El diseño experimental utilizado fue de bloques completo aleatorizado con tres repeticiones, unidad experimental (9,40 m x 30m). Los tratamientos que se evaluaron fueron los siguientes: 1) Soja sin fertilización (S s/f); 2) Soja con fertilización de reposición de P y S (S c/f P y S); 3) Cultivo de cobertura/Soja ambos sin fertilización (CC/S s/f); 4) Cultivo de cobertura /Soja con fertilización de P y S (CC/ S c/f P y S); 5) Cultivo de cobertura fertilizado con N / Soja con fertilización de reposición de P y S. (CC c/fN -S c/f P y S) y 6) Cultivo de cobertura fertilizado con N/ Soja con reposición de P y S en secuencia de 3 años con Maíz y Trigo /Soja con NPS (SEC). A continuación se describe el tratamiento 6, en el cual todos los cultivos se repiten cada año: 6a-Maíz con fertilización P y S (reposición) y 130 kg N; 6b-Trigo/Soja con fertilización P y S (reposición) y 100 kg N y 6c-Cultivo de cobertura fertilizado con 80 kg de N/Soja con fertilización de reposición con P y S. La determinación de la dosis de reposición se realizó en función de un rendimiento objetivo definido para cada cultivo, 12, 5, 3,2 y 4 $t.ha^{-1}$ de maíz, trigo, soja de segunda y soja de primera, respectivamente. En soja de primera el P y el S se aplicaron en el momento de la siembra del cultivo y en el tratamiento que se empleó N la aplicación se realizó al momento de la siembra del cultivo de cobertura antecesor. En trigo/soja todo el fertilizante fue aplicado en el momento de la siembra del trigo. En maíz el P y el S se aplicaron en el momento de la siembra y el N en el estado de V6 del cultivo. El estudio que se presenta comprende el periodo entre los ciclos 2006/7 y 2016/17. Para la determinación de rendimientos se cosecharon los tres surcos centrales de cada tratamientos (15,75 m^2). Los muestreos para las mediciones de física del suelo se realizaron todos los años en el mes de junio, con un contenido de humedad de suelo cercano a capacidad de campo. Para la determinación de la EE se extrajeron 9 muestras (0-10 cm) por tratamiento y se estimó la EE de los agregados mediante el cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP) expresado en milímetros, método que integra agregados comprendidos entre 2 y 8 mm de diámetro y evalúa la estabilidad ante el impacto de la gota de lluvia y el movimiento del agua (De Boodt & De Leenheer, 1967). Se obtuvo el índice de estabilidad relativo (IER) en porcentaje relacionando el CDMP de cada situación estudiada con el de un suelo de referencia cercano al sitio del ensayo (CDMP = 0.35 mm), considerando que cuanto mayor el IER mejor la EE. La DA se midió por el método del doble cilindro de volumen conocido (Blake & Hartge, 1986) utilizando un sistema hidráulico. Se extrajeron 6 muestras por tratamiento y las profundidades medidas fueron: 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 y 20-25 cm. Para el análisis de los resultados de todas las variables presentadas en este trabajo se utilizaron modelos lineales mixtos, teniendo en cuenta los efectos de tratamientos, año y la interacción. Se compararon las medias de los tratamientos con el test LSD de Fisher (5%).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se puede observar el rendimiento obtenido por el cultivo de soja de primera con cada alternativa de manejo para cada ciclo durante el periodo en estudio. El análisis estadístico detectó que hubo interacción de ciclo x tratamientos, donde en alguno de los primeros años, ciclos 2007/8 y 2008/9 no hubo diferencia entre tratamientos al igual que en los ciclos 2015/16 y 2016/17. En la tabla 1 se muestran los ciclos donde ocurrió dicha interacción. En el ciclo 2009-10 ocurrió una epifitia de mancha ojo de rana (Cercospora sojina) que deprimió el rendimiento de todos los tratamientos, aunque se destaca el tratamiento cultivo de cobertura/soja con fertilización de P y S que tuvo un rendimiento significativamente mejor que el tratamiento soja sin fertilización. Si se observa la figura 1 se puede decir que las napas freáticas comenzaron a tener incidencia a partir del ciclo 2013/14 en la que se ubica a menos de 2 metros de profundidad y desde donde las raíces pudieron haber llegado a tomar agua. Anteriormente en algunos ciclos, especialmente en el ciclo 2011/12, sin influencia freática y con escasa precipitaciones en diciembre, enero y febrero los tratamientos con cobertura fertilizados tienen los más bajos rendimientos e incluso el tratamiento SEC tiene un rendimiento significativamente inferior a la mayoría de los demás. Esto sugiere el inconveniente que podría tener el uso de coberturas en años con menores precipitaciones y cuando no tenemos el beneficio de la napa freática. Una posibilidad para evitarlo sería suprimir el crecimiento de la cobertura más temprano en años en que se pronostiquen como más secos.

Tabla1: Rendimiento promedio de soja de primera (años en los que se marcaron diferencias significativas entre los tratamientos) periodo 2006-2016. S s/f: soja sin fertilizar; S c/f PS: Soja con fertilización de reposición de P y S; CC/S s/f: cultivo de cobertura/soja ambos sin fertilizar; CC/ S c/f PS: Cultivo de cobertura /Soja con fertilización de reposición P y S; CCc/f N- S c/f PS; Cultivo de cobertura fertilizado con N / Soja con fertilización de reposición de P y S; SEC: Cultivo de cobertura fertilizado con N/ Soja con reposición de P y S en secuencia de 3 años con Maíz y Trigo /Soja con NPS.

Ciclo	2006/7	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/5
TRAT				*kg.ha^{-1}*			
S s/f	4210 a	2368b	4207b	3076ab	3520a	3597cd	3277cd
S c/f PS	3906 ab	2557ab	4194b	3118a	3516a	3487d	3249d
CC/S s/f	3896 ab	2705ab	4187b	3073ab	3455a	3992ab	3611bc
CC/ S c/f PS	3763 b	2828a	4268b	2933ab	3111b	4214a	3732b
CCc/fN-S c/fPS	3686 b	2566ab	4084b	2738bc	3338ab	3927abc	3590bc
SEC	3644 b	2667ab	4887a	2515c	3209ab	3802bcd	4338a

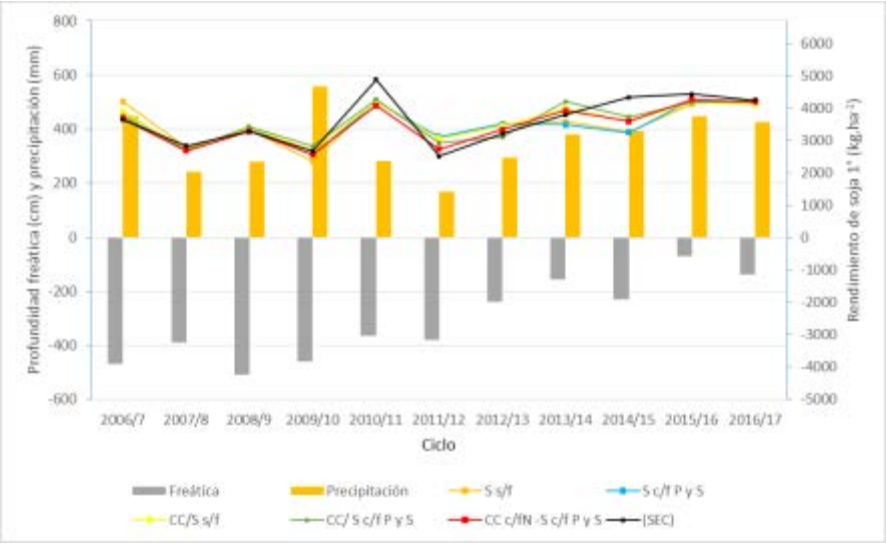


Figura 1: Rendimiento promedio soja de primera periodo 2006-2016, profundidad de freática (promedio diciembre, enero y febrero) y precipitaciones (suma: diciembre, enero y febrero) en cada ciclo. S s/f: soja sin fertilizar; S c/f PS: Soja con fertilización de reposición de P y S; CC/S s/f: cultivo de cobertura/soja ambos sin fertilizar; CC/ S c/f PS: Cultivo de cobertura /Soja con fertilización de reposición P y S; CC c/f N- S c/f PS; Cultivo de cobertura fertilizado con N / Soja con

fertilización de reposición de P y S; SEC: Cultivo de cobertura fertilizado con N/ Soja con reposición de P y S en secuencia de 3 años con Maíz y Trigo /Soja con NPS.

El rendimiento con los cultivos de la secuencia recomendada para el área (SEC) fue muy bueno, alcanzando en promedio de los 11 años de estudio 12749, 3925, 3208 y 3629 kg.ha^{-1}, para maíz, trigo, soja de 2° y soja de 1°, respectivamente. En la figura 2 y 3 se muestra un detalle de los rendimientos por ciclo donde puede observarse la variación interanual producto fundamentalmente de condiciones ambientales (precipitaciones y posición de la napa freática) donde es de destacar el bajo rendimiento del cultivo de trigo del año 2008 que debido a la severa sequía solo alcanzó 400 kg.ha^{-1}.

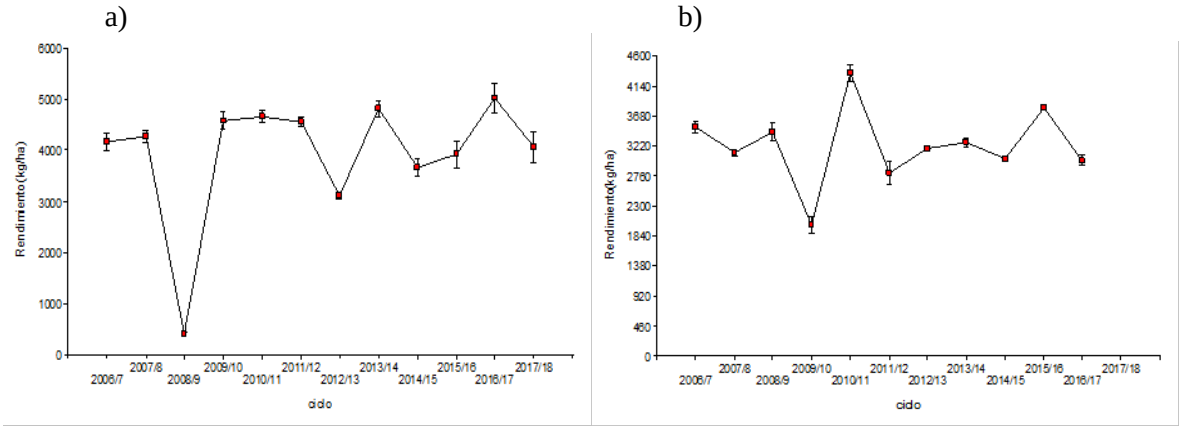


Figura 2: Rendimiento promedio cultivo de trigo (a) y soja de 2° (b), periodo 2006-2016 en el tratamiento SEC: Cultivo de cobertura fertilizado con N/ Soja con reposición de P y S en secuencia de 3 años con Maíz y Trigo /Soja con NPS.

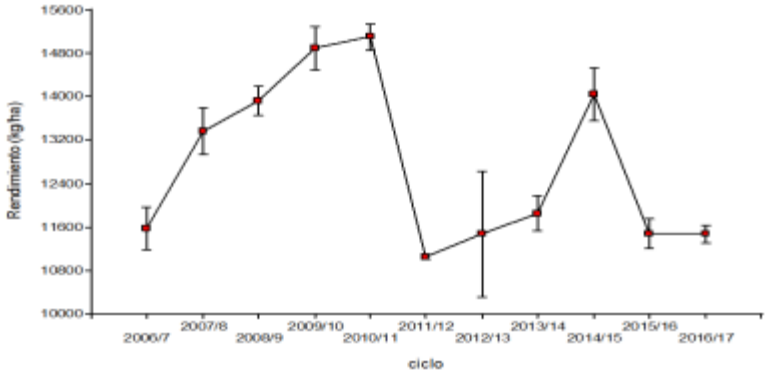


Figura 3: Rendimiento promedio del cultivo de maíz periodo 2006-2016 en el tratamiento SEC: Cultivo de cobertura fertilizado con N/ Soja con reposición de P y S en secuencia de 3 años con Maíz y Trigo /Soja con NPS.

Estabilidad Estructural

En la Figura 4 se puede apreciar la evolución de los valores de EE de los distintos tratamientos estudiados desde 2006 a 2016. En el inicio de la experiencia se obtuvo un índice (IER=20%) que caracterizó a la estructura del suelo estudiado como muy débil, esta condición no se modificó en 2009 con tres años de continuidad de los tratamientos (IER= 25%). Al sexto año de iniciado el ensayo (2012), se apreciaron diferencias significativas entre las situaciones con inclusión de CC en su secuencia que expresaron una mejor EE (IER 33-38%), respecto del tratamiento soja continua sin fertilización (IER = 21%). En el último año de medición (2016), los tratamientos con CC sostuvieron la mejora de la EE, en tanto que la situación en la que se realizó el cultivo de soja en forma continua y sin fertilización mantuvo siempre una EE débil a través de los años. La soja en secuencia con trigo, maíz y CC, y el CC en la secuencia soja continua manifestaron un efecto restaurador de la EE del suelo estudiado; y si bien no se alcanzaron a diferenciar estadísticamente, en el tratamiento que además contempla la fertilización del CC, se puede apreciar una tendencia a mejorar la EE respecto del CC sin fertilizar.

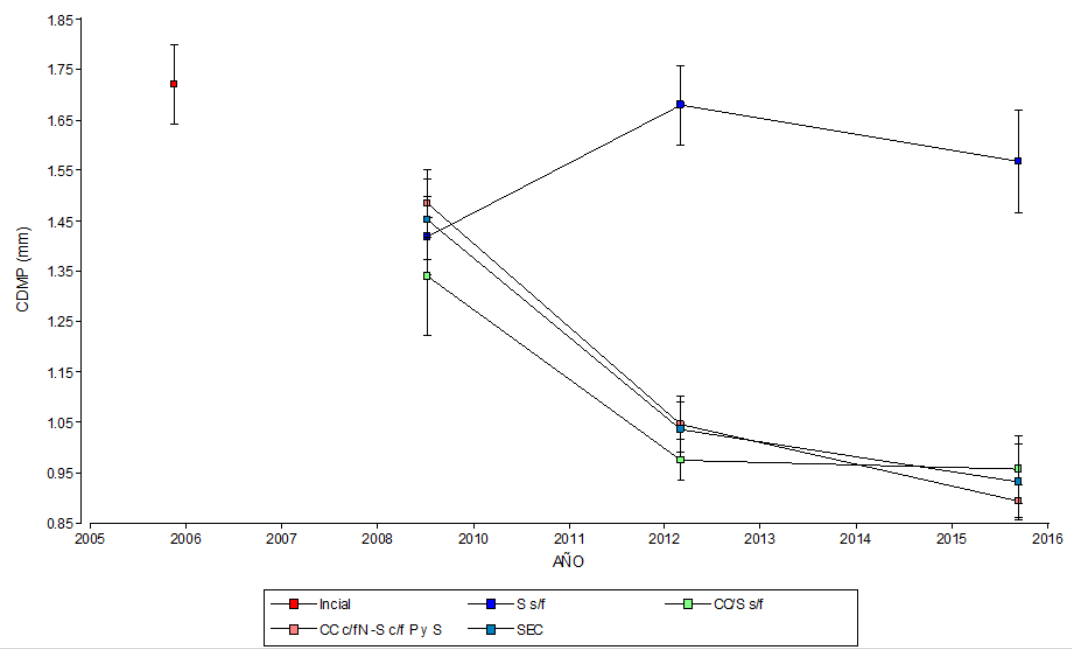


Figura 4: Evolución de la estabilidad estructural (2006-2016) para la profundidad 0-10cm.SEC: Cultivo de cobertura fertilizado con N/ Soja con reposición de P y S en secuencia de 3 años con Maíz y Trigo /Soja con NPS; CC/ S c/f P y S: Cultivo de cobertura /Soja con fertilización de P y S; CC/S s/f: Cultivo de cobertura/Soja – ambos sin fertilización y s/f: Soja sin fertilización.

Densidad Aparente

En la Tabla 2, se pueden apreciar los valores de DA promedio para los años 2012 y 2016 en tres situaciones analizadas: SEC; CC/ S c/f P y S y S s/f. En la misma se describen los resultados del análisis estadístico, presentándose las medias por tratamiento sólo en las profundidades donde se hallaron diferencias significativas entre ellos. Para el espesor 0-5cm, no se apreció densificación del suelo a través de los años estudiados, si se considera el valor de DA superficial medido en el inicio del ensayo (1,16 g.cm^{-3}). En los espesores más profundos la DA siempre tomó valores por debajo del considerado crítico (1,4-1,5 g.cm-3) de acuerdo a Griffith et al. 1977, con excepción del valor medido en 2016 en el espesor 10-15 cm, donde la DA promedió 1,40 g.cm^{-3}.Sólo para las profundidades 5-10 y 10-15 cm se apreciaron diferencias entre los tratamientos. A partir de la profundidad 10-15cm se obtuvieron diferencias de DA a través de los año, observándose un incremento significativo de la misma en 2016.

Tabla: Densidad Aparente (DA) en 2012 y 2016 para 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 y 20-25 cm de profundidad. SEC: Cultivo de cobertura fertilizado con N/ Soja con reposición de P y S en secuencia de 3 años con Maíz y Trigo /Soja con NPS; CC/ S c/f P y S: Cultivo se cobertura /Soja con fertilización de P y S; S s/f: Soja sin fertilización.

DA (g.cm^{-3})										
Prof. (cm)	**0-5**		**5-10**		**10-15**		**15-20**		**20-25**	
Situación Inicial	**1,16**		**1,34**		**1,39**		**1,35**		**1,35**	
Año	**2012**	**2016**	**2012**	**2016**	**2012**	**2016**	**2012**	**2016**	**2012**	2016
Análisis de Varianza										
Efecto Trat.	NS		si (p<0.005)		si (p<0,0178)		NS		NS	
Efecto Año	NS		si (p<0,076)		si (p<0,0401)		si (p<0,0273)		si (p<0,0381)	
Año x Trat.	NS		NS		NS		NS		NS	
Promedio	**1,17**	**1,15**	**1,36**	**1,38**	**1,36B**	**1,40A**	**1,34B**	**1,38A**	**1,31B**	**1,35A**
Tratamiento										
SEC			1.39a		1.41a					
CC/ S c/f P y S			1.35 b		1.36ab					
S s/f			1.33 b		1.38 b					

CONCLUSIONES

En los años sin influencia de napas freáticas los cultivos de cobertura fertilizados con NPS tuvieron una incidencia negativa en el rendimiento de la soja cuando las precipitaciones de los meses de diciembre, enero y febrero fueron escasas.
En los años con influencia de napas se insinuó un mejor comportamiento de los tratamientos con cobertura respecto de los sin cobertura.
La fertilización no incidió sobre los rendimientos e incluso la aplicación de N no deprimió el rendimiento de soja.
En dos de los once años de estudio la soja en una secuencia con gramíneas se diferenció positivamente de todos los demás tratamientos.
La utilización de cultivos de cobertura no tuvo un efecto positivo sobre la densificación del suelo, e incluso a partir de la profundidad 10-15cm se observó un incremento de la misma.
Los cultivos de cobertura en soja continua mejoraron la estabilidad estructural del suelo con un comportamiento similar a la soja en secuencia con trigo, maíz y CC.
Si bien los cultivos de cobertura pueden aportar significativamente en el uso y manejo del suelo es necesario para definir su utilización valerse de los pronósticos climáticos a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS
Este trabajo se realizó gracias al aporte económico de los Proyectos PNCER-2342**,** PNCER-022421y PNCYO 1127033 todos correspondientes al Programa Cereales y Oleaginosos del INTA.

BIBLIOGRAFÍA

- Blake, GR & KH Hartage. 1986. Bulk Density. In: A Klute (ed.). Methods of soil analysis, Part I. 2nd. Ed. American Society of Agronomy, Madison, Agronomy 9: 363-375.
- Bollero G. 2005. Revista Agro mensajes. Facultad de Ciencias Agrarias-UNR) Nº 17.
- Cordone, G.; Hansen, O y Senigagliesi, C. Abonos Verdes. Posibilidades de su utilización en sistemas de agricultura permanente. Serie de Artículos técnicos. Fertilidad de suelos y uso de fertilizantes Nº1. Proyecto Agricultura Permanente. INTA. Setiembre 1986
- Cruzate, GA & RR Casas. 2012. Extracción y balance de nutrientes en suelos agrícolas de la Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. IAH 6.
- De Boodt, M & L De Leenheer. 1967. Determination of aggregate stability by the change in mean weigth diameter. West-Europan Methods for Soil Structure Determinations. State Faculty Agricultural Sciences, Ghent, Belgium. 60-62.
- García, F., y M.F. González Sanjuan. 2010. Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 48:1-5. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Griffith DR, JV Mannering & WC Moldenhauer. 1977. Conservation tillage in the Eastern Corn Belt. Journal of Soil and Water Conservation, 32:20-28.
- Gudelj, O & B Masiero. 2001. Efecto del manejo del suelo sobre su estabilidad estructural. Informe técnico del área Suelos y Producción Vegetal. N°128. EEA Marcos Juárez, pp.31-43.
- Gudelj, V; C Galarza; G Espoturno; O Gudelj; P Vallone; A Saavedra; H Ghio; M. Boll; F García. 2004. Evaluación de alternativas de fertilización a largo plazo. Información para Extensión Nº 85. EEA INTA Marcos Juárez, pp. 47-52.
- Gudelj V; C Galarza; G Espoturno; O Gudelj; P Vallone. 2006. Evaluación de la fertilización a largo plazo. Informe de Actualización Técnica Nº 1. EEA INTA Marcos Juárez.
- Gutiérrez Boem F. 2005. Fertilización de soja. En Fertilización de cultivos de granos y pasturas. UBA. Bs. As.
- INTA. 1978. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-17. Marcos Juárez. pp.29-30.
- Lattanzi AR. 1989. Secuencias de cultivos y sistemas de labranzas conservacionistas para la producción de soja. IV Conferencia Mundial de Investigación en Soja. Actas tomo IV. Buenos Aires, Argentina.

C3P45. CONTRIBUCIÓN DE LAS RAÍCES Y LA FIJACIÓN BIOLÓGICA AL BALANCE DE NITRÓGENO EN SOJA.

Kehoe, Esteban[1]; Rubio, Gerardo[2] y Salvagiotti, Fernando[3].

[1]CONICET, EEA INTA Oliveros, Ruta Nacional 11, km 353, (2206) Oliveros, Santa Fe. kehoe.esteban@inta.gob.ar

RESUMEN

El aporte de nutrientes de los cultivos al sistema de producción está directamente ligado a la cantidad y calidad de residuos que quedan en el sistema luego de la cosecha. Las estimaciones de estos aportes por los cultivos se suelen estimar a partir de un índice de cosecha o a través de balances parciales entre el nutriente exportado con los granos y aquel que queda en el sistema. En la mayoría de los casos no se consideran la inclusión de estructuras sub-superficiales en el cálculo, lo cual se relaciona con la escasez de investigaciones que cuantifiquen las raíces a campo, a pesar de su relevante rol en la estimación del aporte y balance de nutrientes. En el caso de leguminosas, estos cálculos además son importantes para cuantificar el rol de la fijación biológica de nitrógeno (N) en el sistema. En el caso particular de soja existen incógnitas en estos balances debido a la alta exportación de N en grano. El objetivo de nuestro trabajo fue cuantificar el impacto de la inclusión de la biomasa radical sobre el balance de N y la distribución relativa del N atmosférico y del suelo en distintas estructuras del cultivo de soja. El experimento se realizó en INTA Oliveros durante la campaña 2016/17 en suelo Argiudol típico. Se evaluaron dos cultivares con distinto grupo de madurez (IV y V) con dos condiciones hídricas (riego y secano) con cuatro repeticiones en bloques completos aleatorizados. En R_2, R_5 y R_7, se determinó materia seca aérea (hojas, tallos y frutos) y subterránea (raíces y nódulos) retirando bloques enteros sin disturbar de 0,52x0,3x0,3 m (ancho, largo y profundidad). Se cuantifico el porcentaje de N total e isótopo ^{15}N de cada tejido por espectrómetro de masa. El N de fijación biológica de nitrógeno se calculó por método de abundancia natural ^{15}N utilizando maíz como cultivo de referencia. El balance parcial de N se estimó como: Nfijado-Ngrano. El rendimiento medio fue 5.110 $kg.ha^{-1}$, sin diferencias significativas entre grupo de madurez o condición hídrica. En R_2 la biomasa aérea del GMV supero 109% a GMIV y en R_5 fue 40% superior ($p<0,01$). En R_2 la MS sub-superficial del V fue un 21% superior debido probablemente a la mayor duración del período emergencia-floración de este grupo. El aporte de raíces en R_2, R_5 y R_7, fue 482, 1.206 y 901 $kg.ha^{-1}$, representando 19, 14 y 8% de la biomasa total. Al incluir el componente raíces, el índice de cosecha de grano (IC) se redujo un 3,5% (43,2 vs 39,7), y el IC N disminuyó 2,9% (79,8 vs 76,9). En R_7, el contenido de N fue en promedio de 323 $kgN.ha^{-1}$ y representó 8, 7, 4, 77 y 4 % para tallo, hoja, carpelo, grano y raíces, respectivamente. La contribución del N fijado por tejido fue 84, 94, 89, 88 y 55%, representando una contribución total del 87%. Se concluye que la falta de cómputo de las raíces en los cálculos de balance de N conduciría a subestimaciones del balance del orden del 16%.

Palabras claves: abundancia natural 15N, índice de cosecha, estructuras subterráneas.

C3P46. RESPUESTA A NITROGENO DEL TRIGO CONTINUO EN UN ENSAYO DE LARGA DURACION BAJO SIEMBRA DIRECTA

Kiessling, Roberto J.; Martinez, Juan M. y Ron, Maria M.

Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. San Andrés 800. Bahía Blanca. Argentina. kiessling@criba.edu.ar

RESUMEN

Los ensayos de larga duración contribuyen a generar conocimientos de los efectos de largo plazo de las prácticas agrícolas. El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto que tuvieron algunas variables de sitio sobre la respuesta del cultivo de trigo a la fertilización nitrogenada, en un ELD ubicado en el partido de Bahía Blanca (Buenos Aires), en el período 2010-2016. El ensayo consiste en la aplicación de tres dosis de N como urea en dos momentos del ciclo en un monocultivo de trigo. Se distinguieron dos períodos climáticamente diferentes. Entre 2010-2013 se registró un ciclo seco donde el rendimiento promedio del ensayo (REND), la humedad en presiembra en 0-60 cm (H%) y la eficiencia agronómica del fertilizante aplicado en siembra-emergencia o macollaje (EAGRe y EAGRm) fueron consistentemente menores al período 2014-2016. Para la proteína promedio ocurrió lo contrario. Entre 2010 y 2017 la H% aumentó en forma proporcional con los años de SD. Se observó una estrecha relación entre REND, respuesta al N aplicado y la H%. Por otra parte, las variables del cultivo no guardaron relación con el N inorgánico inicial ni con las precipitaciones en el ciclo del cultivo. La H% fue la variable de sitio que mejor predijo la eficiencia del N aplicado. Con valores menores a 13,7% no se obtuvieron respuestas rentables. En el periodo más productivo el N aplicado en siembra-emergencia tuvo una EAGR igual o mayor que el aplicado en macollaje.

Palabras claves: Rendimiento, eficiencia agronómica, humedad del suelo

INTRODUCCIÓN

La siembra directa (SD) es un sistema productivo al cual se le atribuyen ventajas como la reducción de la erosión hídrica y eólica del suelo, y una mejora en la conservación de la humedad del suelo (Lampurlanes *et al*., 2002; Quiroga *et al*., 2005), todas ellas como consecuencia de la acumulación de residuos vegetales sobre la superficie del suelo. En regiones semiáridas, donde el potencial productivo de los cultivos es bajo, en ocasiones no se alcanza a lograr una cobertura adecuada que cumpla con dichos beneficios. Por otra parte, los distintos cultivos se diferencian en la cantidad y calidad de residuos de cosecha que aportan, afectando también su permanencia en el suelo. El trigo, y otros cereales invernales, son considerados fundamentales dentro de las secuencias de cultivos en los sistemas agrícolas del sudoeste bonaerense bajo SD por la cantidad de rastrojos que aportan, por la uniforme distribución de los mismos en el lote y por la alta relación carbono/nitrógeno de los mismos, que asegura una lenta descomposición (Santanatoglia *et al*., 1989).

Los ensayos de larga duración (ELD) contribuyen a generar conocimientos de los efectos de largo plazo de las prácticas agrícolas y de los desarrollos tecnológicos, aportando a la comprensión de los cambios generalmente lentos que ocurren en el sistema, por el uso continuo de determinadas combinaciones de prácticas de manejo (Krüger *et al*., 2017). Además, tienen la finalidad de construir bases de datos que puedan usarse a largo plazo para desarrollar o validar modelos matemáticos, predictivos de los efectos probables de prácticas de manejo y del cambio climático sobre las propiedades edáficas, la capacidad productiva de los suelos y el ambiente.

Por otra parte, en el partido de Bahía Blanca la superficie con uso agrícola es menor al 20% (Marinissen *et al*., 2011) por lo que hay mucha menos información sobre los cultivos de grano que en el resto del sudoeste bonaerense. En este marco, la instalación de un ELD con trigo continuo en dicho partido permite evaluar el comportamiento del cultivo, en un sitio semiárido, en términos de estabilidad, rendimiento y calidad, bajo distintos tratamientos de fertilización nitrogenada.

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto que tuvieron algunas variables de sitio sobre la respuesta del cultivo de trigo a la fertilización nitrogenada, en el marco de un ELD iniciado en 2009.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se lleva a cabo en un establecimiento perteneciente al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur (UNS) ubicado en Colonia Napostá, partido de Bahía Blanca (Buenos Aires). El edafoclima es ústico-térmico (Amiotti *et al*., 2010). La precipitación promedio anual en la zona es de 560 mm (media 1860-2006), concentrándose dos terceras partes en otoño y primavera.

Con el fin de iniciar un ELD, se seleccionó un lote que registraba al 2008 una historia de más de 20 años de uso ganadero. El sistema de producción era pastoril extensivo de las especies nativas, entre las que predominan poáceas perennes (*Nassella, Stipa, Amelichloa, Pappoforum*). En julio de dicho año se estableció un cultivo de trigo pan bajo sistema convencional de labranzas (en base a rastra de discos), que no fue fertilizado. A partir de la cosecha de dicho cultivo se inició la producción bajo SD.

En un sector, con pendiente de 2,7% y coordenadas 38°25´ LS, 62°16´ LO, se ubicaron cuatro bloques en sentido perpendicular a la inclinación del terreno. La profundidad efectiva es de 80 cm en la posición superior de la ladera (bloque I) y cercana a 100 cm en los restantes bloques. Se clasificó el suelo como un Paleustol Petrocálcico, franco grueso térmico (Soil Survey Staff, 2006). El análisis en muestras de la capa arable (0-12 cm) arrojó valores de 17 g de carbono orgánico kg^{-1} (Walkley & Black, 1934), 9 mg P extraíble kg^{-1} (Bray & Kurtz, 1945) y 7,6 de pH (relación suelo: agua 1:2,5). Una caracterización minuciosa del estado inicial del sitio de ensayo en cuanto a parámetros de fertilidad química y su variabilidad espacial en un diseño de bloques se informa en un trabajo anterior (Orden *et al*., 2011).

Sobre el rastrojo del trigo cosechado, en 2009 se instaló un ensayo de fertilización nitrogenada en trigo bajo SD, con un diseño de bloques completos al azar (unidad experimental de 60 m^2) y seis tratamientos. Estos consistieron en dosis y épocas de aplicación de nitrógeno (N): testigo, 40 y 80 kg N ha^{-1}, en siembra-emergencia o macollaje, y la dosis mayor repartida entre las dos épocas, en dos fracciones iguales. El N se aplicó como urea granulada (46-0-0) al voleo en forma manual. Las condiciones climáticas registradas en 2009 no permitieron un correcto desarrollo del cultivo por lo que se perdió el ensayo. El estudio se continuó en los años siguientes, repitiendo los tratamientos en las mismas unidades experimentales. Algunas características de las campañas se detallan en Tabla 1.

En todos los años se registraron las precipitaciones mensuales, en presiembra se determinó el % de humedad promedio en el suelo en 0-60 cm (H%) y se evaluaron las formas de N inorgánico (Mulvaney, 1996) del tratamiento testigo. Suponiendo densidad aparente constante de 1,3 se estimó la cantidad de N inorgánico en el perfil (Ni) en kg ha^{-1}. A la cosecha del cultivo se determinó el rendimiento y el contenido de proteína en grano por espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano. Para cada ensayo se calcularon las medias de rendimiento y proteína de todos los tratamientos (REND y PROT). Además, se estimó la eficiencia agronómica (EAGR) como la pendiente de la relación lineal entre el rendimiento y la dosis de N aplicada en emergencia (EAGRe) y en macollaje (EAGRm).

En el análisis de datos se utilizó la estadística descriptiva, análisis de componentes principales y regresiones lineales simples. Para determinar el nivel crítico de variables diagnóstico evaluadas, se utilizó el método gráfico de Cate & Nelson (1971). Para los análisis se utilizó el paquete INFOSTAT (Di Rienzo *et al*., 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis de las precipitaciones anuales se distinguieron claramente dos períodos climáticamente diferentes entre los años del estudio. El primero de ellos (2010-2013) con precipitaciones anuales inferiores al promedio histórico y el segundo (2014-2016) con un régimen de lluvias anuales superiores a los 800 mm. Las precipitaciones ocurridas durante todo el ciclo del cultivo y en el período crítico (floración y llenado de granos), en cada uno de los años, fueron muy variables (característico de una región semiárida).

En la Tabla 1 se comparan las medias y coeficientes de variación de los periodos para las variables de sitio y del cultivo evaluadas. Dentro de las variables de sitio Ni mostró una alta variabilidad en cada uno de los dos grupos comparados. En el segundo periodo se verificó una tendencia a menores valores de PROT y mayores valores de precipitaciones, REND, EAGRe, EAGRm y H%. Esta última variable aumentó en forma proporcional con los años de SD, más allá de su relación causal con las precipitaciones de barbecho (Figura 1). Este resultado permite especular que el incremento de la cobertura en superficie con los años de ensayo contribuyo a una mayor estabilidad en la mejora de la condición hídrica del suelo al momento de la siembra del cultivo. Por otra parte, se observó una alta variabilidad en el

REND del periodo 2010-2014 debido a que en 2011 el REND superó la media histórica. Esta discrepancia con el patrón general observado puede explicarse por las precipitaciones excepcionales de enero (148 mm) que posibilitaron un rápido desarrollo de malezas, cuyos residuos -después del control en febrero - generaron una abundante cobertura edáfica. Estas condiciones se podrían asimilarse a las de un sistema de SD estabilizado (Kiessling *et al*,.2013).

Tabla 1 Estadística descriptiva de las variables estudiadas en dos periodos climáticos diferentes

Variable	Unidad	abreviatura	2010 – 2013 (n=4)		2014-2016 (n=3)	
			Media	CV (%)	Media	CV(%)
Precipitaciones anuales	mm	anual	543	8	847	7
Precipitaciones en barbecho	mm	barbecho	99	49	257	41
Precipitaciones de junio a noviembre	mm	ciclo	210	25	332	41
N inorgánico inicial (0-60 cm) parcelas testigo	kg ha^{-1}	Ni	172	41	104	102
Humedad edáfica en presiembra parcelas testigo (0-60 cm). %	%	H%	10,9	19	17,1	11
Rendimiento medio del ensayo	kg ha^{-1}	REND	1778	55	3947	9
Proteína media del ensayo	%	PROT	16,4	4	11,7	4
Eficiencia agronómica del N en siembra- emergencia	kg grano kg N^{-1}	EAGRe	1,4	299	19,5	39
Eficiencia agronómica del N en macollaje	kg grano kg N^{-1}	EAGRm	-1,0	523	13,3	21

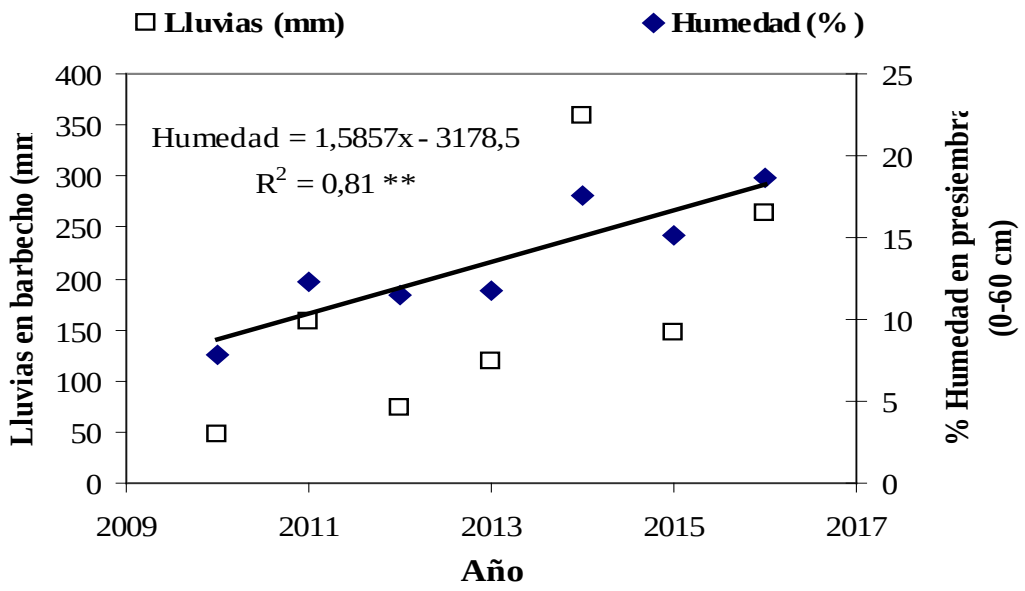


Figura 1: Evolución de la humedad edáfica en presiembra (0-60 cm) y las lluvias ocurridas en el barbecho.

El análisis de componentes principales ratificó la separación de los dos grupos de Tabla 1 en coincidencia con la CP1, que explicó 70,7% de la variación total contenida en los datos originales (Figura 2). Además, surge la estrecha correlación positiva entre REND, EAGRe, EAGRm, H% y precipitaciones anuales y la asociación negativa de éstas con PROT. Se aprecia, por otra parte, que las variables del cultivo no guardaron relación con Ni o con las precipitaciones durante el ciclo del cultivo.

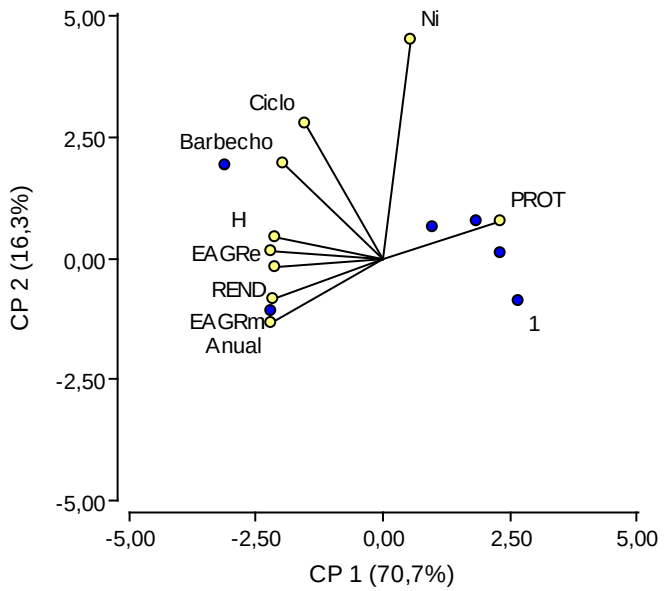


Figura 2: Componentes principales para las variables estudiadas. (n= 7)

En la Figura 3 se grafican REND y PROT en función de H% por el potencial predictivo de esta última variable. Se aprecia la disminución en el contenido de PROT del trigo con el aumento de REND, observado habitualmente cuando se incluyen en la comparación años o sitios diferentes.

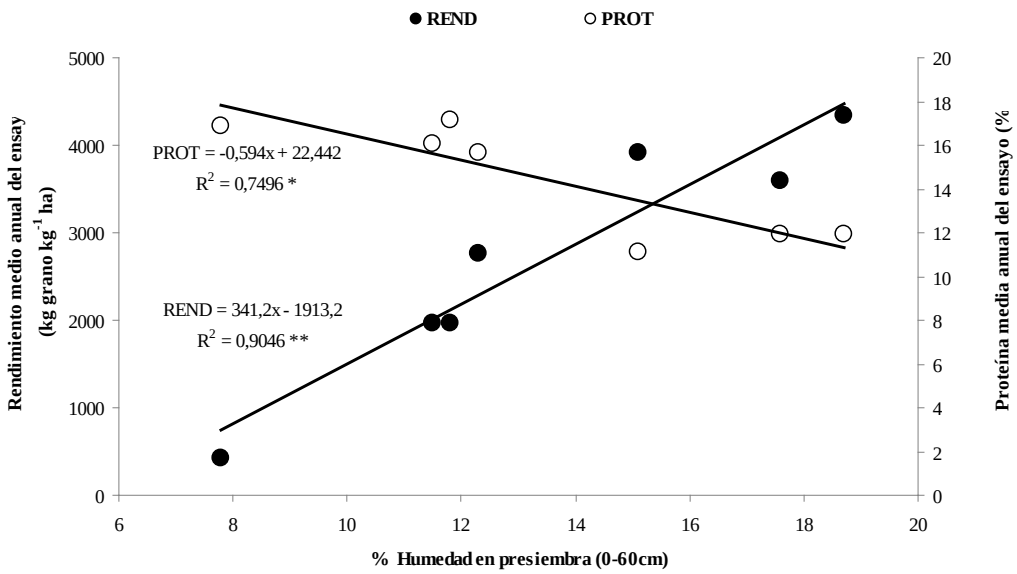


Figura 3: Relación entre la humedad del suelo en 0-60 cm, y el rendimiento y contenido de proteína del trigo.

Por otra parte, la eficiencia agronómica del nitrógeno aportado como fertilizante (EAGRe y EAGRm) fue afectada por la condición hídrica del suelo al momento de establecer el cultivo de trigo (Figura 4). Utilizando el método grafico propuesto por Cate y Nelson (1971) se pudieron diferenciar dos clases de H%, estableciendo como límite crítico

un valor de 13,7%. En el periodo 2010-2013, la fertilización nitrogenada resultó ser una práctica con un balance económico negativo, teniendo en cuenta que el costo histórico promedio de aplicación de 1 kg N es de 8 kg de grano de trigo (Alvarez, 2008). En el segundo periodo la fertilización fue rentable y el N aplicado en siembra-emergencia tuvo una EAGR igual o mayor que el aplicado en macollaje (Figura 4).

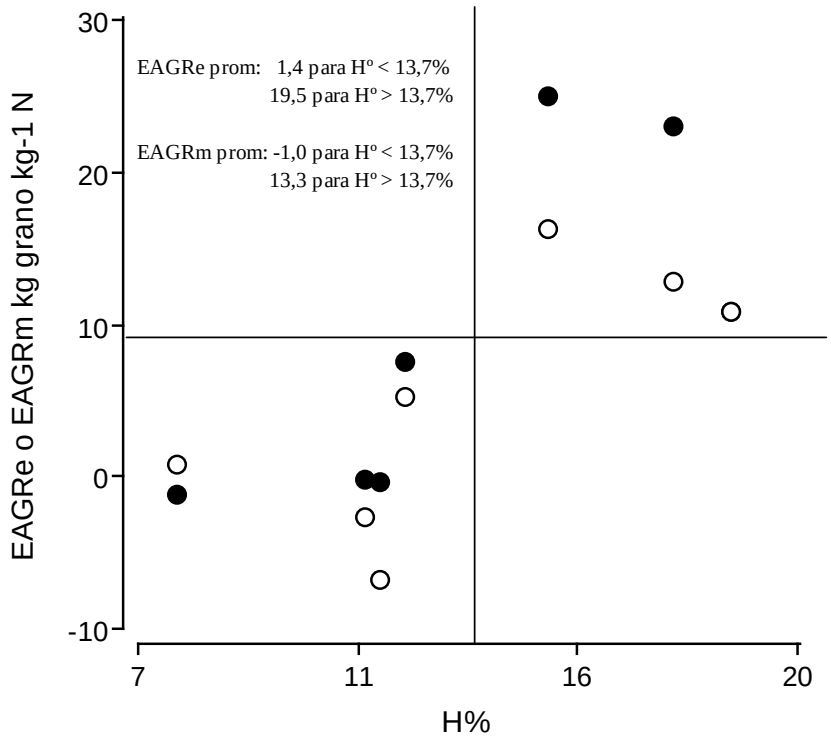


Figura 4: Relación entre la humedad del suelo en 0-60 cm y la eficiencia agronómica de la fertilización nitrogenada.

En trabajos previos realizados en el SO bonaerense la respuesta a la fertilización nitrogenada en cereales de invierno bajo labranza convencional se relacionó con los rendimientos y ambos con factores climáticos, mayormente representados por las precipitaciones (Ron y Loewy, 2000). La dependencia en la cantidad y distribución de las lluvias se relativiza en suelos más profundos que permiten un mayor almacenamiento de las lluvias previas a la floración (Galantini, 2004). Para un ensayo en el mismo sitio (con profundidad constante), como el de este trabajo, se manifiesta la importancia de las precipitaciones en barbecho y de la acumulación gradual de cobertura reflejadas en la H%.

Para las condiciones en que se llevaron adelante los ensayos de fertilización, no se encontró relación entre la EAGRe o EAGRm y Ni, ratificando la importancia de la disponibilidad hídrica en un ambiente semiárido por sobre la provisión del nutriente.

CONCLUSIONES

Luego de siete años de trabajo sobre un ELD de fertilización nitrogenada en un monocultivo de trigo se observó que la humedad edáfica al momento de la siembra fue la variable que mejor predijo el rendimiento medio del cultivo de trigo, el nivel de proteína del mismo, como así también la respuesta global a la aplicación de nitrógeno en términos de eficiencia agronómica del fertilizante.

AGRADECIMIENTOS

El ensayo surgió de un convenio de cooperación de Investigación y Desarrollo entre la Fundación de la Universidad Nacional del Sur y PROFERTIL S.A. En el período se contó con la colaboración de diez estudiantes que realizaron su trabajo final de graduación en el marco del experimento. Los autores agradecen a la Ing. Agr. Noemí Fritz de Cámara Arbitral de Cereales, Oleaginosos, Frutos y Productos de Bahía Blanca, por la determinación de proteína en grano.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R. 2008. Análisis de la conveniencia económica de utilizar umbrales fijos para recomendar la fertilización nitrogenada y fosforada de trigo. VII Congreso Nacional de trigo, Santa Rosa, La Pampa, 2-4 julio. Conferencia en CD
- Amiotti, NM; MC Blanco; E Schmidt & S Díaz. 2010. Variabilidad espacial de los suelos y su relación con el paisaje. In: Paoloni JD, editor. Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca. Bahía Blanca (Argentina): EdiUNS. p. 129-173.
- Bray, R & L Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Science, 59:39-45.
- Cate, RB & LA Nelson. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35: 658-659.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2008. InfoStat, versión 2013, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba (Argentina).
- Galantini, JA. 2004. Suelo y clima: limitantes de la productividad de la región semiárida bonaerense. Revista AgroUNS 1: 4-6.
- Kiessling, RJ; JM Martínez; M Toribio & MM Ron. 2013. Fertilización nitrogenada en trigo en el Partido de Bahía Blanca (Provincia de Buenos Aires). Simposio Fertilidad 2013. 22 y 23 de Mayo de 2013. Rosario (SF). Trabajo en CD 9 págs.
- Krüger, H; F Salvagiotti& G Studdert. 2017. Los experimentos de larga duración en la investigación agrícola. F Salvagiotti; H Krüger & G Studdert (ed). Ensayos de larga duración en Argentina: un aporte al logro de sistemas agrícolas sustentables. Pp 7-17. Ediciones INTA. Entre Ríos. Libro digital. PDF. 377p.
- Lampurlanes, J; P Angás & C Cantero-Martínez. 2002. Tillage effects on water storage during fallow, and on barley root growth and yield in two contrasting soils of the semi-arid Segarra region Spain. Soil Till. Res. 65:207-220.
- Marinissen, A; C Torres Carbonell & A Lauric. 2011. Documento de Diagnóstico y Discusión Sistemas Productivos. Área Influencia Agencia de Extensión INTA Bahía Blanca. EEA Bordenave. Documento interno Reunión Comisión Interinstitucional de Desarrollo Técnico-Científico Bahía Blanca UNS- CONICET- CIC – INTA. Agosto 2011.
- Mulvaney, RL. 1996. Nitrogen-Inorganic forms. In: DL Sparks et al. (eds) Methods of SoilAnalysis. Part 3. Chemical Methods. Pp. 1123-1184. Soil Science Society of America, Madison, Wiscosin, EEUU.
- Orden, L; ME Mandolesi; RJ Kiessling & MM Ron. 2011. Variabilidad espacial de fertilidad química del suelo en un diseño de bloques. Spanish J. SoilSci. 1 (1): 54-69.
- Quiroga, AR; DO Funaro; R Fernandez & EJ Noellemeyer. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. Ci. Suelo 23 (1): 79-86.
- Ron, MM & T Loewy. 2000. Modelo de fertilización nitrogenada y fosforada para trigo en el Sudoeste Bonaerense, Argentina. Ci. Suelo 18(1): 44-49.
- Santanatoglia, OJ; R Alvarez; PE Daniel; GM Brazzola & R García. 1989. Descomposición de rastrojo de trigo, respiración y biomasa microbiana bajo labranza convencional y siembra directa. Ann. Edafol. Agrobiol. 45: 787-798.
- Soil Survey Staff. 2006. Keys to Soil Taxonomy,10th ed. Washington, DC: USDA-Natural Resources. Conservation Service.
- Walkley, A & I Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

C3P47. DISPONIBILIDAD DE CATIONES BÁSICOS EN SUELOS AGRÍCOLAS Y PRÍSTINOS DE LA REGIÓN PAMPEANA

Larrea, Gastón. E.; Sainz Rozas, Hernán.; R.Eyherabide, Mercedes.; Puricelli, Marino. M. y Wyngaard, Nicolás

Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Ruta Nac. 226 km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina larrea.gaston@inta.gob.ar

RESUMEN

En la región pampeana Argentina (RP) la reposición de cationes básicos (Ca, Mg y K) es nula o escasa y no hay suficiente información acerca de su disponibilidad en los suelos. Los objetivos de este trabajo fueron determinar concentraciones de Ca, Mg y K intercambiables como así también de las relaciones entre los mismos en suelos prístinos o con prolongada historia agrícola de la RP. Se utilizaron muestras recolectadas durante el año 2010 y 2011 de 28 zonas y en cada lugar se tomó una muestra de suelo para cada condición (15 años o mas de agricultura y una de suelo prístino o pseudo prístino). Las variables que se analizaron fueron los contenidos de Ca, Mg, K intercambiables. A su vez se calcularon las relaciones Ca+Mg/K y Ca/Mg. Se utilizó un análisis multivariado para agrupar zonas de características edáficas similares quedando definidos 3 clústeres. Se observó que la agricultura redujo en promedio la concentración K, Ca y Mg para el Clúster 1, 2 y 3 un 68, 22 y 18% . La Ca+Mg/K fue la única que mostró diferencias entre condición para el clúster 1 y 2 pasando de 5 y 6 en condicón pristina a 5,6 y 8 bajo a gricultura respectivamente . Los resultados sugieren que la disolución de minerales primarios y secundarios y la redeposición desde horizontes subsuperficiales no fueron capaces de contrarrestar las pérdidas por exportación en grano, por erosión y por lavado.

Palabras claves: calcio, magnesio, potasio

INTRODUCCIÓN

En la Argentina, la producción de granos se ha incrementado sustancialmente durante los últimos años, pasando de 60.000.000 Mg en el año 2000 a 115.000.000 en el 2015, de la cual más del 80% se concentra en la region pampeana (RP) argentina (SIIA, 2016). Esta región abarca a las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Santa Fe y Córdoba (desde 31° a 39° S y desde 58° a 64° W), y posee clima templado húmedo a subhúmedo con suelos que pertenecen mayormente al orden Molisol (Panigatti, 2010). El aumento en la producción se debió, en parte, al incremento en los rendimientos por unidad de superficie y a la expansión del área agrícola, fundamentalmente debido al avance del cultivo de soja. A nivel país, la práctica de fertilización con N y P ha sido ampliamente adoptada, sin embargo, la reposición de otros nutrientes como cationes básicos (Ca, Mg y K) es nula o escasa (Sainz Rozas *et al.*, 2013). Por ejemplo, para la campaña 2015-2016, el consumo de fertilizantes potásicos fue de alrededor de 6000 Mg, mientras que la producción de granos de soja en la misma fue de 58,5 millones de Mg (Fertilizar Asociación Civil). Si por cada tonelada de grano de soja producida se exportan 67 kilogramos de K, solo se estaría reponiendo mediante fertilización el 15% del K exportado del sistema.

La mayor extracción de bases del sistema, generada por el aumento de los rendimientos de los cultivos y de las prolongadas e intensivas actividades ganaderas, podrían ocasionar una disminución en la disponibilidad de estos nutrientes. Esto no solo ocasionaría deficiencias nutricionales para las plantas sino que también afectaría a las condiciones físicas de los suelos dada la función estructural de estos cationes. Heredia *et al.* (2012) informaron que gran parte de los suelos del norte de la RP presentaban bajos valores de saturación cálcica. En línea con esto, algunos trabajos realizados en esta zona demuestran respuesta al agregado de Ca en los cultivos de alfalfa y soja (Fontanetto *et al*., 2012; Oderiz *et al*., 2012). No obstante, no se conoce cuál ha sido el impacto de la producción agrícola sobre el contenido de cationes intercambiables debido a que no se cuenta con los valores de referencia de suelos prístinos.

Por otra parte, la proporción de nutrientes exportados depende de la especie vegetal, del órgano de cosecha, su rendimiento y el elemento en consideración (Gelati & Vazquez, 2008). Por ejemplo, para el cultivo de maíz, trigo y soja de 10, 5 y 4 Mg ha^{-1}, la exportación de Ca en los granos será de 2,2, 2 y 12 kg ha^{-1}; la de K de 34, 17 y 67 kg ha^{-1}; y la de Mg de 9, 8 y 11 kg ha^{-1}, respectivamente (Barbazan *et al*., 2015; Vázquez & Pagani, 2015). Estos datos sugieren que las relaciones Ca+Mg/K intercambiable podrían aumentar mientras que la relación Ca/Mg incrementarían levemente o se mantendría constante si la soja es el cultivo predominante, respecto a suelos prístinos. A su vez, el cambio en dichas relaciones sería mayor para la zona norte de la RP debido a la mayor frecuencia del cultivo de soja en las secuencias.

Si bien se han informado los niveles de extracción de bases por los cultivos para diferentes zonas de la RP, no existe información actualizada del efecto de la agricultura sobre la disponibilidad de bases y su relación en el complejo de intercambio respecto de suelos inalterados. A efectos de aportar información que permita identificar las zonas o áreas con mayor potencial de respuesta al agregado de enmiendas básicas y/o potásicas, los objetivos de este trabajo fueron determinar concentraciones de Ca, Mg y K intercambiables como así también de las relaciones entre estas bases en suelos prístinos o con prolongada historia agrícola de la RP.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se utilizaron muestras recolectadas durante el año 2010 y 2011 de suelos de aptitud agrícola de 28 zonas seleccionadas al azar de la RP Argentina (desde los 31° a los 39° S y desde los 58° a los 64° W). En este muestreo se abarcó un área de aproximadamente 27.000.000 ha, exceptuando la denominada Pampa deprimida del salado. Los suelos de esta región pertenecen en su gran parte al gran grupo de los Argiudoles, Hapludoles, Haplustoles, Peludert y Torripsament. Se recogieron muestras georreferenciadas de aproximadamente tres sitios por partido y/o departamento (n=1200). En cada lugar, para la misma serie de suelo, se tomó una muestra representativa (0-20 cm) en situación de manejo agrícola (mínimo 15 años de agricultura) y una de suelo prístino o pseudo prístino (parque, pastura o clausura y alambrados no disturbados).

El suelo fue secado en estufa a 30°C y molido con martillo de madera para evitar contaminación. La muestra una vez cuarteada fue tamizada por 2 mm. Las variables que se analizaron en este trabajo fueron los contenidos de Ca, Mg, K intercambiables (Haby *et al*., 1990). A su vez se calcularon las relaciones Ca+Mg/K y Ca/Mg. Las bases intercambiables se determinaron utilizando acetato de amonio 1N a pH 7 como extractante y la relación suelo/solución utilizada fue de 2/20 (2 g de suelo/20 ml de acetato de amonio), con un tiempo de agitación de 30 minutos a 200 golpes por minuto (Warncke & Brown, 1998). Este filtrado fue utilizado para cuantificar el Ca y Mg por absorción atómica y el K por emisión de llama. Los resultados se expresaron en meq kg^{-1}. Las relaciones Ca+Mg/K y Ca/Mg se estimaron a partir de los resultados expresados en $cmol_c$ kg^{-1}.

Se utilizó un análisis multivariado (el método de Agrupación jerárquica de componentes principales (HCPC)) a través del programa R versión 3.3.1(R, 2016) para agrupar sitios de características edáficas similares del total de zonas muestreadas. Para esto se utilizaron 12 variables cuantitativas por sitio de la condición agrícola, algunas determinadas en este trabajo (K, Ca y Mg) y otras tomadas de Sainz Rozas *et al*, 2013 (Capacidad de intercambio catónico, saturación con bases, pH y concentración sodio intercambiable, Manganeso, Cobre, Hierro, Boro y materia orgánica).

Definidos los grupos de sitios similares se analizaron los datos con modelos lineales mixtos haciendo uso del paquete nlme (Pinheiro, 2016), y se utilizó el test de Tukey (p- valor=0,05) para las comparaciones de medias. Para realizar el análisis de la varianza se utilizó el programa versión 3.3.1 (R ,2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede observar en la figura 1, a partir de los resultados obtenidos de la agrupación jerárquica de componentes principales quedaron definidos 3 clústeres de sitios similares. Como muestra la Tabla 1 los tres primeros componentes principales (CP1, CP2 y CP3) explican el 38,76%, 28,4% y 16,4% de la variabilidad del sistema, respectivamente y en conjunto los ejes acumulan un 83,58% de la variabilidad total del sistema. Si la mayor parte de la varianza poblacional total (por ejemplo de 80 a 90 %), puede ser atribuida a los primeras “m” componentes (uno, dos o tres), entonces estas componentes pueden remplazar las “p variables originales”, sin mayor pérdida de información. (“Bramardi com.pers.”).

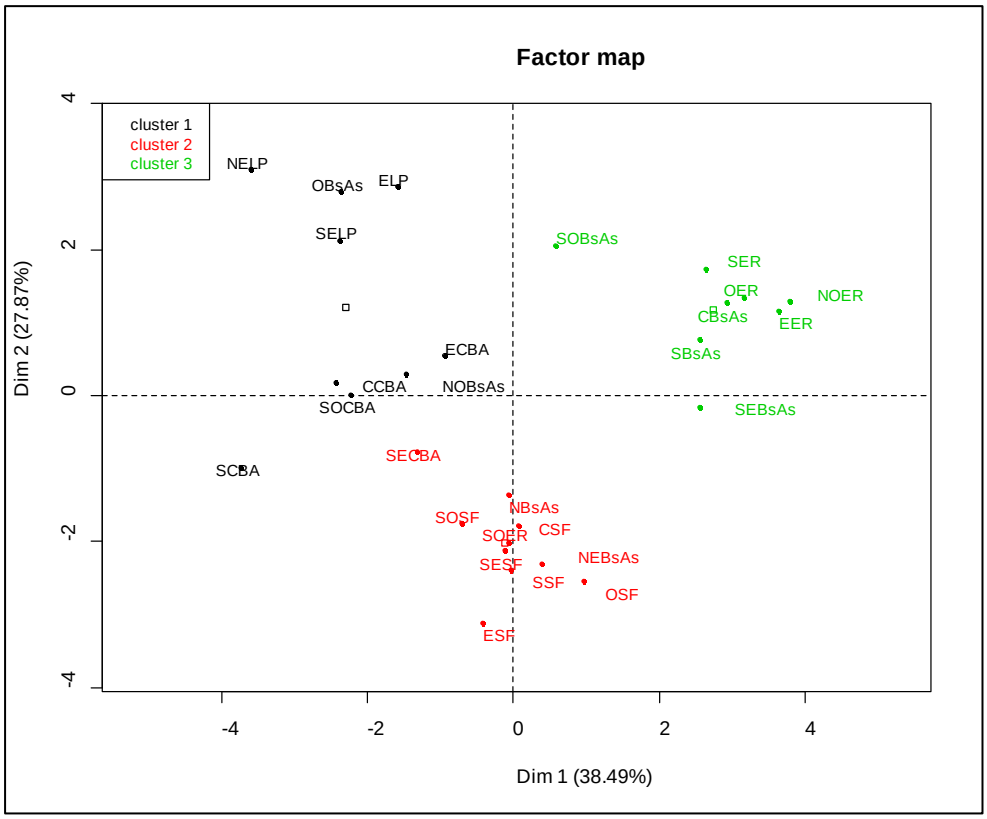


Figura 1: Análisis de conglomerados (CA). El clúster 1 está conformado por las zonas de Noreste (NELP), Sureste (SELP), Este (ELP) de la provincia de La Pampa; Oeste (OBsAs) y Noroeste (NOBsAs) de la provincia de Buenos Aires; Oeste (OCBA), Sur (SCBA), Suroeste (SOCBA) y Este (ECBA) de la provincia de Córdoba. El clúster 2 está formado por sitios de las zonas de Sureste (SECBA) de la provincia de Córdoba; Suroeste (SOSF), Centro (CSF), Sur (SSF), Este (ESF), Oeste (OSF), Sureste (SESF) de la provincia de Santa Fe; Norte (NBsAs) y Noreste (NEBsAs) de la provincia de Buenos Aires. El clúster 3 agrupa las zonas de Suroeste (SOBsAs), Centro (CBsAs), Sur (SBsAs) y Sureste (SEBsAs) de la provincia de Buenos Aires; Este (EER), Oeste (OER) y Sur (SER) de la provincia de Entre Ríos.

Tabla 1: Descomposición de la variabilidad por componente principal (CP) para las variables de suelo asociadas a las zonas.

Componentes	Autovalor	Proporción	Proporción acumulada
Cp 1	4,65	38,76	38,76
Cp 2	3,41	28,4	67,18
Cp 3	1,97	16,4	83,58

En función de los resultados del análisis multivariado se confeccionó un mapa de la RP con los sitios agrupados en clústeres. Figura 2.

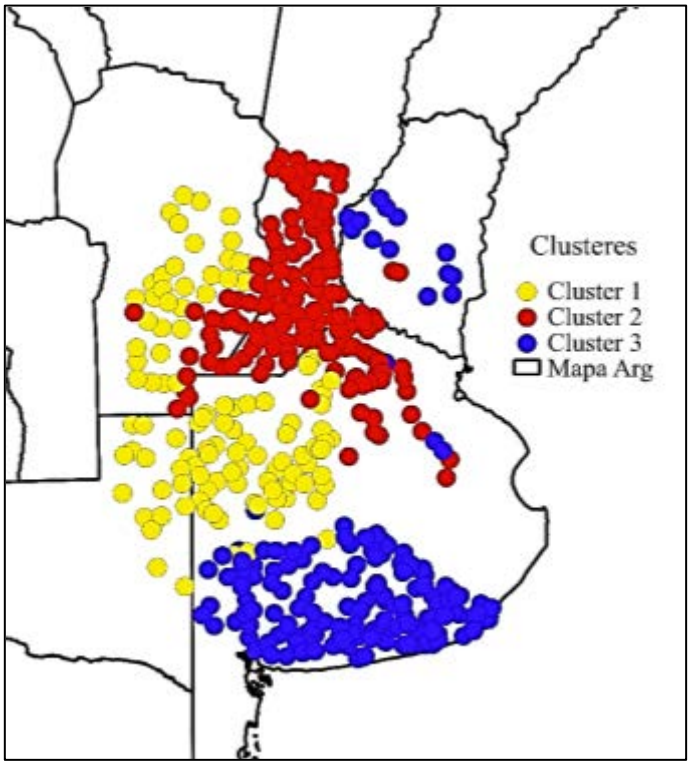


Figura 2: Mapa de la RP con sitios de características similares agrupados en clústeres.

Para las variables K, Ca, Mg, Ca+Mg/K, Ca/Mg hubo interacción entre clúster y situación de manejo, por lo que se compararon las medias de situación dentro de cada cluster mediante el test de Tukey (Tabla 2).

Para las variables K, Ca y Mg se determinaron diferencias entre condición (Tabla 2), dado que la agricultura redujo significativamente el contenido para el clúster 1, 2 y 3. Sin embargo, la concentracion de estos cationes para ambas condiciones está en el rango de alto a muy alto según los valores reportados internacionalmente (Havlin *et al*., 2005; Barbazán *et al*., 2011; Barbazán *et al*., 2015) y superan al umbral de respuesta a la fertilización para alfalfa, uno de los cultivos con más alto requerimiento (Hoeft; Peck, 2001). La mayor reducción de estos nutrientes en el clúster 2 respecto a la condición prístina, podría ser consecuencia de la mayor exportación de bases debido a una mayor frecuencia del cultivo de soja en las rotaciones (Cruzate; Casas, 2003), siendo el cultivo que más extrae respecto a los típicos de la zona. Por otra parte, la caída del nivel de K en los primeros 20 cm de suelo no solo depende del balance del nutriente, sino también de la interacción con otras propiedades del suelo, como la dinámica de intercambio entre las fracciones de K (Wang *et al.*, 2004; Öborn *et al.*, 2005; Johnston, 2007; Fernández *et al.*, 2008) y/o de la interacción con las capas más profundas del perfil, la que dependiendo de su riqueza podría o no conducir a la de estratificación superficial de K (Bordoli & Mallarino, 1998; Jobbagy & Jackson, 2001; Mallarino & Borges, 2006). En la Argentina, la producción de granos se ha incrementado sustancialmente durante los últimos años, pasando de 60.000.000 Mg en el año 2000 a 115.000.000 en el 2015. Por lo tanto, es de esperar que una alta exportación de nutrientes y una baja reposición vía fertilizantes nos lleven a disminuciones en los valores disponibles de estos cationes.

Para la relación Ca+Mg/K se determinaron diferencias entre condición para el clúster 1 y 2 (Tabla 2). Esta mayor relación mostrada para la condición agrícola en estos clusteres sugiere una mayor extracción de K respecto a las otras dos bases. Esto podría deberse a que dicha región presenta una mayor historia agrícola con alta frecuencia de soja en las rotaciones (y en muchos casos con monocultivos). Para rendimientos promedios de soja, maíz, trigo y girasol, la soja exportaría de 0,58 a 4,45 veces más de K que el resto de los cultivos.

Para la relación Ca/Mg no se determinaron diferencias significativas entre condición de manejo para ningún clúster (Tabla 2). El escaso efecto de la agricultura sobre la relación Ca/Mg no fue lo esperado, debido a que todos los cultivos exportan más Mg que Ca y a que el primero podría estar expuesto a mayores pérdidas por lavado al ser retenido con menor fuerza que el Ca en el complejo de intercambio (Havlin *et al.*, 2005). Esto podría ser explicado por una mayor velocidad reposición de Mg por parte de fracciones no intercambiables.

En síntesis, los resultados sugieren que la disolución de minerales primarios y secundarios y la redeposición desde horizontes subsuperficiales a horizontes superficiales no fueron capaces de contrarrestar las pérdidas de los nutrientes debido a la exportación en granos, erosión y lavado, lo que ha resultado en caídas de la fracción intercambiable de las tres bases en estudio. Por otra parte, las relaciones entre cationes pueden utilizarse para determinar deficiencias del nutriente que se encuentra en el denominador, pero el problema principal que presentan es que su empleo puede derivar en conclusiones erróneas respecto a la suficiencia de ambos nutrientes. Esto ocurre ya que una misma relación puede significar deficiencia o suficiencia de ambos nutrients (Vaquez & Pagani, 2015). Por lo tanto esto sugeriría que es más importante la disponibilidad absoluta del nutriente que las relaciones entre los mismos y estas relaciones podrían ser evaluaciones complementarias a las de los valores absolutos para un correcto diagnóstico.

Tabla 2: Comparación de medias entre situación de manejo Agrícola y Pristino. Letras distintas indican diferencia significativa (p valor<0,05).

	Pristino					Agrícola				
Cluster	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca+Mg/K	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca+Mg/K
	------mg kg $^{-1}$--------			------mg kg $^{-1}$-------		--------mg kg $^{-1}$--------			-------mg kg $^{-1}$------	
Cluster 1	702 b	1520 b	268 b	3 a	5 a	624 a	1198 a	224 a	3 a	5,6 b
Cluster 2	702 b	1880 b	288 b	4 a	6 a	238 a	1420 a	215 a	4 a	8 b
Cluster 3	764 b	2920 b	342 b	5,1 a	10 a	620 a	2320 a	292 a	5,6 a	10 a

CONCLUSIONES

La actividad agrícola redujo la concetracion de bases intercambiables, del suelo respecto a la condición prístina en tres los cuatro clústeres.

La actividad agrícola aumentó la relación Ca+Mg/K solo en en Cluster 1 y 2, mientras que no produjo variaciones en la relación Ca/Mg, respecto a la condición prístina.

Los cambios producidos por la agricultura para el Cluster 2 fueron superiores a los del resto y el K, Ca y Mg fueron 66, 24 y 25 % menores respecto a la situación prístina. También en este se vio el mayor incremento en la relación Ca+Mg/K aumentando un 33 %.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbazán, M; C Bautes; L Beux; M Bordoli; JD Cano; O Ernst; A García; F García & A Quincke. 2011. Fertilización potásica en cultivos de secano sin laboreo en Uruguay: rendimiento según análisis de suelos. Agroc. Uruguay 15(2): 93-99.
- Barbazan, MM; ME Conti & FO García. 2015. Potasio. En: Echeverría, HE & FO García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Vol. 2da edn. INTA. Buenos Aires, Argentina. pp 265-285.
- Bordoli, JM & AP Mallarino. 1998.Deep and shallow banding phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. Agron. J. 90:27-33.
- Cruzate, G & R Casas. 2003. Balance de nutrientes. Revista fertilizar INTA año 8. Número Especial «Sostenibilidad». pp 7-13.
- Fernandez, FG; SM Brouder; CA Beyrouty; JJ Volenec; R Hoyum. 2008. Assement of Plant-Available Potassium for No-Till, Rainfed Soybean. Soil Sci. Soc. Am. J. 72:1085–1095.

- Fertilizar Asociación Civil. 2016. Consumo de fertilizantes en Argentina. http:// www.fertilizar.org.ar/Estadísticas. Consulta: septiembre de 2016
- Fontanetto, H; S Gambaudo; J Albrecht & M Sillón. 2012. Fertilización con calcio en soja en la región central de Santa Fe. Actas 21^0 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y 23^0 Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. En CD.
- Gelati, P & M Vázquez. 2008. Extracción agrícola de bases en el norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina: costo de su remediación e implicancias económicas. Rev.Iberoam. Econ. Ecológica. 7: 117-129.
- Haby, VA; MP Russelle & EO Skogley. 1990. Testing soils for potassium, calcium, and magnesium. En: Westerman, RL (ed.) Soil testing and plant analysis.Vol. 3rd ed. SSSA, Madison, Wisconsin. pp. 181–227
- Havlin, JL; JD Beaton; SL Tisdale & WL Nelson.2005. Sulfur, Calcium, and Magnesium. En: J.L, Havlin; J.D., Beaton; S.L., Tisdal, S.L & W.L Nelson (eds). Soil fertility and fertilizers.Vol.7ma edn. Pearson Prentice Hall. New Jersey. pp. 219-243.
- Heredia, OS; G Cruate & R Rotondaro. 2012. Estado actual de los suelos pampeanos. En: XIX y XXIII del Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y del Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (CD Rom).
- Jobbagy, EG & RB Jackson. 2001. The distribution of soil nutrient with depth: Global patterns and imprint of plants. Biogeochemistry. 53: 51-77.
- Johnston, AE. 2009. Potassium, magnesium and soil fertility: long term experimental evidence. Naw. I Nawożenie (Fertilisers and Fertilization). 34: 89-124.
- Mallarino, AP & R Borges. 2006. Phosphorus and Potassium Distribution in Soil Following Long-Term Deep-Band Fertilization in Different Tillage Systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 70:702–707.
- Öborn, I; Y Andrist-Rangel; M Askegaard; CA Grant; CA Watson & AC Edwards. 2005. Critical aspects of potassium management in agricultural systems.Soil Use Manage 21: 102-112.
- Oderiz, A; V Merani; G Millán; E Baridón; A Pellegrini & M Vázquez. 2012. Encalado de alfalfa en un Hapludol éntico de Trenque Lauquen (Buenos Aires). En: XIX y XXIII del Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y del Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (CD Rom).Panigatti, JL. 2010. Argentina 200 años, 200 suelos. Ed. INTA. Buenos Aires. pp. 345. Ilustraciones y cuadros. (CD Rom)
- Pinheiro J; D Bates; S DebRoy; D Sarkar & R Core Team. 2016. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-117.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [en línea] <http://www.R-project.org>.
- Sainz Rozas, HR; M Eyherabide; HE Echeverría; P Barbieri; H Angelini; GE Larrea; G Ferraris & M Barraco. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? Simposio Fertilidad 2013, organizado por IPNI y Fertilizar Asoc. Civil. (CD Rom)
- Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2016. http: //www.old.siia.gob.ar. Consulta: septiembre de 2016.
- Vázquez, M; ATerminiello; A Casciani; G Millán; P Gelati; J García Díaz; J Kostiria & M García. 2010. Evaluación del efecto de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (Medicago sativa) y propiedades edáficas en ámbitos templados argentinos. Cien. suelo. 28: 141-154.
- Vazquez, MS & A Pagani. 2015. Calcio y Magnesio. Manejo de fertilización y enmiendas. En: Echeverría, HE & FO García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultvios. Vol. 2da edn. INTA. Buenos Aires, Argentina. pp 317-355.
- Wang, JJ; DL Harrell & PF Bell. 2004.Potassium Buffering Characteristics of Three Soils Low in Exchangeable Potassium. SoilSci. Soc. Am. J. 68: 654–661.
- Warncke, D & JR Brown. 1998. Potassium and other basic cations. En: Brown, J (ed). Recommended chemical soil test procedures for the north central region. Missouri Agricultural Experiment Station SB 1001, Columbia, MO. pp 7.1–7.3

C3P48. VARIABILIDAD ESPACIAL DE CATIONES BÁSICOS EN SUELOS AGRÍCOLAS Y PRÍSTINOS DE LA REGIÓN PAMPEANA

Larrea, Gastón. E.; Sainz Rozas, Hernán. R; Puricelli, Marino. M.; Eyherabide, Mercedes y Wyngaard, Nicolás .

Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Ruta Nac. 226 km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina larrea.gaston@inta.gob.ar

RESUMEN

Los procesos y atributos de suelo que afectan a los cultivos varían en el espacio y tiempo. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la variabilidad espacial del Ca, Mg, K y de las relaciones Ca+Mg/K y Ca/Mg en suelos prístinos y con prolongada historia agrícola de la región pampeana argentina (RP) . Para esto se utilizaron muestras (n=1200) recolectadas durante el año 2010 y 2011 de suelos de aptitud agrícola. En cada lugar, para la misma serie de suelo, se tomó una muestra en la situación de manejo antes mencionada y una de suelo prístino o pseudo prístino. Las variables que se analizaron fueron los contenidos de Ca, Mg, K intercambiables y se calcularon las relaciones Ca+Mg/K y Ca/Mg. Dada la falta de Normalidad que presentaban los datos se utilizó la prueba de Kruskal y Wallis para probar si diferentes muestras provienen o no de la misma población. Para analizar la distribución espacial se elaboraron variogramas según la dirección de máxima variabilidad. Los análisis geoestadisticos mostraron que, en suelos prístinos las variables presentan una clara continuidad espacial con rangos de entre 150 a 350 km y en ambientes agrícolas los rangos variaron de 93 a 268 km, correspodiendo al K el menor valor. Esto indicaría que el efecto antrópico aumentó la variabilidad espacial de este nutriente. En sintesis, la actividad agrícola aumentó la variabilidad espacial de los cationes intercambiables y el K fue el que mostró los mayores cambios. Esto mismo se vió reflejado en la relación Ca+Mg/K donde el rango se acortó por el efecto de la agricultura. Los cambios encontrados sugieren que para el análisis regional de Ca, Mg, K y de sus relaciones una adecuada red de muestreo debería considerar no superar los 93 km entre las estaciones de muestreo.

Palabras claves: calcio, magnesio, potasio

INTRODUCCIÓN

Los procesos y atributos de suelo que afectan el desempeño de los cultivos varían en el espacio y tiempo (Mulla & Schepers, 1997). A escala regional, el material original, el clima, los patrones de uso de la tierra, el tipo de vegetación y las características del relieve son los determinantes de la variación espacial y temporal (Mallarino & Vittry, 2004). A nivel de lote, la topografía es uno de los principales factores que origina variabilidad espacial por su efecto en la distribución de agua y sedimentos (Ceddia *et al*., 2009). Sin embargo, las prácticas de manejo como la orientación de los surcos, método de aplicación de nutrientes, las labores mecánicas y compactación pueden dominar las causas de variabilidad a escalas pequeñas (Mallarino & Vittry, 2004), alterando atributos químicos, físicos, y biológicos del horizonte superficial (Corá *et al.*, 2004).

En la Argentina, la producción de granos se ha incrementado durante los últimos años al igual que la práctica de la fertilización con N y P. Sin embargo, la reposición de bases (Ca, Mg y K) ha sido nula o escasa (Sainz Rozas *et al.*, 2013). La extracción de estos nutrientes depende del cultivo. Para maíz, trigo y soja con un rendimiento de 10, 5 y 4 Mg ha^{-1}, la exportación de Ca en los granos será de 2,2, 2 y 12 kg ha^{-1}; la de K de 34, 17 y 67 kg ha^{-1}; y la de Mg de 9, 8 y 11 kg ha^{-1}, respectivamente (Barbazan *et al.*, 2015; Vázquez & Pagani, 2015). Estos datos sugieren que la variabilidad espacial para Ca y K dependerá en mayor medida de los cultivos predominantes en cada zona, mientras que la de Mg sería menos afectada por la secuencia de cultivos. A su vez, los contenidos de bases intercambiables y la relación entre las mismas pueden presentar elevada variabilidad sitio específica, generada por el tipo de suelo y por la actividad antrópica. La geoestadística provee un medio para caracterizar y cuantificar esta variabilidad espacial (Gallardo & Maestre, 2008; White *et al.*, 1997; Oliver & Webster, 2014). Conocer la forma en que varían estas variables en el espacio (patrón espacial), podría ser clave para diseñar esquemas de muestreo de suelo que permitan monitorear la evolución de estos nutrientes a escala regional. No obstante, hasta el momento no se conoce la naturaleza y el grado de variabilidad espacial de las bases intercambiables y de la relación entre las mismas en suelos de la región pampeana argentina (RP).

Si bien se han informado los niveles de extracción de cationes por los cultivos para diferentes zonas de la RP, no existe información actualizada del efecto de la agricultura sobre la distribución espacial de las distintas bases y del cambio en esta respecto a suelos inalterados. A efectos de aportar información que permita conocer el comportamiento

espacial de los cationes intercambiables , el objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad espacial del Ca, Mg y K y de las relaciones Ca+Mg/K y Ca/Mg en suelos prístinos y con prolongada historia agrícola de la RP .

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se utilizaron muestras recolectadas durante el año 2010 y 2011 de sitios de aptitud agrícola seleccionadas al azar de la RP (desde los 31° a los 39° S y desde los 58° a los 64° W). En este muestreo se abarcó un área de aproximadamente 27.000.000 ha, exceptuando la denominada Pampa deprimida del salado. Los suelos de esta región pertenecen en su gran parte al gran grupo de los Argiudoles, Hapludoles, Haplustoles, Peludert y Torripsament. Se recogieron muestras georreferenciadas de aproximadamente tres sitios por partido y/o departamento (n=1200). En cada lugar, para la misma serie de suelo, se tomó una muestra representativa (0-20 cm) en situación de manejo agrícola (mínimo 15 años de agricultura) y una de suelo prístino o pseudo prístino (parque, pastura o clausura y alambrados no disturbados).

El suelo fue secado en estufa a 30°C y molido con martillo de madera para evitar contaminación. La muestra una vez cuarteada fue tamizada por 2 mm. Las variables que se analizaron en este trabajo fueron los contenidos de Ca, Mg, K intercambiables (Haby *et al*., 1990). A su vez se calcularon las relaciones Ca+Mg/K y Ca/Mg. Las bases intercambiables se determinaron utilizando acetato de amonio 1N a pH 7 como extractante y la relación suelo/solución utilizada fue de 2/20 (2 g de suelo/20 ml de acetato de amonio), con un tiempo de agitación de 30 minutos a 200 golpes por minuto (Warncke & Brown, 1998). Este filtrado fue utilizado para cuantificar el Ca y Mg por absorción atómica y el K por emisión de llama. Los resultados se expresaron en cmol kg^{-1}. Las relaciones Ca+Mg/K y Ca/Mg se estimaron a partir de los resultados expresados en $cmol_c$ kg^{-1}.

Para cada condición (suelos con prolongada historia agrícola y prístinos o pseudo-prístinos) se calcularon estadísticos descriptivos como la media, mediana, desvío estándar, valores mínimos y máximos, percentíles, asimetría y curtosis. Se utilizó la prueba no paramétrica de análisis de medianas de Kruskal & Wallis (1952) para probar si diferentes muestras provienen o no de la misma población, utilizando un nivel de significancia del 5%. Para esto se utilizó el programa (R, 2016).

La distribución espacial se analizó mediante técnicas geoestadísiticas (White *et al.*, 1997). Para su aplicación se analizaron los datos originales a fin de comprobar la normalidad en la distribución de frecuencias y la presencia de tendencia espacial, para su eliminación (Olea, 2009). Posteriormente, se elaboraron los variogramas según la dirección de máxima variabilidad. Para la realización de esto se utilizó el programa SADA versión 5.0.78 (2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los estadísticos descriptivos de los atributos edáficos estudiados. Para ambas condiciones de uso del suelo las variables mostraron desviación de la normalidad (P<0,10) y exhibieron valores positivos de asimetría y curtosis (Tabla 1). Esto indica una mayor frecuencia de valores elevados y mayor concentración de los mismos alrededor de la mediana. A su vez, esta última fue menor que el valor promedio, lo que es característico también de poblaciones sin distribución normal.

Los coeficientes de variación de las variables estudiadas fueron altos (Tabla 1) para ambas condiciones de manejo, lo que sugeriría una alta variabilidad regional. Esto podría ser debido en parte a la heterogeneidad en el material madre ocasionado por aportes de distintas procedencia (Morras, 1997; Zarate, 2003), a diferencias en procesos pedogenéticos, y a diferencias en el manejo de los suelos y a los cultivos predominantes en cada zona. A modo de ejemplo el monocultivo de soja es característico de la zona norte de la RP y también existe mayor historia de aplicación de Ca en dichos sitios por la fertilización de SO_4Ca, dado que fue donde primero se observaron deficiencias de S (Salvagiotti *et al.*, 2004; Echeverria *et al.*, 2015).

A partir del análisis geoestadístico de la distribución espacial de los datos se calibraron modelos de variogramas esféricos para cada una de las variables analizadas (Tabla 2). En suelos prístinos, los variogramas señalan que los datos presentan una clara continuidad espacial, con rangos de entre 150 a 350 km, según el nutriente (Figura 1). En ambientes agrícolas, la distribución espacial de los valores mostró menor continuidad, ya que los rangos variaron de 93 a 268 km, correspodiendo el menor valor al K (Figura 1). Esto indicaría que el efecto antrópico aumentó la variabilidad espacial del

K, disminuyendo la distancia a la cual dos valores muestrales están relacionados entre si. Para un nivel de rendimiento promedio de soja de 4 Mg ha^{-1}, se extrae 5,58 y 6,09 veces mas de K que de Ca y Mg (Barbazán *et al*., 2015; Vázquez y Pagani, 2015). Por lo tanto, es factible que cambios zonales de las prácticas de manejo de suelo y cultivo (labranzas, rotaciones, fertilización, riego, etc) afecten en mayor medida a nutrientes de elevada extracción, aumentando así su variabilidad espacial. Excepto en el caso del K en suelos prístinos, el efecto pepita no se destacó en los variogramas experimentales, lo que sugiere una baja incertidumbre en el muestreo y en la determinación analítica (Figura 1).

De la misma forma, las relaciones Ca+Mg/K y Ca/Mg muestran en general valores altos de continuidad espacial. No obstante, en suelos bajo agricultura el rango se acortó para la relación Ca+Mg/K, mientras que se mantuvo constante para la relación Ca/Mg, esto se explicaría por el aumento de la variabilidad espacial del K en suelos bajo agricultura (Figura 1).

En sintesis , los resultados encontrados muestran que el patron espacial de los tres cationes y de las relaciones se vió afectado por la situación de manejo. A su vez, se determinó que la distribución espacial del K fue la mas afectada, lo cual puede ser atribuido en parte a su alta extracción en granos.

Tabla 2: Estadísticos descriptivos de, calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) intercambiables y de sus relaciones en muestras superficiales (0-20 cm de profundidad) de suelos bajo condición prístina o pseudo-prístina y con prolongada historia agrícola de la RP (región pampeana argentina). Letras distintas indican diferencia significativa (p valor<0,05).

	Condición de uso de suelo									
	Pristino					Agrícola				
Estadísticos	mg kg^{-1}			cmol kg^{-1}		mg kg^{-1}			cmol kg^{-1}	
	K	Ca	Mg	Ca+Mg/K	Ca/Mg	K	Ca	Mg	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Percentil (0,25)	600	1466	238	5,1	3	460	1214	194	5,3	3
Percentil (0,50)	709a	1952a	288a	6,5a	3,8a	569b	1556b	230b	7,1a	3,8a
Percentil (0,75)	842	2700	353	8,7	5,3	670	2000	287	9,5	5,1
Percentil (1,00)	1630	6160	776	52	17,7	1368	5600	607	59	17
Promedio	733	2194	303	7,6	4,5	569	1718	250	7,9	4,3
Desvío estándar	199	1096	100	4,7	2,4	163	784	84	4,6	2
Valor mínimo	144	256	77	2,1	0,9	152	400	60	2,2	0,9
Valor máximo	1630	6160	776	52	17,7	1368	5600	607	59	17
Asimetría	0,8	1,2	1,1	4,2	1,9	0,46	1,4	1,4	4,6	2,2
Curtosis	2,14	1,39	2,4	28,7	5,14	1,04	2,7	3,3	38,55	5,9
CV%	27	50	33,2	61,2	52,8	29	45,6	33,7	58,5	46,5

Tabla 2: Parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas estandarizados de la Figura 1. a0= alcance, c0= contribución a la meseta, n= efecto pepita.

	Condición de uso de suelo							
	Pristino				Agrícola			
Elemento	Modelo	a0	c0	n	Modelo	a0	c0	n
Ca	Esférico	206856,594	3,67E-001	0,0477	Esférico	223591,0	0,0269	0,0032
K	Esférico	150579,422	1,50E-002	0,0163	Esférico	92782,7	0,0076	0,0038
Mg	Esférico	347374,864	4,95E-002	0,0248	Esférico	267700,8	0,0160	0,0048
(Ca+Mg)/K	Esférico	225104,375	9,98E-002	0,0524	Esférico	173616,5	0,1198	0,0171
Ca/Mg	Esférico	179475,109	9,72E-002	0,0529	Esférico	174844,0	0,0974	0,0355

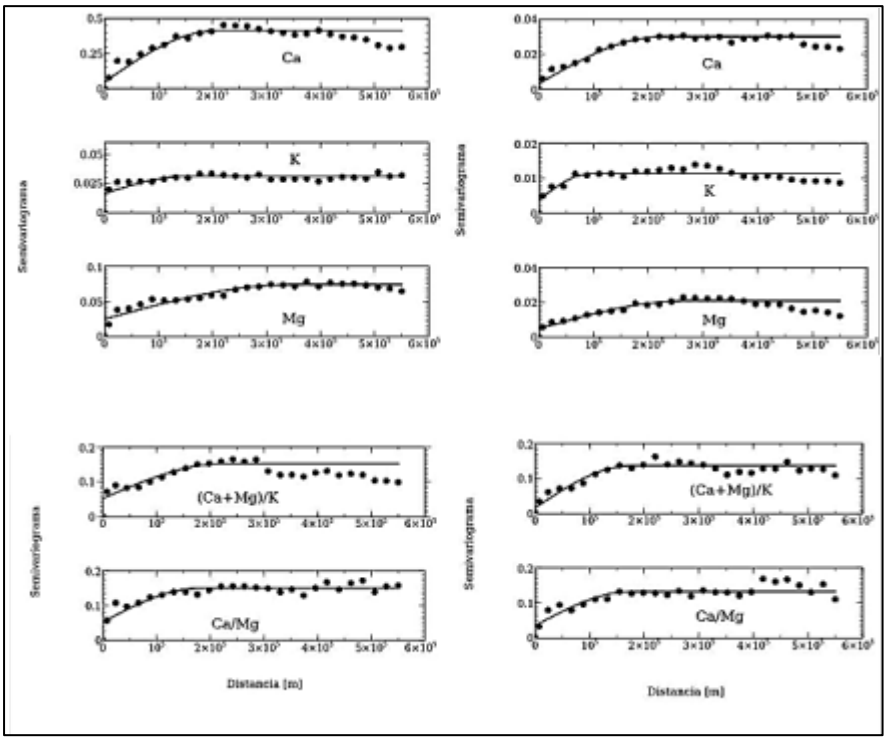


Figura 2. Semivariogramas experimentales (circulos) y modelos teóricos ajustados (linea continua) para cationes intercambiables (Ca, Mg y K) y sus relaciones (Ca+Mg/ K y Ca/Mg) de suelos bajo condición prístina o pseudo-prístina y con prolongada historia agrícola de la RP (región pampeana argentina).

CONCLUSIONES

La actividad agrícola aumentó la variabilidad espacial de todos los cationes intercambiables. El K es el que mostró los menores valores de continuidad espacial seguido por el Ca y Mg . Esto mismo se vió reflejado en la relación Ca+Mg/K donde el rango se acortó por el efecto de la agricultura, mientras que la relación Ca/Mg se mantuvo constante. Esto se explicaría por el aumento de la variabilidad espacial del K en suelos bajo agricultura. También los resultados encontrados sugieren que para el análisis regional de Ca, Mg, K y de sus relaciones, una adecuada red de muestreo debería considerar que la distancia máxima entre las estaciones debería ser de 93 km.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbazán, M; C Bautes; L Beux; M Bordoli; J Cano; O Ernst; F García; F García & A Quincke. 2011. Fertilización potásica en cultivos de secano sin laboreo en Uruguay: rendimiento según análisis de suelos. Agroc. Uruguay 15(2): 93-99.
- Barbazan, MM; ME Conti & FO García. 2015. Potasio. En: Echeverría, HE & FO García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Vol. 2da edn. INTA. Buenos Aires, Argentina. pp 265-285.
- Corá, JE; AV Araújo; GT Pereira & JMG Beraldo. 2004. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoçao do sistema de agricultura de precisao na cultura de cana-de-açúcar. Rev. Bras. Ciênc. Solo 28(6): 1013-1021.
- Echeverría, H E, y N I Reussi Calvo. 2015. Azufre. En: Echeverría, HE & FO García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Vol. 2da edn. INTA. Buenos Aires, Argentina. pp 349-350.
- Gallardo, A & FT Maestre. 2008. Métodos geoestadísticos para el análisis de datos ecológicos espacialmente explícitos. En: Maestre, FT, Escudero, A & A Bonet (eds.). Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones. Dykinson, Madrid. pp.215-272.
- Haby, VA; MP Russelle & EO Skogley. 1990. Testing soils for potassium, calcium, and magnesium. En: Westerman, RL (ed.) Soil testing and plant analysis.Vol. 3rd ed. SSSA, Madison, Wisconsin. pp. 181–227
- Kruskal, WH & WA Wallis. 1953. Errata: Use of ranks in one-criterion variance analysis. Journal of the American statistical Association. 48 (264): 907-911.
- Mallarino, AP & DJ Wittry. 2004. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. Precis. Agric. 5(2): 131-144.

- Oliver, MA & R Webster. 2014. A tutorial guide to geostatistics: computing ando modelling variograms and kriging. utorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. Catena 113: 56-69.
- Olea, RA. 2009. A practical primer on geostatistics. United States Geological Service, Open-File Report 2009-1103. 346 pp.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [en línea] <http://www.R-project.org>.
- Sainz Rozas, HR; M Eyherabide; HE Echeverría; P Barbieri; H Angelini; GE Larrea; G Ferraris & M Barraco. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? Simposio Fertilidad 2013, organizado por IPNI y Fertilizar Asoc. Civil. (CD Rom).
- Salvagiotti, F; G Ferraris; A Quiroga; M Barraco; H Vivas; P Prystupa; HE Echeverria, HE & FHG Boem. 2012. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N: S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. Field crops research. 135: 107-115.
- University of Tennessee Research Corporation. 2008. Spatial Analysis and Decision Assistance (SADA) Version 5.0. Institute for Environmental Modeling, University of Tennessee, USA. [Programa disponible al público].
- Vázquez, M; Terminiello, A; Casciani, A; Millán, G; Gelati, P; García Díaz, J; J Kostiria & M García. 2010. Evaluación del efecto de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (Medicago sativa) y propiedades edáficas en ámbitos templados argentinos. Cien. suelo. 28: 141-154.
- Vazquez, MS & A Pagani. 2015. Calcio y Magnesio. Manejo de fertilización y enmiendas. En: Echeverría, HE & FO García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Vol. 2da edn. INTA. Buenos Aires, Argentina. pp 317-355.
- Warncke, D & JR Brown. 1998. Potassium and other basic cations. En: Brown, J (ed). Recommended chemical soil test procedures for the north central region. Missouri Agricultural Experiment Station SB 1001, Columbia, MO. pp 7.1–7.3
- White, JG; RM Welch & WA Norvell. 1997. Soil Zinc Map of the USA using Geostatistics and Geographic Information Systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:185-194.

C3P49. CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO EN PECÍOLO COMO INDICADOR DEL ESTADO NUTRICIONAL EN EL CULTIVO DE PAPA

Lattour, Kevin[1*]; Zamuner, Ester C.[2]; Reussi Calvo, Nahuel I.[3] y Echeverría, Hernán. E[2].

[1] Becario Doctoral CIC (Comisión de Investigaciones Científicas).
[2] Unidad Integrada INTA-FCA (UNMdP). Ruta 226 km 73,5. CC 276 (B7620EMA) Balcarce, Buenos Aires. Argentina.
[3] Investigador de CONICET y laboratorio de suelo FERTILAB. Moreno 4524, CP 7600, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
*lattour.kevin@inta.gob.ar

RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo que requiere cantidades altas de fósforo (P), siendo habitual la aplicación de fertilizantes fosfatados a la plantación para asegurar una adecuada nutrición y un alto rendimiento. El estado nutricional fosfatado del cultivo, durante el ciclo de crecimiento, puede monitorearse a través del análisis de pecíolo. El objetivo de la investigación fue determinar la concentración crítica de fósforo soluble en pecíolo (Ps) durante el ciclo, que no limite el rendimiento del cultivo. Se realizaron 4 ensayos de fertilización fosfatada, cv. Innovator, en el sudeste bonaerense. En cada sitio se compararon cuatro dosis de P (0, 50, 100 y 150 kg P ha^{-1}) dispuestas en diseño experimental en bloques completos y aleatorizados con tres repeticiones. Los resultados indican que la concentración de Ps aumentó significativamente con las dosis de P (de 934 a 1413 mg kg^{-1} para la dosis de 0 y 150 kg P ha^{-1}, respectivamente). Además, la concentración de Ps varió con el momento del ciclo, siendo máxima a los 70 después de plantación (DDP), para luego disminuir con la madurez del cultivo. El rendimiento varió entre 38 y 68 Mg ha^{-1} de tubérculo fresco, y no incrementó por el agregado de P. La concentración crítica de Ps que permitió un diagnóstico correcto fue de 1115, 1425, 1235 y 1000 mg kg^{-1} a los 60, 70, 80 y 90 DDP, respectivamente. Estos resultados proponen considerar umbrales variables de Ps de acuerdo a la etapa de crecimiento del cultivo.

Palabras claves: diagnóstico, Innovator, umbrales.

INTRODUCCIÓN

La papa es un cultivo de elevado rendimiento, y se caracteriza por tener menor densidad y longitud de raíces que el arroz (*Oryza sativa*), el trigo (*Triticum aestivum*) y la soja (*Glycine max*) (Iwama, 2008; Fixen & Bruulsema, 2014), lo cual limita la exploración del suelo (Rosen *et al*., 2014; Fixen & Bruulsema, 2014). Por lo tanto, es necesaria una adecuada nutrición fosfatada desde los estadios iniciales de crecimiento hasta la madurez. Con la finalidad de asegurar una adecuada nutrición y un alto rendimiento, es habitual la aplicación de elevadas dosis de fertilizantes fosfatados a la plantación. Una correcta nutrición de la planta con P mejora el crecimiento, el rendimiento, la calidad del tubérculo y la resistencia a ciertas enfermedades (Rosen *et al*., 2014).

El estado nutricional fosfatado del cultivo de papa, durante el ciclo de crecimiento, puede monitorearse mediante el análisis de tejido vegetal. La concentración de P en pecíolo, es una metodología sencilla, habitualmente utilizada para definir deficiencias de P en la planta (Hegney *et al*., 2000). La misma se basa en la determinación de la concentración de Ps en los pecíolos de la primer hoja totalmente expandida (cuarta hoja sub-apical). Se considera que la tasa de producción de materia seca es adecuada para el crecimiento de tubérculos cuando la concentración de Ps en pecíolos es mayor a 1000 mg kg^{-1}, en cualquier momento de desarrollo del cultivo. Este umbral fue establecido por Westermann & Kleinkopf (1985) para la variedad Russet Burbank. Sin embargo, en estudios más recientes, no se ha encontrado una relación consistente entre la dosis de fertilizante fosfatado y la concentración de Ps (Hegney *et al*., 2000; Rosen & Bierman, 2008; Mohr & Tomasiewicz, 2011).

El objetivo del presente trabajo es evaluar si la concentración de Ps en pecíolo permite caracterizar el estatus fosfatado del cultivo de papa en el sudeste bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron cuatro ensayos en lotes de producción de papa cv. Innovator, ubicados en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, durante la campaña agrícola 2016-17. Las características edáficas de los primeros 20 cm de suelo de cada sitio se muestran en la Tabla 1. Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones. La unidad experimental fue de 68 m^2 (parcelas de 8 surcos de 10 m de largo separados 0,85 m). Con la finalidad de que el N no sea limitante, se agregaron 100 kg ha^{-1} de urea (46-0-0) a la plantación y 150 kg ha^{-1} de urea al aporcar el cultivo.

Tabla 1: Características del suelo (0-20 cm) y manejo del cultivo.

Sitio	P-Bray (mg kg^{-1})	pH	MO (%)	N-NO_3 (mg kg^{-1})	Plantación	Cosecha
1	30,3	5,9	5,3	51,0	12/10/16	07/03/17
2	31,1	6,6	6,3	39,3	27/10/16	02/03/17
3	38,2	6,1	4,1	29,8	08/11/16	22/03/17
4	41,5	5,5	6,1	31,5	28/10/16	17/03/17

MO: materia orgánica.

Se evaluaron 4 tratamientos de fertilización, que consistían en un testigo sin fertilizar con P y tres dosis de fertilización con P (50, 100 y 150 kg P ha^{-1}). Se las denominó T0, T1, T2 y T3, respectivamente. Las dosis de 100 y 150 kg P ha^{-1} se aplicaron fraccionadas (en pre-plantación y plantación). La fuente de P utilizada fue superfosfato triple de calcio (P_2O_5: 46%). La preparación del suelo, plantación y conducción del cultivo fue realizada de acuerdo con la modalidad de la zona. Se recolectaron 40 pecíolos de la primera hoja totalmente expandida del tallo principal a los 60, 70, 80, 90 y 100 DDP, los cuales fueron secados en estufa a 60°C hasta alcanzar peso constante. Luego se determinó la concentración de Ps por extracción con ácido acético (Johnson & Ulrich, 1959). La concentración de P en las soluciones se determinó colorimétricamente (Murphy & Riley, 1962). A la madurez fisiológica del cultivo, se cosecharon los tubérculos de 4 metros lineales de cada unidad experimental y se pesaron para determinar el rendimiento total (Mg ha^{-1}).

Los resultados se analizaron con el programa Statiscal Analysis Systems (SAS) (SAS, Institute, 2002). El efecto de los tratamientos de fertilización a la plantación sobre el rendimiento total y la concentración de Ps en pecíolo, fueron analizados utilizando el PROC MIXED. El sitio y los bloques se consideraron factores aleatorios, y los tratamientos y DDP los factores fijos. Las medias entre tratamientos fueron comparadas utilizando el test de DUNCAN ($P<0,05$).

La relación entre rendimiento relativo (RR= rendimiento del tratamiento/mayor rendimiento obtenido en ese sitio *100) y la concentración de Ps de los pecíolos en diferentes momentos del ciclo de crecimiento, fue estimada usando la metodología propuesta por Cate & Nelson (1971). Para ello fue necesario definir una reducción en RR aceptable y el umbral critico de Ps en pecíolo. Así quedaron definidos 4 cuadrantes: 1) plantas con concentración de Ps menor al umbral y RR mayor al 90% (diagnóstico incorrecto); 2) plantas con concentración de Ps mayor al umbral y RR mayor al 90% (diagnóstico correcto); 3) plantas con concentración de Ps menor al umbral y RR menor al 90% (diagnóstico correcto), y por último 4) plantas con concertación de Ps mayor al umbral y RR menor al 90% (diagnóstico incorrecto). Los cuadrantes 1 y 3 se consideran positivos, y los 2 y 4 negativos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fósforo soluble en pecíolos

Si bien la disponibilidad inicial de P en el suelo fue elevada (mayor a 30 mg kg^{-1}) en todos los sitios, el aumento de la dosis de P incrementó significativamente ($P<0,05$) la concentración de Ps en pecíolo (Tabla 2). Maier *et al.* (1994) determinaron que la aplicación de P aumenta la concentración de P en pecíolo y que ésta es mayor en la variedad Kennebec que en Atlantic. Freeman *et al.* (1998) evaluaron los cultivares Russet Burbank & Kennebec y concluyeron que la fertilización fosfatada incrementa la concentración de P en pecíolo en todos los estadios de crecimiento en ambos cultivares. De manera similar Hopkins *et al.* (2010), Mohr *et al.* (2011) y Rosen (2008) indican un aumento de la concentración de P en pecíolos con el aumento de las dosis de P a la plantación en Russet Burbank.

Tabla 2: Concentración de fósforo soluble (Ps) en pecíolo, promedios y desvió estándar (DS) de sitios y DDP, para dosis de P.

Tratamiento	Ps (mg kg^{-1})	DS
T0	933,8 c	253,8
T1	1062,5 c	334,5
T2	1201,6 b	317,3
T3	1412,7 a	354,4

Valores seguidos por letras distintas indican diferencias significativas ($P<0,05$) según el test de Duncan.

La evolución de la concentración de Ps en pecíolos a lo largo del ciclo se muestra en la Figura 1. La máxima concentración se determinó a los 70 DDP, lo cual coincide con el inicio de llenado de tubérculos. Luego de dicho periodo, la misma disminuyo posiblemente debido a la translocación de P desde la parte aérea hacia los tubérculos que se produce con la madurez del cultivo. Similar tendencia fue reportada para la concentración de P total en pecíolo, en la variedad Russet Burbank, por Westermann & Kleinkopf (1985), Freeman *et al.* (1998) y Sanderson *et al.* (2003). La variación en la concentración de Ps durante el ciclo de crecimiento resalta la importancia de considerar el momento de muestreo si se quiere usar este parámetro como indicador del estado nutricional del cultivo.

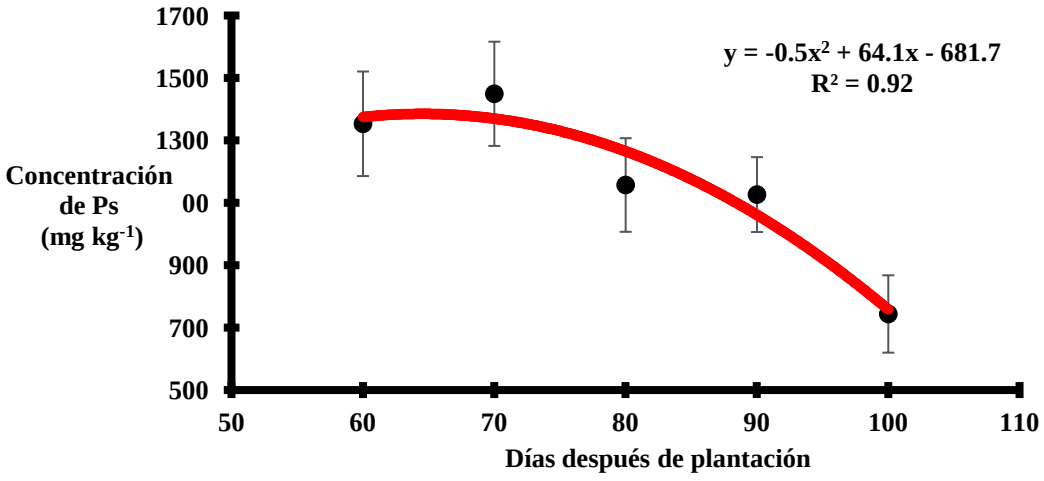


Figura 1: Concentración de fósforo soluble en pecíolos (Ps) a lo largo del ciclo del cultivo. El valor representa el promedio de todas las dosis. Las barras verticales indican el desvió estándar de la concentración de Ps en cada momento del ciclo.

Rendimiento

El rendimiento en tubérculos varió entre 38 y 69 Mg ha^{-1} (Tabla 3), según el tratamiento y el sitio experimental. Este rango de valores es similar al mencionado por Caldiz (2006) para cultivos de la región, con rendimientos promedio de 40 Mg ha^{-1} y máximos de 70 Mg ha^{-1}. Si bien se observó como tendencia un incremento en el rendimiento por el agregado de P, el mismo fue no significativo (Tabla 3). Esta falta de respuesta a la fertilización está asociada a la alta disponibilidad inicial de P en el suelo previo a la plantación (Tabla 1). Zamuner *et al.* (2016) determinaron que cuando la disponibilidad inicial de P-Bray en el suelo es mayor a 32 mg kg^{-1}, el RR es mayor al 95%.

Tabla 3: Rendimiento total para distintas dosis de P aplicadas a la plantación.

Tratamiento	Rendimiento Total (Mg ha^{-1})				
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Promedio
T0	52,7	59,3	37,9	52,0	50,5
T1	52,8	58,0	44,6	59,2	53,9
T2	53,9	60,7	47,9	61,4	56,0
T3	58,8	68,8	47,4	60,9	62,8

Concentración de Ps en pecíolo como estimador del estatus fosfatado del cultivo

En la Figura 2 se observa la variación en el RR en función del Ps, para diferentes momentos del ciclo. Cuando se utiliza como umbral crítico el valor de concentración de Ps indicado en la bibliografía (1000 mg kg^{-1}, línea vertical), el conteo de puntos en los cuadrantes positivos (2 y 3) muestra un 63 %, 54%, 54%, 86% y 38% de casos correctamente diagnosticados para los 60, 70, 80, 90 y 100 DDP, respectivamente. Aunque la mejor predicción del rendimiento se obtuvo a los 90 DDP, esta fecha de muestreo no permitiría realizar correcciones nutricionales debido a que representa un estadio avanzado en el ciclo del cultivo.

Para los estadios de 60, 70 y 80 DDP, la predicción del RR mejoró cuando se utilizó como umbral de concentración de Ps el valor que maximizó los puntos en los cuadrantes 2 y 3. Los nuevos valores umbrales fueron de 1115, 1425, 1235 mg kg^{-1}, respectivamente (Figura 2). Es válido remarcar que dichos valores siguen la misma tendencia que la concentración de Ps mostrada en la Figura 1, con un valor máximo a los 70 DDP y disminuyendo con la madurez del cultivo. Además, mediante el conteo de puntos en los cuadrantes positivos se determinó un 75%, 79% y 58% de muestras correctamente diagnosticadas para los estadios de 60, 70 y 80 DDP, respectivamente. Para los 90 DDP el umbral coincide con el indicado por Westermann & Kleinkopf (1985), mientras que a los 100 DDP no fue posible realizar un ajuste confiable. En síntesis, la concentración de Ps en pecíolo realizada a los 60 o 70 DDP permitiría caracterizar el estatus fosfatado cuando todavía es posible realizar correcciones con fertilización foliar, si fuese necesario. No obstante, esta información debería ser válida en ambientes con baja de disponibilidad de P inicial y alta respuesta en rendimiento al agregado de dicho nutriente.

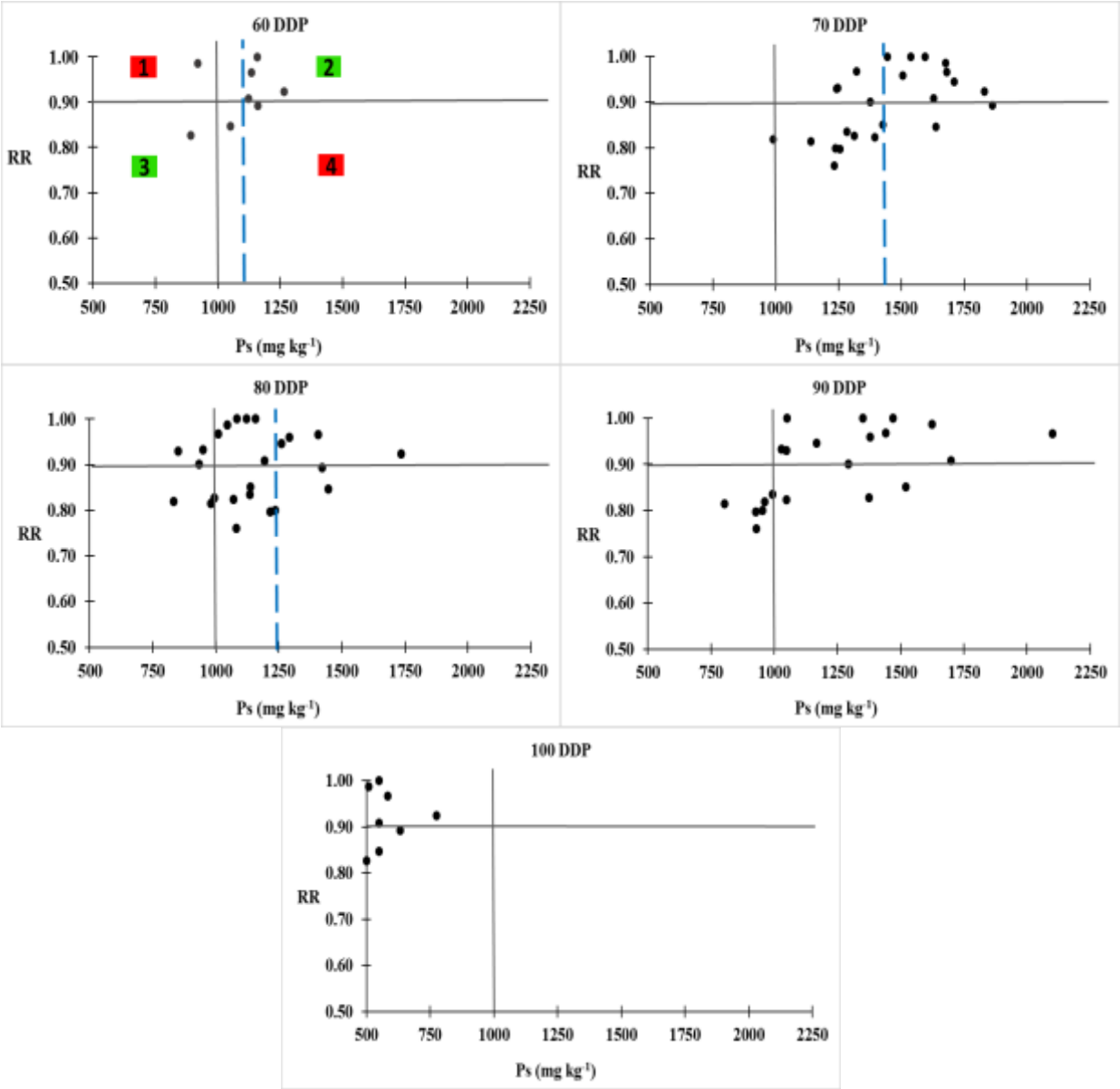


Figura 2: Relación entre la concentración de fósforo soluble (Ps) en pecíolo y el rendimiento relativo (RR) para diferentes momentos muestreos. DDP: días desde plantación. La línea vertical representa el umbral internacional (1000 mg kg^{-1}). La línea vertical punteada representa el umbral ajustado en el presente trabajo.

CONCLUSION

La concentración de Ps aumentó con el agregado de P a la plantación y disminuyó hacia la madurez. Estos resultados ponen en evidencia la necesidad de considerar umbrales variables de Ps de acuerdo a la etapa de crecimiento que se encuentre el cultivo, y no un umbral fijo para todo el ciclo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo presenta resultados parciales de la Tesis de Doctorado (FCA-UNMP) del Ing. Agr. Kevin Lattour y fue financiado por el proyecto de investigación Diagnóstico foliar de nutrientes en papa para industria aprobado por la UNMdP (Código: Min.: 15/A529 Univ.: AGR527/17).

BIBLIOGRAFÍA

- Caldiz, DO. 2006. Producción, cosecha y almacenamiento de papa en la Argentina. McCain Argentina SA, Balcarce-BASF Argentina SA, Capital Federal. Argentina. 226 p.
- Cate, RB & LA Nelson. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. Soil Science Society of America Journal 35:658-660.
- Fixen, PE & TW Bruulsema. 2014. Potato Management Challenges Created by Phosphorus Chemistry and Plant Roots. Am. J. Potato Res. 91: 121-13.
- Freeman, KL; PR Franz & RW de Jong. 1998. Effect of phosphorus on the yield, quality and petiolar phosphorus concentrations of potatoes (cv. Russet Burbank and Kennebec) grown in the krasnozem and duplex soils of Victoria. Australian Journal of Experimental Agriculture. 38: 83-93.
- Hegney, MA; IR Mc Pharlin & RC Jeffery. 2000. Using soil testing and petiole analysis to determine phosphorus fertiliser requirements of potatoes (Solanum tuberosum L. cv. Delaware) in the Manjimup-Pemberton region of Western Australia. Animal Production Science 40: 107-117.
- Hopkins, BG; JW Ellsworth; AK Shiffler; AG Cook & TR Bowen. 2010. Monopotassium phosphate as an in-season fertigation option for potato. Journal of Plant Nutrition, 33: 1422-1434.
- Iwama, K. 2008. Physiology of the Potato: New Insights into Root System and Repercussions for Crop Management. Potato Res. 51:333–353.
- Johnson, CM & A Ulrich. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. Bulletin N° 766 (California Agricultural Experiment Station: CA, U.S.A)
- Maier, NA; AP Drahlenbug & MJ Williams. 1994. Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium on yield ad petiolar nutrient concentration of potato (*Solanum tuberosum L.*) cv. Kennebec and Atlantic. Australian Journal of Experimental Agriculture. 34: 825-34.
- Mohr, RM & DL Tomasiewicz. 2011. Effect of phosphorus fertilizer rate on irrigated Russet Burbank potato. Communications in Soil science and Plant Analysis 42: 2284-2298.
- Murphy, J & JP Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analycal Chemical Acta 27: 31-36.
- Rosen, CJ & PM Bierman. 2008. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. American Journal Potato Research 85: 110-120.
- Rosen, CJ; KA Kelling; Stark JC & GA Porter. 2014. Optimizing phosphorus fertilizer management in potato production. American Journal Potato Research 91: 145-160.
- Sanderson, JB; JA Macleod; B Douglas; R Coffin & T Bruulsema. 2003. Phosphorus research on potato in PEI. Acta Horticulturae. 619: 409-417.
- SAS Institute. 2002. The SAS system for Windows. Release version 9.1. SAS Inst., Cary, NC
- Westermann, DT & GE Kleinkopf. 1985. Phosphorus Relationships in Potato Plants. Agronomy Journal Vol. 77.
- Zamuner, EC; J Lloverás & HE Echeverría. Use of a critical phosphorus dilution curve to improve potato crop nutritional management

C3P50. EFECTO DE LA FERTILIZACION DEL CULTIVO DE COBERTURA EN AMBIENTES CONTRASTANTES DEL NOROESTE BONAERENSE

Lobos, Martin[12]; Miranda Walter[2]; Rampo Mauro[2]; Barraco Mirian[2] y Girón Paula[2].

[1] Becario doctoral CONICET/INTA. [2] Estación Experimental Agropecuaria INTA Gral. Villegas. Calle San Martín n° 26. General Villegas. Argentina. lobos.horacio@inta.gob.ar

RESUMEN

Los cultivos de cobertura (CC) mejoran la infiltración de agua y su almacenaje en el perfil del suelo, reducen el escurrimiento superficial, capturan nutrientes y reducen las perdidas por lixiviación. Adicionalmente son un factor clave en el manejo de malezas afectando su establecimiento. En este trabajo se evaluó la producción de MSA (materia seca aérea) del centeno utilizado como CC según diferentes tratamientos de fertilización y su incidencia sobre la dinámica de agua, nitrógeno y malezas en dos ambientes contrastantes. En cada ambiente, bajo y loma, se establecieron los siguientes tratamientos: centeno como cultivo de cobertura (CC) y un testigo (B) sin cobertura. Sobre el CC se establecieron los tratamientos de fertilización: i) centeno sin fertilizantes (CC), ii) centeno con fósforo (CC P) y iii) centeno con nitrógeno y fósforo (CC NP). La producción de MSA de centeno varió entre 6641 y 10516 kg ha^{-1}. La fertilización con N y P no permitió incrementos significativos en la producción de MSA, tampoco afectó el UC y la EUA. La ausencia de respuesta a la fertilización se relaciona con el elevado índice IMO, en el bajo fue de 7,8 y en la loma de 6,8. El centeno no limitó la disponibilidad hídrica para el cultivo de soja debido a las importantes precipitaciones en el año evaluado. Entre la siembra del CC y antesis se observaron diferencias de 75 y 69 kg ha^{-1} de N total entre los tratamientos con CC y B. Entre antesis y siembra de soja las diferencias aumentaron, debido al proceso de inmovilización generado por la alta relación C/N del residuo y la continua mineralización en el testigo. La densidad de malezas m^{-2} en los tratamientos con CC representa el 22 % de las malezas presentes en el tratamiento B en macollaje y el 2 % en antesis CC.

Palabras claves: centeno, dinámica de nitrógeno, malezas.

INTRODUCCIÓN

Los cultivos de cobertura (CC) proporcionan numerosos servicios al ecosistema: mejoran la infiltración de agua de lluvia y su almacenaje en el perfil del suelo (Alvarez *et al.*, 2012), reducen el escurrimiento superficial, secuestran carbono, capturan nutrientes, reducen las perdidas por lixiviación y son hospedantes de polinizadores y otros insectos benéficos (Pullaro *et al.*, 2006). Adicionalmente son clave en el manejo de malezas de difícil control mediante herbicidas ya que pueden tener efecto supresivo sobre la germinación, emergencia y crecimiento de las mismas (Mirsky *et al.*, 2013). La supresión potencial de malezas invernales por parte de los CC es dependiente de la producción de materia seca aérea (MSA) (Teasdale *et al.*, 2005). La fertilización es un factor importante en el manejo de los cultivos y su uso estratégico puede provocar la reducción en la germinación y el crecimiento de malezas (Blackshaw *et al.*, 2004).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de MSA del centeno utilizado como CC según diferentes tratamientos de fertilización y su incidencia sobre la dinámica de agua, nitrógeno (N) y malezas en dos ambientes contrastantes del noroeste bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló durante el año 2017 en un establecimiento próximo a la localidad de Porvenir (Buenos Aires) en la Región Subhúmeda Pampeana sobre un lote proveniente de soja en la campaña 2016-17. En el mismo, se delimitaron dos ambientes productivos: bajo y loma (Tabla 1). En el bajo, el suelo fue clasificado taxonómicamente como Hapludol típico, cuyas características son textura franco-arenosa, con buen contenido de materia orgánica (MO), baja retención de agua y con limitaciones de profundidad ya que se encuentra la tosca entre los 140 y 180 cm de profundidad, mientras que en la loma, el suelo se clasificó como Hapludol éntico de textura arenosa- franca no presenta limitaciones de profundidad y es muy susceptible a erosión eólica.

Tabla 1. Caracterización de los ambientes estudiados (0-20 cm). MO= materia orgánica. CE= conductividad eléctrica. P= fósforo.

Ambiente	Arcilla	Limo	Arena	Textura	MO	pH	$N\text{-}NO_3^-$	CE	P	IMO
		g kg^{-1}			g kg^{-1}		kg ha^{-1}	dS m^{-1}	ppm	
Bajo	100	260	640	arenoso franco	27,6	6	28,8	0,24	6.3	7,8
Loma	40	150	810	arenoso franco	12,8	6,1	16,7	0,08	14,9	6,8

En cada uno de los ambientes se establecieron los siguientes tratamientos: centeno como CC y un testigo (B) sin cobertura. Sobre el CC se establecieron los tratamientos de fertilización: i) centeno sin fertilizantes (CC), ii) centeno con fósforo (CC P) y iii) centeno con nitrógeno y fósforo (CC NP). El centeno (cv: Don Ewald) se sembró el 18 de abril en la loma y el 19 de abril en el bajo, a razón de 50 kg ha^{-1} (263 semillas m^{-2}). En preemergencia del cultivo se aplicaron 5 gr ha^{-1} de metsulfuron metil y 1,5 l ha^{-1} de glifosato (62%). A la siembra del CC (S CC), se incorporaron 60 kg ha^{-1} de fosfato monoamónico (9-52-0) y en macollaje se aplicaron 80 kg ha^{-1} de urea (46-0-0) en los tratamientos de fertilización correspondientes.

Se efectuó el secado del CC mediante la utilización de un rolo faca (sin cuchillas) el 3/10/2017.

A la S CC se extrajeron muestras de 0 a 20 cm para la caracterización de MO, pH, CE, P y textura; y hasta los 200 cm para las contantes hídricas [capacidad de campo y punto de marchitez permanente (PMP)]. Se determinó el contenido de agua a capacidad de campo mediante olla de presión a 33 kPa y el contenido de agua a PMP mediante membrana de presión a 1500 kPa.

Se estimó el índice IMO a través del cociente entre el %MO y la suma de arcillas más limo (g kg^{-1}).

Se realizaron determinaciones del contenido hídrico del suelo hasta los 140 cm de profundidad a la S CC y en estadios de antesis (A CC) (15 de septiembre) en cada uno de los tratamientos. Al momento de la siembra de soja (S SJ) se determinó el contenido hídrico hasta los 140 cm de profundidad en los tratamientos CC NP y B. Se cuantificó el contenido de $N\text{-}NO_3^-$ en el suelo en S CC, A CC y en S SJ en capas de 0-20 y 20-40 y 40-60 cm de profundidad.

Se determinó la producción MSA del CC (kg MS ha^{-1}) en antesis, mediante tres cortes en cada tratamiento sobre una superficie de 0,25 m^{-2}, luego el material fue colocado en estufa a 60°C hasta alcanzar peso constante. Adicionalmente, se determinó el contenido de N en la MSA.

Se calculó el uso consuntivo (UC) de los diferentes tratamientos de CC, mediante la suma del contenido hídrico del suelo al momento de la siembra y las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del CC, a la cual se restó el contenido hídrico del suelo al momento de antesis. La eficiencia de uso del agua (EUA) se realizó utilizando el cociente entre MSA producida y el UC. Adicionalmente, se calculó la eficiencia de barbecho (EB) restando al agua disponible (AD) al momento de S SJ el AD al momento de A CC, y esa diferencia se dividió por las pp acumuladas en el período de barbecho mencionado expresándose los resultados en términos porcentuales (%).

En cada una de las parcelas se cuantificó el número de malezas con un aro de 0,25 m^{-2} en diez estaciones de muestreo para cada uno de los tratamientos en dos momentos diferentes: macollaje y A CC.

El diseño fue en 3 bloques completos para cada ambiente. Los resultados se analizaron por ANOVA y la comparación entre medias mediante el test de LSD Fisher ($p< 0,05$), empleándose el software Infostat (2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de Materia Seca Aérea

Las precipitaciones acumuladas durante el ciclo de los CC fueron de 249 mm (Tabla 2). Sumados a los 256 y 138 mm de AD a la S CC para el bajo y la loma, respectivamente (Tabla 4), hicieron que el CC en ningún momento se encontrara afectado por un déficit hídrico.

Tabla 2. Precipitaciones (mm) durante el año 2017, ciclo del CC, periodo entre antesis del CC y la siembra de la soja y durante el barbecho

Tratamiento	Precipitaciones (mm)	Días de barbecho
Año 2017	776	-
Ciclo CC	249	-
Antesis CC - Siembra Soja	74	43
Barbecho largo (testigo)	323	221

La producción de MSA de centeno varió entre 6641 y 10516 kg ha^{-1}. No se observaron diferencias significativas en la producción de MSA de los CC entre los diferentes tratamientos de fertilización (p= 0,12 y p= 0,13 para el bajo y la loma, respectivamente) (Tabla 3). La ausencia de respuesta a la fertilización por parte de los CC puede deberse al potencial de mineralización de los suelos, expresado a través del índice de MO/(arcilla + limo) (IMO). Este índice relaciona el contenido de MO con la textura del suelo. Quiroga & Bono (2007), mencionan que el valor de este índice debe ubicarse por encima de 5 (en un rango de 2-12 aproximadamente). Un valor de IMO por debajo de este umbral sugiere la pérdida de MO en relación a la proporción de arcilla + limo del suelo, condicionando los rendimientos de los cultivos, la respuesta a la fertilización y la EUA (Quiroga *et al.*, 2006). Contrariamente, lotes que contengan un valor de IMO por encima de 7, indican alta fertilidad, por lo tanto su respuesta a la fertilización será escasa. En este trabajo, la falta de respuesta a la fertilización, puede atribuirse al elevado índice IMO tanto del bajo como en la loma, siendo de 7,8 y 6,8, respectivamente.

Se obtuvieron diferencias significativas en la producción de MSA entre la loma y el bajo, lo que puede atribuirse a la disponibilidad de agua a la S CC [el bajo contenía 118 mm más que la loma (Tabla 3)] y a la diferencia de potencial productivo entre ambos ambientes (Tabla 1).

Tabla 3. Producción de materia seca aérea (kg ha-1) de centeno según tratamientos de fertilización y dos ambientes productivos. CC NP (centeno con N y P), CC P (centeno con P), CC (centeno sin fertilizar). Letras distintas indican la presencia de diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05).

	Ambiente	
Tratamiento	**Bajo**	**Loma**
CC NP	9739a	8391a
CC P	9624a	8786a
CC	8799a	7466a

Dinámica de Agua

El suelo en donde se llevó a cabo la experiencia tiene la capacidad de retener en los primeros 140 cm un total de 204 mm en el bajo y 142 mm en la loma. A la S CC el bajo contenía 25 % más de agua (256 mm) que la capacidad máxima de retención mientras que la loma se encontraba en un 97 % (138 mm) de la capacidad de campo. En A CC, en ambos ambientes, el contenido hídrico de los tratamientos con CC fue similar que el tratamiento B (Figura 1). A pesar de ello, el agua disponible se encontraba por encima de la capacidad máxima de retención del suelo en todos los tratamientos, explicado esto por las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de crecimiento del CC (Tabla 2) y al elevado contenido de AD a la S CC.

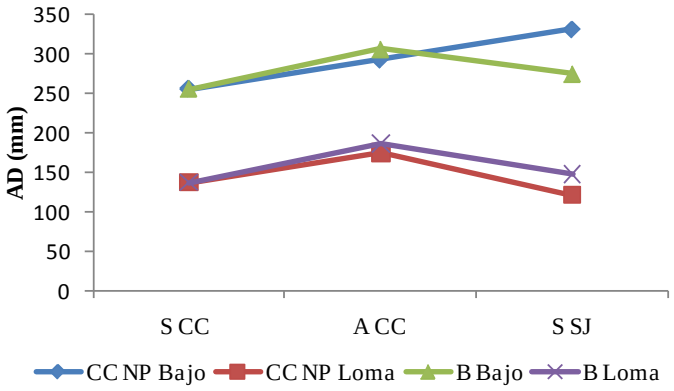


Figura 1: Agua disponible (AD) acumulada de 0 a 140 cm de profundidad en los ambientes de bajo y loma para los tratamientos: CC NP (centeno con N y P) y B (testigo), en siembra del CC (S CC), antesis del CC (A CC) y siembra de soja (S SJ).

El UC varió entre 175 y 247 mm y no se vio afectado por los tratamientos de fertilización en ninguno de los ambientes (p= 0,35 y p=0,75, para bajo y loma, respectivamente). La EUA varió entre 30 y 51 kg MS mm^{-1}, con mayores valores en el ambiente de bajo. Si bien la EUA tendió a ser mayor en los tratamientos fertilizados las diferencias

encontradas no fueron significativas (p= 0,25). Se observan EB igual a cero en todos los tratamientos a excepción del tratamiento CC NP en el bajo (Tabla 4). Las bajas EB observadas tanto en la loma como en bajo puede atribuirse a un evento de precipitación intenso (106 mm) previa a la determinación de humedad al momento de la S SJ, lo que podría haber producido una pérdida en el extracto evaluado por percolación o escurrimiento, debido a que en ese momento el agua retenida en el suelo superaba los contenidos de humedad a capacidad de campo.

Tabla 4: Contenido de agua disponible (AD) a la siembra y antesis del CC, a la siembra de soja, UC (uso consuntivo), EUA (eficiencia en el uso de agua) y EB (eficiencia de barbecho) para ambos ambientes productivos. CC NP (centeno con N y P), CC P (centeno con P), CC (centeno sin fertilizar) y B (testigo).

	AD S CC (mm)		AD A CC (mm)		AD S SJ(mm)		UC (mm)		EUA (Kg MS mm^{-1})		EB (%)	
	Bajo	**Loma**	**Bajo**	**Loma**	**Bajo**	**Loma**	**Bajo**	**Loma**	**Bajo**	**Loma**	**Bajo**	**Loma**
CC NP	256	138	293	176	332	122	212	211	46	40	52	0
CC P			274	162	sd	sd	231	225	42	39	sd	sd
CC			293	176	sd	sd	212	211	42	36	sd	sd
B			307	187	275	148	-	-	-	-	0	0

Dinámica de N

Los contenidos de N-NO_3^- en el suelo al inicio de la experiencia fueron bajos (Tabla 1). El tratamiento B presentó valores más altos de N-NO_3^- en A CC y a la S SJ, tanto en la loma como en el bajo, siendo estas diferencias significativas (p<0,01) (Figura 2). El contenido de N en la biomasa no presentó diferencias significativas entre distintos tratamientos de CC (datos no mostrados), en promedio fue de 97 y 105 kg ha^{-1} para la loma y el bajo, respectivamente. Las diferencias de N-NO_3^- del suelo en A CC entre tratamientos de CC y B fueron de 21 kg ha^{-1} en la loma y de 36 kg ha^{-1} en el bajo (Figura 2).

Diferencias en N-NO_3^- en el suelo entre S CC y A CC se atribuyen al consumo de nitratos por parte del CC. Considerando el contenido de N en biomasa de CC y el N-NO_3^- del suelo, la suma de éstos factores en los tratamientos con CC superó al contenido de N-NO_3^- de suelo en el tratamiento B en ambos ambientes. El contenido de N en la biomasa aérea del CC fue de 97 y 105 kg ha^{-1}, y el contenido de N-NO_3^- del suelo al 15 de septiembre (A CC) fue de 11,8 y 14 kg ha^{-1} para loma y bajo, respectivamente. La suma de los mismos registró un total de 108,7 kg ha^{-1} de N para la loma y 119,6 kg ha^{-1} para el bajo, en los tratamientos con CC. Estos valores fueron significativamente mayores que en B, 33,5 y 50,6 para loma y bajo, respectivamente (Figura 2). Considerando que el cultivo antecesor al centeno fue soja con una relación C/N entre 20 y 30 (Andrade *et al*., 1996) se podría haber producido una mineralización del residuo durante el invierno, que sumado precipitaciones durante el ciclo del CC (249 mm) se podría haber perdido N-NO_3^- en el tratamiento B por lixiviación. Este balance demuestra que los CC tienen la capacidad de secuestrar N disponible que se produce por mineralización, disminuyendo las pérdidas potenciales durante el barbecho. Resultados similares fueron encontrados por Fernandez *et al.* (2007), trabajando en Hapludoles énticos.

A la S SJ, los contenidos de N en el tratamiento B superaron en promedio en 80 kg ha^{-1} y 120 kg ha^{-1} en la loma y el bajo, respectivamente (Figura 2). Estas diferencias podrían explicarse a través del balance entre los procesos de inmovilización y mineralización. Allison (1966), indica cuando la relación C/N se sitúa entre los valores de 25 y 30, hay un equilibrio entre mineralización e inmovilización. En el mismo sentido, Sanchez *et al.* (1998), mencionan que residuos que presentan una relación C/N de entre 30 y 50 generan procesos de inmovilización de N mineral por un periodo prolongado de tiempo. En este trabajo la relación C/N de los CC en promedio fue de 37,5 lo que generó procesos de inmovilización temprana del N mineral y una lenta mineralización de residuos por lo que el aumento de los contenidos de N-NO^-_3 entre A CC y S SJ no fueron semejantes a los aumentos obtenidos en el tratamiento B donde la mineralización se prolongó en el tiempo.

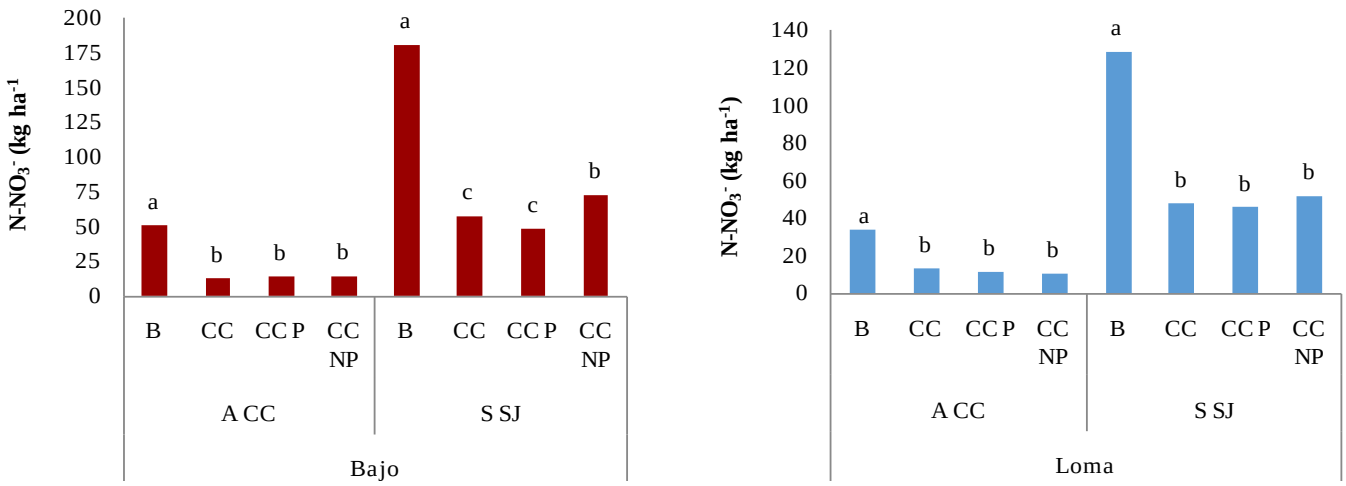


Figura 2: Contenido de N-NO_3^- en el suelo al momento de antesis de CC (A CC) y siembra de soja (S SJ) para los diferentes tratamientos: B (testigo), CC (CC sin fertilizar), CC P (CC fertilizado con P) y CC NP (CC fertilizado con N y P) para los dos ambientes evaluados. Letras distintas indican la presencia de diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05) en cada momento y ambiente evaluado.

Malezas

Investigaciones previas indican que es necesario obtener entre 2000 y 4000 kg MSA ha^{-1} en los CC para obtener efectos significativos sobre la densidad de malezas y al mismo tiempo no afectar la implantación del cultivo subsiguiente (Duiker & Curran, 2005). En este estudio el promedio de MSA producido fue de 8578 kg ha^{-1} y afectó significativamente la densidad de malezas (p < 0,01). En promedio la densidad de malezas m^{-2} en los tratamientos con CC representó el 22 % de la cantidad total de malezas presentes en el tratamiento B en macollaje y el 2 % en A CC. Además la fertilización del CC modificó la densidad poblacional de malezas (p<0,01) en los dos momentos evaluados, siendo el tratamiento CC P el que menor cantidad de malezas presentó. En macollaje, tanto en CC como en B, el número de malezas fue superior al observado al momento de A CC, lo que puede atribuirse a la escasa competencia ejercida por el CC en ese estado fenológico. La presión de malezas fue superior en la loma que en el bajo en ambos momentos de determinación. El efecto de la inclusión del CC sobre la densidad de malezas puede asociarse a la modificación de las condiciones ambientes que producen los CC para la emergencia y crecimiento de las malezas, es decir, la presencia de canopeo modifica tanto el ambiente térmico como lumínico sobre la superficie del suelo. Adicionalmente, el centeno tiene la capacidad de exudar compuestos secundarios, denominados alelopáticos que interfieren en la germinación de malezas anuales de invierno (Burgos *et al.*, 1999). Asimismo, Liebman & Davis (2000), mencionan que una alta disponibilidad de nutrientes es ventajoso para las malezas que suelen ser capaces de absorber nutrientes más rápido que los cultivos, concordando con ellos, en esta experiencia la inclusión de CC redujo la disponibilidad de N mineral para las malezas, (en promedio los tratamientos con CC presentaron un 30% menos de N-NO^-_3 que el tratamiento B afectando su establecimiento.

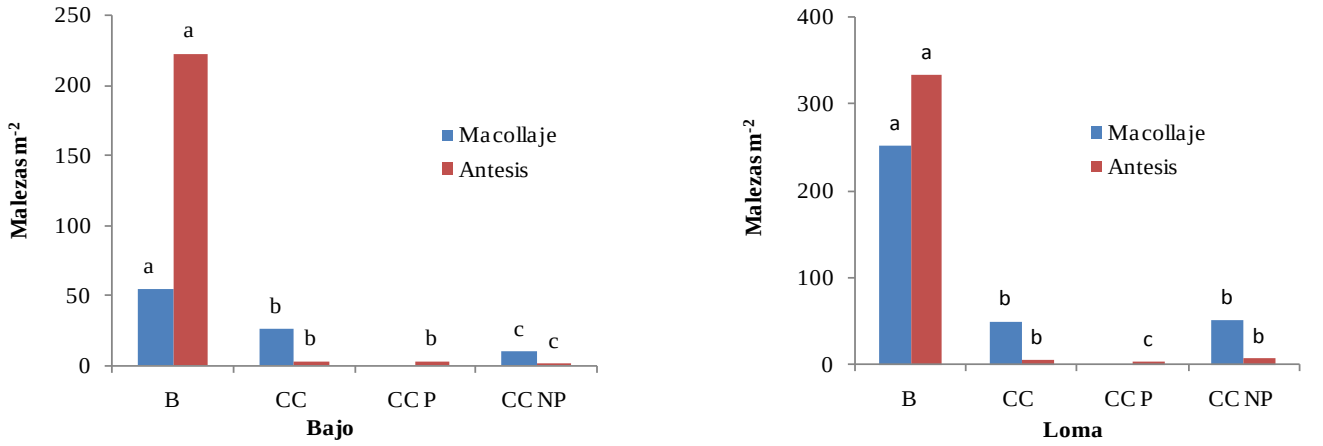


Figura 3: Malezas (plantas m^{-2}) para el bajo y la loma en todos los tratamientos al macollaje del CC y antesis del mismo. B (testigo), CC (centeno sin fertilizar), CC P (centeno con P), CC NP (centeno con N y P). Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos en cada uno de los momentos de determinación para los dos ambientes (p<0,05).

CONCLUSIONES

La producción de MSA de centeno fue elevada en los dos ambientes evaluados, debido a la alta disponibilidad hídrica durante el estudio.

El alto valor de índice IMO en ambos ambientes condicionó la respuesta de la MSA a la fertilización con N y P.

El centeno no limitó la disponibilidad hídrica para el cultivo de soja debido a las importantes precipitaciones en el año evaluado.

La inclusión del centeno en la rotación permitió transformar en biomasa el N disponible en el suelo evitando las perdidas por lixiviación y redujo significativamente la densidad de malezas.

La alta relación C/N de la MSA produjo inmovilización de N a la siembra de soja.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C; R Fernández; C Lienhard; R Bagnato & A Quiroga. 2012. Manejo de cultivos de cobertura: efecto sobre la dinámica de agua, nitrógeno y productividad de maíz tardío. En: Revista Técnica de la AAPRESID, Especial Agua: p. 56-62.
- ALLISON, FE. 1966. The fate of nitrogen applied to soils. Adv. Agron. 18:219-258.
- Andrade, FH; HE Echeverría; NS González; S Uhart & N Darwich. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Boletín técnico Nº 134. 17 pp.
- Blackshaw, RE; LJ Molnar & HH Janzen. 2004. Nitrogen fertilizer timing and application method affect weed growth and competition with spring wheat. Weed Sci. 52:614–622.
- Burgos NR; RE TalberT & JD Mattice. 1999. Cultivar and age differences in the production of allelochemicals by Secale cereale. Weed Sci 47:481–485
- Di Rienzo J; F Casanoves; M Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & C Robledo. 2017. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar.
- Duiker, S & W. Curran. 2005. Rye cover crop management for corn production in the northern Mid-Atlantic region. Agron. J. 7:1413–1418.
- Fernández, R; A Quiroga; F Arenas; C Antonini & M Saks. 2007. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Publicación Técnica N° 71. EEA INTA Anguil. Capítulo V.
- Liebman, N & AS Davis. 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. Weed Res. 40: 27-47.
- Mirsky, SB; MR Ryan; JR Teasdale; WS Curran; SC Reberg-Horton; JT Spargo; MS Wells; CL Keene & JW Moyer. 2013. Overcoming Weed Management Challenges in Cover Crop–Based Organic Rotational No-Till Soybean Production in the Eastern United States. Weed Technology 27: 193–2013.
- Pullaro T; P Marino; D. Jackson; H Harrison & A. Keinath. 2006. Effects of killed cover crop mulch on weeds, weed seeds, and herbivores. Agric. Ecosyst. Environ. 115:97–104.
- Quiroga, A; D Furano; E Noellemeyer & N Peinemann. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. Soil & Tillage Research 90 p: 63–68.
- Quiroga, A & A Bono. 2007. Materia orgánica de suelo. En “Manual de fertilidad y evaluación de suelos”, Eds: Quiroga, A y A Bono. Ed. INTA. EEA INTA Anguil.
- Sánchez, SR; GA Studdert & HE Echeverría. 1998. Dinámica de la mineralización del nitrógeno de residuos de cosecha en descomposición en un Argiudol Típico. *Ciencia del Suelo* 16:1-6.
- Teasdale, JR; P Pillai & RT Collins. 2005. Synergism between cover crop residue and herbicide activity on emergence and early growth of weeds. Weed Sc. 53: 521-517.

C3P51. FACTORES QUE CONDICIONAN LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO EN SUELOS BAJO SIEMBRA DIRECTA DEL SUDOESTE BONAERENSE

López, Fernando M.[1*]; Duval, Matías[1]; Martínez, Juan M.[1]; Gabarini, Luciano[3] y Galantini, Juan[1,2]

[1] Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS), Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS) - CONICET, Bahía Blanca, Argentina. fmlopez@cerzos-conicet.gob.ar
[2] Comisión de investigaciones científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC)
[3] Laboratorio de Biología de Suelos, Universidad Nacional de Quilmes

RESUMEN

El fósforo (P) es un nutriente crítico para la producción de alimentos y uno de los elementos que más comúnmente limitan la productividad primaria. En la producción agrícola es necesario aumentar la eficiencia de uso de este nutriente debido a que es un elemento limitante del desarrollo de los cultivos, los reservorios de roca fosfórica son muy escasos y el P incide en la eutrofización de cursos de agua. El objetivo de este trabajo fue analizar diferentes factores que afectan la disponibilidad de P para los cultivos en suelos del sudoeste bonaerense (SOB) bajo siembra directa (SD). Durante tres años, en tres sitios del SOB con historia bajo SD, se analizaron factores que afectarían la disponibilidad de P para los cultivos. En los 20 cm superficiales, en cuatro capas de 5 cm, se determinó el P extraíble (Pe), la actividad microbiana a través de la respiración del suelo (RESP), la actividad de la enzima fosfatasa ácida (APA) y la fertilidad física. El Pe presentó una marcada estratificación en todos los sitios y años evaluados, estando entre el 51 y el 76 % concentrado en los primeros 5 cm. La RESP y APA también demostraron una importante estratificación y variación entre sitios. En cuanto a la fertilidad física se observaron limitantes en la porosidad de aireación en subsuperficie en los tres sitios, lo que podría afectar la accesibilidad de los cultivos al P edáfico. Estos factores podrían explicar la alta respuesta a la fertilización fosfórica en suelos que presentan valores de Pe en 0-20 cm por encima de los niveles de suficiencia. Sería importante definir nuevos parámetros que permitan evaluar de forma correcta la disponibilidad de P para los cultivos.

Palabras claves: trigo, estratificación, fertilización

INTRODUCCIÓN

El fósforo (P) es un nutriente crítico para la producción de alimentos y uno de los elementos que más comúnmente limitan la productividad primaria (Vitousek *et al.*, 2010; Faucon *et al.*, 2015; Stutter *et al.*, 2015). Recientemente ha aumentado el interés acerca de su dinámica en los agroecosistemas debido a su incidencia en aspectos agronómicos, económicos y ambientales (Damon *et al*., 2014). En la producción agropecuaria es necesario aumentar la eficiencia de uso de este nutriente, debido a tres causas principales: 1) es un elemento limitante del desarrollo de los cultivos (Dodd & Sharpley, 2015); 2) los reservorios de roca fosfórica son muy escasos (USGS, 2016) y 3) el P incide en la eutrofización de cursos de agua (Bennett *et al*., 2001). Para ello, es necesario generar un mayor conocimiento de los mecanismos implicados en su disponibilidad para las plantas (Hu *et al*., 2012; Stutter *et al*., 2015; Dodd & Sharpley, 2015), que permita un manejo más eficiente de los fertilizantes, evitando su alto costo ambiental (Kuo *et al*., 2005; Darilek *et al*., 2011; Stutter *et al*., 2012). A partir del cambio de uso y manejo del suelo en el Sudoeste Bonaerense (SOB), asociado al incremento del área bajo SD (Schmidt & Amiotti, 2015; Zilio, 2015), es necesario evaluar el estado de las propiedades físicas y la actividad microbiana y enzimática del suelo que podrían afectar la disponibilidad de P para los cultivos. El objetivo de este trabajo fue analizar diferentes factores que afectarían la disponibilidad de P para los cultivos en suelos del SOB con historia bajo SD.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante los años 2013, 2014 y 2015, en tres sitios con más de 12 años bajo SD del SOB. Los establecimientos seleccionados correspondían a miembros de la regional Bahía Blanca de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), ubicados en cercanías de las localidades de Tornquist (TOR), Saldungaray (SAL) y Las Oscuras (LOS).

La evaluación de la disponibilidad de P, propiedades físicas, respiración del suelo (RESP) y actividad enzimática se realizó en los 20 cm superiores del perfil. En cada sitio se tomaron aleatoriamente tres muestras de suelo sin disturbar mediante cilindros de acero de 5 cm de alto y 4,5 cm de diámetro, a 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm de profundidad. Las

muestras fueron tomadas al momento de la siembra de los cultivos invernales (mayo-junio). Para la evaluación del espacio poroso del suelo se determinó la densidad aparente (DA) por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986) y se estimó el diámetro efectivo de poros capaces de retener agua a una determinada presión a partir de la curva de retención hídrica (Hassink *et al*., 1993; Klute, 1986). Los tamaños de poros se analizaron en base a la clasificación propuesta por Kay & VandenBygaart (2002). Sobre las muestras secas al aire y tamizadas por 2 mm se determinó el P extraíble (Pe) por el método de Bray & Kurtz (1945). La actividad de microorganismos heterótrofos (RESP) se evaluó mediante la medición de la respiración por un método similar al establecido por Zibilske (1994). Aproximadamente 120 g de suelo con la humedad de campo se introdujeron en frascos de incubación de 800 cm^3. En cada frasco se colocó un vial plástico con 30 mL de NaOH (0,25 M) y se incubaron durante 7 días en estufa a 25ºC. Dado que el CO_2 producido de la mineralización de la materia orgánica es producido por la respiración de microorganismos, se presentó como mg C-CO_2 100 g $suelo^{-1}$ d^{-1} (Haynes, 2005). Sobre las muestras de suelo recolectadas en el año 2015 se determinó la actividad de la enzima fosfatasa ácida (APA) con el método descripto por German *et al*. (2011) utilizando MUB-fosfato (Sigma-Aldrich Co. Ltd) como sustrato y se expresó como micromol PO_4^{3-} g $suelo^{-1}$ h^{-1}.

Los datos en todas las tablas y figuras se presentaron como medias y las diferencias fueron probadas por análisis de la varianza (ANAVA). En los casos donde se observó heterocedasticidad se realizó la transformación de las variables con la función logaritmo para el ANAVA y se presentan los datos de las variables retransformadas. Para la comparación de medias se utilizó el test de diferencias mínimas significativas de Fisher, evaluando la interacción entre factores. También se realizó el análisis de correlación de Pearson y regresiones simples para evaluar el grado de asociación entre variables. Los análisis estadísticos se realizaron con el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al*., 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Pe en 0-20 cm demostró importantes variaciones entre años y sitios (Tabla 1). En el sitio SAL en particular se observó una gran variación interanual del Pe, probablemente relacionado con las importantes variaciones en las precipitaciones durante el barbecho, muy superiores en el año 2014. No existen trabajos en la región que evalúen el nivel de suficiencia de Pe para trigo bajo SD. Según los resultados obtenidos por Ron y Loewy (1990) en labranza convencional, estos suelos presentarían baja probabilidad de respuesta a la fertilización debido a la concentración de Pe superior a 10,5 mg kg^{-1} en 0-20 cm. Sin embargo, coincidiendo con Ron (2012), los productores han observado gran respuesta a la fertilización fosfórica del cultivo de trigo en los suelos y años evaluados (comunicación personal). Debido al posible encubrimiento de la estratificación en el muestreo de 0-20 cm, se procedió a evaluar la estratificación del Pe para los diferentes sitios y años (Tabla 1). En todos los sitios se observaron disminuciones significativas en los niveles de Pe con la profundidad ($p<0,01$).

Tabla 3. Fósforo extraíble (Pe, Bray y Kurtz I, mg kg^{-1}) para cada año y sitio, según profundidad.

Profundidad (cm)	LOS			SAL			TOR		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015
0-20	18,8	13,0	16,0	17,4	38,5	14,1	16,4	21,7	16,9
0-5	38,1 a	30,9 a	34,1 a	55,8 a	75,9 a	42,2 a	42,8 a	46,8 a	37,7 a
5-10	23,6 b	6,7 b	12,5 b	15,6 b	48,2 b	22,2 b	22,9 b	11,7 b	19,0 b
10-15	7,0 c	2,8 c	5,9 c	2,8 c	22,4 c	11,5 c	4,0 c	1,9 c	6,3 c
15-20	5,7 c	1,7 d	3,5 d	1,7 c	6,0 d	4,4 d	2,4 c	0,6 d	4,3 c
5-20	12,1	4,0	7,3	6,7	25,5	12,7	9,8	4,7	9,9

Letras diferentes para cada sitio y año demuestran diferencias entre profundidades ($p<0,05$). LOS: Las Oscuras; SAL: Saldungaray; TOR: Tornquist.

En todos los sitios, los valores de Pe difirieron significativamente entre profundidades donde: 0-5 > 5-10 > 10-15 ≥ 15-20 cm. Al igual que lo encontrado por otros autores (Kruger, 1996; Calviño *et al*., 2000; Covacevich *et al*., 2008), en subsuperficie las concentraciones de Pe fueron muy bajas. Según Kruger (1996) la excesiva estratificación perjudicaría la nutrición de los cultivos en la región semiárida pampeana. Del mismo modo, Deubel *et al.* (2011) han establecido que en ambientes semiáridos, la captación de nutrientes por las plantas en la capa superficial del suelo está condicionada por la presencia de humedad, por lo que los nutrientes en superficie no serían totalmente aprovechables por los cultivos. Además, la importante acumulación de Pe en los 5 cm superiores del perfil podría provocar una importante pérdida de P del sistema por erosión hídrica o eólica (Bennett *et al.*, 2001). La concentración de Pe en 5-20 cm presentó importantes

variaciones entre sitios y años, siendo en el 67% de los casos inferior al nivel de suficiencia. Costa *et al*. (2010) y Kang *et al*. (2014) han demostrado que el aumento de la disponibilidad de P en capas subsuperficiales incrementa los rendimientos de grano y la eficiencia de uso del agua de trigo, a través del incremento del desarrollo de raíces en regiones semiáridas. Además, considerando que una estrategia para la agricultura en zonas semiáridas es aumentar la profundidad de siembra para lograr el contacto de la semilla con la humedad edáfica (Mahdi *et al*., 1998), la estratificación afectaría más severamente la disponibilidad de P para los cultivos.

Actividad microbiana y enzimática

La RESP y APA también presentaron importantes variaciones entre años y sitios ($p<0,01$). Dilustro *et al*. (2005) y Berhongaray *et al*. (2013) ya han reportado importantes cambios en la actividad de microorganismos heterótrofos en áreas geográficas pequeñas, asociados a la variación de la textura del suelo. Esta variación de la RESP en diferentes suelos del SOB bajo el mismo manejo podría tener importantes implicancias en el ciclado de nutrientes, como el P. Al igual que el Pe, la RESP y la APA presentaron importantes variaciones con la profundidad (Figura 1 y 2). Varios autores (Kay & VandenBygaart, 2002; Covacevich *et al*., 2008; Franzluebbers, 2016) ya han establecido que la estratificación de la MO en suelos bajo SD generalmente es acompañada por una distribución diferencial de los microorganismos en el perfil, lo que afectaría la disponibilidad de nutrientes para los cultivos.

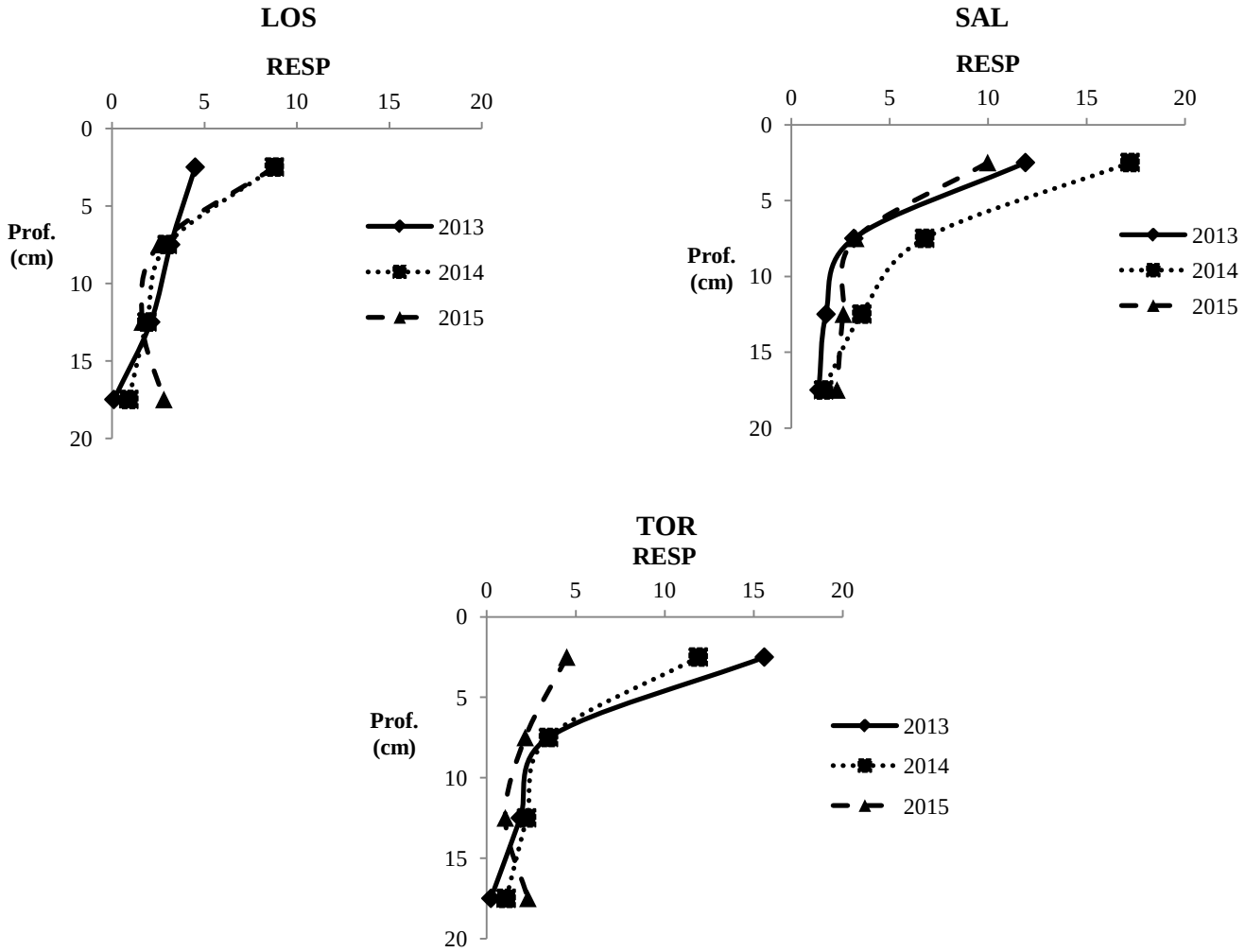


Figura 1. Actividad microbiana (RESP, mg CO_2 100 g suelo^{-1} día^{-1}) según profundidad, para cada sitio y año. LOS: Las Oscuras; SAL: Saldungaray; TOR: Tornquist.

La estratificación tanto de la RESP como de la APA demostró importantes variaciones entre sitios, lo que estaría influenciado por las condiciones edafoclimáticas de cada situación particular. Sin embargo, en todos los sitios evaluados, la estratificación de la APA fue de menor magnitud en comparación con RESP. En el caso de la respiración, entre el 46 y

73% se concentró en 5 cm superiores mientras que en los primeros 5 cm del perfil se concentró entre el 28 y 39% de la APA.

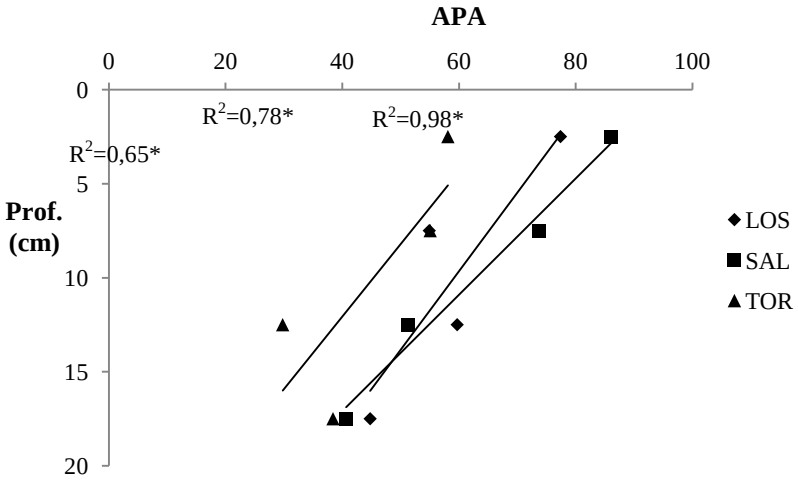


Figura 2. Actividad de la enzima fosfatasa ácida (APA, micromol PO_4^{3-} h^{-1} g $suelo^{-1}$) según profundidad, para cada sitio. LOS: Las Oscuras; SAL: Saldungaray; TOR: Tornquist. *: Regresión significativa (p<0,05)

Actualmente existe gran interés por dilucidar la relación entre la actividad enzimática del suelo y la disponibilidad de nutrientes (Franzluebbers, 2016). Sin embargo, son escasos los trabajos que evalúan la relación entre la APA y el Pe y se conoce poco acerca de sus implicancias para la disponibilidad de P (Wei *et al*., 2014; Faucon *et al*., 2015). Dada la influencia de la APA en el ciclado del P y la gran variabilidad observada entre sitios y profundidades, sería importante tener en cuenta la actividad de esta enzima cuando se requiere evaluar la disponibilidad de P para los cultivos.

Propiedades físicas

En la Tabla 2 se detallan la DA, porosidad total y la distribución por tamaño de poro de cada suelo, según profundidad. Los tres sitios presentaron baja proporción de macroporos en subsuperficie (10-20 cm) y un aumento de los poros de menor tamaño. Al respecto, varios autores han reportado la persistencia de limitantes físicas en subsuperficie en suelos del SOB bajo SD continua (Schmidt & Amiotti, 2015; López *et al*., 2016) que podría afectar la exploración y respiración radical (Hamblin, 1985; Kay, 1990). Coincidiendo con López *et al*. (2016) dichas limitantes físicas no pueden ser atribuidas al manejo de SD ya que podrían estar determinadas por el uso y manejo de suelo anterior a la implementación de la SD y la pérdida de materia orgánica. Sin embargo, la persistencia de estas limitantes físicas en subsuperficie en suelos bajo SD podría afectar la disponibilidad de P para los cultivos.

Tabla 2. Densidad aparente (DA, Mg m^{-3}), porosidad total (PT) y distribución por tamaño de poro en cada sitio.

Sitio	Prof.	DA	PT	MP	MPg	MPp	mP	µP
LOS	0-5	1,23	0,530	0,235	0,164	0,070	0,196	0,100
	5-10	1,49	0,441	0,147	0,101	0,046	0,193	0,101
	10-15	1,52	0,427	0,126	0,088	0,038	0,175	0,126
	15-20	1,52	0,422	0,093	0,063	0,030	0,190	0,139
SAL	0-5	1,14	0,553	0,190	0,119	0,071	0,233	0,130
	5-10	1,27	0,554	0,179	0,104	0,074	0,221	0,154
	10-15	1,36	0,493	0,129	0,080	0,049	0,189	0,175
	15-20	1,44	0,470	0,095	0,063	0,032	0,180	0,196
TOR	0-5	1,29	0,489	0,139	0,117	0,023	0,177	0,173
	5-10	1,46	0,461	0,103	0,082	0,021	0,164	0,193
	10-15	1,56	0,434	0,056	0,034	0,022	0,166	0,213
	15-20	1,53	0,444	0,045	0,026	0,019	0,185	0,213

LOS: Las Oscuras; SAL: Saldungaray; TOR: Tornquist. MP: macroporos (>30 µm); MPg: macroporos grandes (>60 µm); MPp: macroporos pequeños (60-30 µm); mP: mesoporos (30-0,2 µm); µP: microporos (<0,2 µm).

Para un adecuado desarrollo de los cultivos Pilatti *et al.* (2012) establecieron que la porosidad de aireación del suelo debería ser mayor de 0,15 m^3 m^{-3}. En ninguno de los sitios evaluados se observó esa proporción de MP en subsuperficie (10-20 cm). Esta baja proporción de poros de mayor tamaño (MP y mPg) podría afectar la disponibilidad de P para los cultivos, debido a una menor exploración radical. Según Hamza & Anderson (2005) la presencia de limitantes físicas en subsuperficie aumentaría la respuesta a la fertilización de los cultivos. Es probable que la alta respuesta a la fertilización fosfórica en los suelos evaluados esté influenciada por limitantes físicas, a pesar de contar con niveles adecuados de Pe en 0-20 cm. Además, hay que tener en cuenta que para el análisis de Pe se evalúa el suelo tamizado, por lo que no se tiene en cuenta la estructura y porosidad del suelo y la accesibilidad de los cultivos al P edáfico.

CONCLUSIONES

Los suelos del SOB con historia bajo SD presentarían una importante estratificación del Pe, RESP y APA. Esta distribución diferencial del Pe y microorganismos en el suelo podría afectar la disponibilidad de P para los cultivos. La fertilidad física de los suelos evaluados, con baja proporción de poros de mayor tamaño (MP y mPg) en capas subsuperficiales (10-20 cm), también podría afectar la accesibilidad de los cultivos al P edáfico. Estos factores podrían explicar la alta respuesta a la fertilización fosfórica en suelos que presentan valores de Pe en 0-20 cm por encima de los niveles de suficiencia. Es necesario generar mayor información que permita mejorar la gestión del P en suelos bajo SD de la región, así como definir nuevos parámetros que permitan evaluar de forma correcta la disponibilidad de P para los cultivos en estos suelos. Para la mejora en el manejo del P y la correcta evaluación de su disponibilidad sería necesaria una mirada sistémica teniendo en cuenta varias propiedades edáficas como la estratificación, el componente orgánico de los suelos y la fertilidad física.

BIBLIOGRAFÍA

- Bennett, EMM; SR Carpenter & NF Caraco. 2001. Human Impact on Erodable Phosphorus and Eutrophication: A Global Perspective. BioScie 3: 227-234.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk density. En: Klute, A (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. Agronomy. second ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 363–375.
- Bordoli, JM, Quincke A; Marchessi A. 2004. Fertilización fosfatada de trigo en siembra directa. CD Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Rios Argentina
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Scie 59: 39-45.
- Costa, SEVGA; ED Souza; I Anghinoni; JPC Flores; FCB Vieira; AP Martins & EVO Ferreira. 2010. Patterns in phosphorus and corn root distribution and yield in long-term tillage systems with fertilizer application. Soil Till. Res. 109, 41–49.
- Covacevich, F; H Sainz Rozas; P Barbieri & H Echeverría. 2008. Crecimiento y micorrización arbuscular nativa de trigo en siembra directa bajo distintas formas de colocación de fósforo. Ciencia del suelo 26 (2), 169-175.
- Darilek, JL; W Sun & B Huang. 2011. Effect of Moisture Conditions in Rice Paddies on Phosphorus Fractionation in Agriculture Soils of Rapidly Developing Regions of China. Communications in Soil Scie Plant Anal 42, 1752-1764.
- Di Rienzo JA; F Casanoves F; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar
- Dodd, RJ & AN Sharpley. 2015. Recognizing the role of soil organic phosphorus in soil fertility and water quality. Resour Conserv Recycl. 105, 282–293.
- Faucon, M; D Houben; JP Reynoird; AM Mercadal-Dulaurent; R Armand & H Lambers. 2015. Advances and Perspectives to Improve the Phosphorus Availability in Cropping Systems for Agroecological Phosphorus Management. Adv. Agron.134: 51-79.
- Franzluebbers, AJ. 2016. Should Soil Testing Services Measure Soil Biological Activity?. Agricultural & Environmental Letters. doi:10.2134/ael2015.11.0009
- García, F.; Fabrizzi, K, Ruffo, M. & P Scarabicchi. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. Actas VI Congresoo Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina
- German DP; Weintraub MN & Grandy AS. 2011. Optimization of hydrolytic and oxidative enzyme methods for ecosystem studies. Soil Biol Biochem 43: 7-1397.

- Gupta, SC & RR Allmaras.1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. Adv Soil Scie 6: 65-100.
- Hamblin, AP. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. Adv. Agron. 38: 95-158.
- Hassink, J; LA Bouwman; KB Zwart & L Brussaard. 1993. Relationships between habitable pore space, soil biota and mineralization rates in grassland soils. Soil Biol. Biochem. 25: 47-55.
- Haynes, RJ. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview. Adv Agron 85: 221-268.
- Kang, L; S Yue & S Li. 2014. Effects of phosphorus application in different soil layers on root growth, yield, and water-use efficiency of winter wheat grown under semi-arid conditions. J Integr Agric 13(9): 2028-2039
- Kay, BD & AJ Van den Bygaart. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. Soil Till Res 66: 107–118.
- Kay, BD. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. Adv. Soil Sci, 12: 1-52.
- Klute, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. En: Klute, A (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy Monograph N°9. Pp. 597-618. Am Soc Agron Soil Sci Soc Am, Madison, Wisconsin, Estados Unidos.
- Kruger, HR. 1996. Sistemas de labranza y variación de propiedades químicas en un haplustol entico. Ciencia del Suelo 14: 53-55.
- Kuo, S; B Huang & R Bembenek. 2005. Effects of long-term phosphorus fertilization and winter cover cropping on soil phosphorus transformations in less weathered soil. Biol Fertil Soils 41: 116-123.
- Loewy, T. 2002. Estrategias de fertilización fosfórica en la región pampeana argentina. En: Simposio de fósforo: enfoque sistémico de la fertilización fosfórica, 16-18.
- López, FM; ME Duval; JM Martínez & J Galantini. 2015. Cobertura en el sudoeste bonaerense en suelos bajo siembra directa. Ciencia del Suelo 33 (2): 273-281.
- Mahdi, L; CJ Bellb & J Ryan. 1998. Establishment and yield of wheat after early sowing at various depths in a semi-arid Mediterranean environment. Field Crops Res 58, 187-196.
- Pilatti, MA; J De Orellana; SDC Imhoff & A Pires Da Silva. 2012. Actualización de los límites críticos del intervalo hídrico óptimo. Ciencia del Suelo 30 (1): 9-21.
- Ron, M. 2012. Gestión del fósforo en sistemas agropecuarios del sudoeste bonaerense. AgroUNS N°17, 9-12.
- Ron, MM & T Loewy. 1990. Fertilización fosfórica del trigo en el sudoeste bonaerense: I Modelos de respuesta. Ciencia del Suelo 8 (2): 187-194.
- Ron, MM & T Loewy. 2000. Modelo de fertilización nitrogenada y fosforada para trigo en el sudoeste bonaerense, Argentina. Ciencia del Suelo 18 (1): 44-49.
- Schmidt, ES & NM Amiotti. 2015. Propiedades edáficas superficiales en sistemas de agricultura de conservación en la región pampeana semiárida sur. Ciencia del Suelo 33 (1): 79-88.
- Stutter, MI; CA Shand; TS George; MSA Blackwell; L Dixon; R Bol; RL Mackay; AE Richardson; LM Condron & PM Haygarth. 2015. Land use and soil factors affecting accumulation of phosphorus species in temperate soils. Geoderma 257–258, 29–39.
- Stutter, MI; CA Shand; TS George; MSA Blackwell; R Bol; RL Mackay; AE Richardson; LM Condron; BL Turner & PM Haygarth. 2012. Recovering phosphorus from soil — a root solution? Environ. Sci. Technol. 46, 1977–1978.
- USGS. 2016. https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2016-phosp.pdf (último acceso, Febrero de 2017)
- Zibilske LM. 1994. Carbon Mineralization. In: Methods of soil analysis, Part 2, Microbiological and Biochemical Properties. Weaver *et al*. (eds.). Soil Sci. Soc. of America Inc., Wisconsin, USA. Pp. 835-863.
- Zilio, J. 2015. Aspectos de calidad de suelos representativos del sur de la provincia de Buenos Aires y efectos de la actividad agropecuaria sobre la misma. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, 100 pp.

C3P52. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA (DOSIS X MOMENTO) SOBRE LA CALIDAD DEL GRANO DE TRIGO PAN

Manlla, Amalia; Castellarín, Julio y Magnano Luciana

Estación Experimental INTA Oliveros, Ruta Nacional Nº 11, Km 353. Oliveros, Santa Fe. Argentina. manlla.amalia@inta.gob.ar

RESUMEN

Mediante un óptimo manejo de la fertilización nitrogenada (dosis x momentos) y una correcta elección de cultivar según condición ambiental es posible alcanzar altos rendimientos en el cultivo de trigo y buena calidad comercial. Los objetivos de este trabajo fueron: a) estimar la brecha de rendimiento entre el máximo rendimiento alcanzable (RP) y el máximo rendimiento esperable en secano (REs) según variedad, y b) evaluar los parámetros de calidad: peso hectolítrico (PH), porcentaje de proteína (% Prot) y contenido gluten húmedo (% GH) en dos grupos de calidad industrial (GC). El experimento se realizó en Oliveros SE Santa Fe, sobre un suelo Argiudol Típico serie Maciel. Las variedades sembradas el 16/06/16 fueron Klein Serpiente y Sursem Lapacho (de ciclo largo y Grupo de Calidad 2 y 3). El diseño experimental fue de parcelas divididas en bloques con cuatro repeticiones, donde la parcela principal es la variedad y la subparcela el tratamiento de dosis y momento de fertilización con Nitrógeno (N). Estos fueron: **T1**: 180 kgN.ha^{-1}macollaje + 20 kgN.ha^{-1} Antesis; **T2:** 200 kgN.ha^{-1}macollaje; **T3:** 90 kgN.ha^{-1} macollaje + 20 kgN.ha^{-1}. Antesis; **T4:** 110 kgN.ha^{-1} macollaje; **T5:** 20 kgN.ha^{-1}^{1} macollaje; **T6:** testigo. Todos los tratamientos se realizaron bajo dos condiciones hídricas (riego: R y secano: S). A cosecha se calculó rendimiento (kg.ha^{-1}) corregido al 14 % de humedad, PH (kg.100 l^{-1}), % Prot y % GH. Según cultivar y condición hídrica hubo diferencias estadísticamente significativas para rendimiento. El máximo RP y REs lo obtuvo Klein Serpiente con 7812 kg. ha^{-1} y 7.130 kg. ha^{-1}, en el T1 dando una brecha del 10%. Entre los niveles de N hubo diferencias estadísticamente significativas; se observó que bajo R en el T1 el rendimiento presento un incremento de 3177 kg.ha^{-1} respecto del T6, mientras que en S este incremento fue de 2838 kg.ha^{-1}. En los T1 y T2 no hubo diferencias significativas respecto al momento de aplicación del N. En tanto que el T5 versus del T6 manifestó una respuesta de 856 kg.ha^{-1} (R) y de 1000 kg.ha^{-1}^{1} (S). Según la condición hídrica hubo diferencias significativas en el % Prot y el PH, no así para % GH. Las variedades presentaron similar concentración de proteínas (9,9 – 10,1%) y de % GH (22,7-23,4 %). El PH disminuyo a medida que las dosis de N se redujeron; los T1, T2 y T3 fueron los que se diferenciaron del resto (valores más altos) en ambas condiciones hídricas. Los máximos rendimientos alcanzados se obtuvieron con el GC 2 y en el T1. La brecha de rendimiento (RP – REs) fue del 10%. No hubo diferencias en la concentración de proteínas y de gluten húmedo entre variedades; los valores logrados para estos parámetros comercial e industrialmente son considerados bajos. Las dosis de N y momento de aplicación no tuvieron un efecto claro sobre estos parámetros, debido a la "dilución" de la concentración de N en los granos por los altos rendimientos alcanzados, las abundantes precipitaciones durante el periodo de llenado de granos y la mayor extensión de dicho periodo.

Palabras claves: rendimiento potencial, calidad comercial, nitrógeno

C3P53. TECNOLOGÍAS DE FERTILIZACIÓN CON ZINC EN MAÍZ

Martínez Cuesta, Nicolás; Carciochi, Walter.; Sainz Rozas, Hernán; Eyherabide, Mercedes; Wyngaard, Nicolás; Colazo, Juan Cruz; Ferraris, Gustavo; Salvagiotti, Fernando& Barbieri, Pablo.

CONICET, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Ruta 226 km 73.5. Balcarce. Buenos Aires. Argentina. martinezcuesta.n@inta.gob.ar

RESUMEN

La disponibilidad de zinc (Zn) ha disminuido en los suelos de la Región Pampeana (RP) y, en consecuencia, se han reportado respuestas a la aplicación de este micronutriente en maíz. La combinación de distintas, dosis, fuentes y métodos de aplicación del fertilizante genera diferentes tecnologías de fertilización (TF). La TF, además de impactar sobre el rendimiento, también puede afectar la concentración de Zn en grano (biofortificación agronómica), variable relevante si se tiene en cuenta que un tercio de la población mundial sufre de deficiencias de Zn. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes TF con Zn (Suelo, Semilla y Foliar) sobre el rendimiento de maíz y la concentración de Zn en grano. Para ello se realizaron cinco experimentos, en el noroeste (Tilisarao-San Luís), norte (Oliveros-Santa Fe), centro (Pergamino-Bs As) y sureste (Balcarce-Bs As) de la RP. El diseño experimental fue en BCA con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: Testigo= control sin aplicación de Zn; Semilla= 0,3 kg ha^{-1} de Zn aplicado con la semilla; Foliar= 0,7 kg ha^{-1} de Zn aplicado foliar en V6-V7 y Suelo= 2,1 kg ha^{-1} de Zn aplicado en bandas al suelo. Se observó respuesta a la aplicación de Zn en 4 de los 5 sitios, siendo la misma de 0,9 Mg ha^{-1}. La respuesta a la aplicación de Zn se debió a un aumento en el número de granos, mientras que el peso de los mismos no se vio afectado. Por su parte, la concentración de Zn en grano solo se vio afectada por el sitio. De este modo, la mayor exportación de Zn en grano debido a la fertilización con el nutriente se debió a efectos sobre en el rendimiento en grano más que en la concentración del nutriente. Todas las TF con Zn generaron un saldo positivo en el balance de Zn en el suelo.

Palabras claves: fertilidad, micronutrientes.

INTRODUCCIÓN

El zinc (Zn) es un micronutriente esencial para el crecimiento y reproducción de las plantas. En las plantas, el Zn tiene un rol clave como cofactor regulador de enzimas y es precursor del triptófano y del ácido indol-acético (hormona auxina) (Alloway, 2008). El maíz (*Zea mays L.*) es uno de los cultivos extensivos más susceptibles a la deficiencia de Zn (Brown *et al.*, 1993). Los síntomas de deficiencia de Zn en maíz se presentan como una clorosis internerval en la lámina. En los suelos agrícolas de la Región Pampeana (RP) la disponibilidad de Zn ha disminuido entre un 70% respecto de sus niveles iniciales (Sainz Rozas *et al.*, 2015). En este contexto, algunos estudios muestran respuesta al agregado de Zn en cultivos como soja (Martínez Cuesta *et al.*, 2016), trigo (Salvagiotti *et al.*, 2012) y maíz (Barbieri *et al.*, 2017).

La combinación de distintas dosis, fuentes y métodos de aplicación del fertilizante genera diferentes tecnologías de fertilización (TF), cada una de las cuales tiene ventajas y desventajas. La aplicación al suelo permite aplicar dosis altas y generar residualidad del nutriente, aunque su interacción con el suelo puede reducir su disponibilidad, principalmente en suelos con presencia de carbonato de calcio ($CaCO_3$) y pH alcalinos (Cakmak, 2008). El tratamiento de la semilla, permite distribuir pequeñas cantidades de manera uniforme, pero presenta las desventajas de que sólo se pueden aplicar bajas dosis (Prystupa *et al.*, 2012) y que puede producir toxicidad sobre las raíces y las bacterias de los inoculantes (García, 2005). Para la fertilización foliar se utilizan fertilizantes solubles en agua que pueden ser aplicados junto con otros agroquímicos como herbicidas, insecticidas o fungicidas (Ferraris, 2011). A su vez, la aplicación foliar evita las interacciones con el suelo. La desventaja es que tiene mayor dependencia de las condiciones ambientales para su aplicación (Martens & Westermann, 1991).

Por otro lado, un tercio de la población mundial sufre de deficiencias de Zn (Hotz & Brown, 2004). La aplicación de Zn para aumentar la concentración del nutriente en el grano (biofortificación agronómica) proporciona una solución rápida al problema y representa un enfoque complementario para los programas de mejoramiento (Cakmak, 2008). Por lo tanto, es imprescindible determinar cómo las distintas TF afectan el rendimiento y la calidad del grano.

La producción de cultivos debe aumentar un 60% para 2050 para hacer frente al aumento de la demanda de alimentos, y además, se debe aumentar la calidad nutricional de los mismos. Actualmente, en Argentina la brecha de rendimiento de maíz en secano es del 41% (Aramburu Merlos *et al.*, 2015). Una adecuada nutrición con macro, meso (N,

P y S) y micronutrientes (en particular de Zn) pueden contribuir a reducir dicha brecha. Para este último elemento existe poca información del impacto de la TF sobre el rendimiento y la calidad de grano en maíz. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes TF sobre las variables mencionadas en diferentes ambientes de la RP.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo cinco experimentos durante las campañas 2014/15 (n = 3) y 2015/16 (n = 2), en el noroeste (Tilisarao-San Luís), norte (Oliveros-Santa Fe), centro (Pergamino-Buenos Aires) y sureste (Balcarce-Buenos Aires) de la RP. Estas áreas geográficas fueron seleccionadas para obtener una amplia gama de condiciones edáficas. El diseño experimental fue en BCA con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: Testigo = control sin aplicación de Zn; Semilla = 0,3 kg ha^{-1} de Zn aplicado por la semilla (Teprosyn®, ZnO, 600 g l^{-1}); Foliar = 0,7 kg ha^{-1} de Zn aplicado foliar (Zintrac®,ZnO, 700 g l^{-1}) en V6-V7 (Ritchie & Hanway, 1982), y Suelo = 2,1 kg ha^{-1} de Zn aplicado en bandas al suelo ($ZnSO_4$). Todos los experimentos se realizaron bajo siembra directa. Se fertilizaron todas las parcelas con nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), como urea (46% N), superfosfato triple (20% P) y yeso (18% S) para garantizar la suficiencia de estos nutrientes. La densidad de siembra (60000 - 80000 semillas ha^{-1}), la distancia entre hileras (52 - 70 cm) y la fecha de siembra (Octubre - Diciembre) fueron seleccionadas para maximizar el rendimiento de maíz y variaron entre sitios.

A la siembra del cultivo se tomaron muestras de suelo (0-20 cm) en cada uno de los bloques. Las muestras fueron secadas a 30 °C, molidas y tamizadas por 2 mm. Para caracterizar el sitio experimental, se determinaron parámetros químicos: reacción del suelo (pH) (1:2,5), materia orgánica (MO) (Walkley & Black, 1934), fósforo extractable (Bray & Kurtz, 1945) y Zn disponible extraído con ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA), según la metodología propuesta por Lindsay & Norwell (1978). En la Tabla 1 se muestran dichas propiedades edáficas.

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo de cada sitio a la siembra de los cultivos (0-20 cm).

	Balcarce 14/15	Pergamino 14/15	Balcarce 15/16	Tilisarao 15/16	Oliveros 15/16
Tipo de suelo (USDA)	Argiudol típico	Argiudol típico	Argiudol típico	Haplustol éntico	Argiudol típico
MO (g kg^{-1})	44,0	33,6	66,0	17,0	30,3
pH	5,9	5,5	5,5	8,1	6,1
P-Bray (mg kg^{-1})	19,6	21,3	23,5	14,7	6,4
Zn-DTPA (mg kg^{-1})	0,98	1,15	2,00	0,23	0,86

Materia orgánica (MO), pH, fósforo extractable Bray (P-Bray) y zinc extractable con DTPA (Zn-DTPA).

En madurez fisiológica (R6) (Ritchie & Hanway, 1982), se cosechó el cultivo y se determinó el rendimiento en grano al 14% de humedad. Una muestra de granos de cada parcela fue secada en estufa a 60 °C hasta peso constante para calcular el peso de mil granos (PMG). Muestras de grano, secas y molidas, fueron sometidas a una digestión nítrico-perclórica (1:1) (Benton Jones, 1991) y la concentración de Zn en el digesto fue determinada mediante espectrofotometría de absorción atómica. La exportación de Zn en grano fue calculada como la concentración de Zn en grano multiplicada por el rendimiento (0% de humedad).

Se realizaron análisis de modelos mixtos utilizando el procedimiento PROC MIXED incluido en el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS Institute, 1985). Los tratamientos y los sitios fueron considerados como efectos fijos y los bloques como aleatorios. Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de significancia del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

En la Tabla 2 se presenta la precipitación acumulada y la temperatura media durante las temporadas de cultivo. La precipitación total fue de 287, 358 y 209 mm en Balcarce 14/15, Balcarce 15/16 y Tilisarao 15/16, respectivamente; siendo la misma menor que la evapotranspiración del cultivo (aproximadamente 500 mm). Sin embargo, en Balcarce 14/15 y 15/16, los eventos de lluvia registrados durante el período crítico de determinación del rendimiento (finales de enero - principios de febrero, dependiendo del sitio) permitieron obtener buenos rendimientos. Por su parte, en Tilisarao se produjo un estrés pronunciado durante febrero (Tabla 2), coincidiendo con la floración del cultivo, período en el cual la disponibilidad de agua es crucial para obtener altos rendimientos (Andrade *et al.*, 2002). En Oliveros, se registraron eventos de lluvia escasa y desequilibrada durante el período crítico (finales de diciembre - principios de enero). Por lo

tanto, el rendimiento del grano de maíz en estos sitios (Tilisarao y Oliveros) se vio afectado por la disponibilidad de agua. La temperatura media y la radiación fueron similares al registro histórico para cada sitio y no afectaron negativamente el crecimiento del cultivo (datos no mostrados).

Tabla 2. Precipitación mensual (PP) (mm) y temperatura media promedio (T) (°C) durante la temporada de cultivo del maíz en los sitios experimentales.

Sitio	Balcarce 14/15		Pergamino 14/15		Balcarce 15/16		Tilisarao 15/16		Oliveros 15/16	
Mes	PP	T	PP	T	PP	T	PP	T	PP	T
Oct									42,3	18,0
Nov	79,2	18,2	78,0	21,4	81,3	17,3			89,8	21,4
Dic	67,5	20,8	183,0	22,0	10,5	21,1	56,9	25,0	104,8	24,9
Ene	30,7	20,3	175,2	22,3	77,6	21,7	151,9	26,7	70,5	26,8
Feb	105,7	20,9	37,0	21,6	136,9	21,8	0	26,1	389,8	26,1
Mar	3,9	20,4	48,4	20,3	52	17,7	0	21,5		
Total	287,0		521,6		358,3		208,8		697,2	

Respuesta a la fertilización con zinc

A través de los sitios, el rendimiento varió de 3,7 a 15,6 Mg ha^{-1} (Figura 1). El rendimiento promedio, a través de los sitios, para el tratamiento testigo fue de 8,8 Mg ha^{-1} y para el tratamiento con Zn aplicado fue de 9,7 Mg ha^{-1}, con una respuesta promedio de 0,9 Mg ha^{-1}. No obstante, para la variable rendimiento se observó interacción sitio x tratamiento, dado que se observó respuesta a la aplicación de Zn en 4 de los 5 sitios (Tabla 3). A su vez, Pergamino 14/15 y Balcarce 15/16 tuvieron mayores rendimientos en grano que Balcarce 14/15, Tilisarao 15/16 y Oliveros 15/16 como consecuencia de condiciones climáticas más favorables (Figura 1). No se determinó respuesta en rendimiento en Balcarce 15/16 porque el contenido de Zn-DTPA en el suelo (2 mg kg^{-1}) estuvo por encima del rango crítico (0,9-1,3 mg kg^{-1}) determinado por Barbieri *et al.* (2017). En Tilisarao 15/16 y Oliveros 15/16 se obtuvo un mayor rendimiento mediante la aplicación al Suelo (Figura 1). Esto puede deberse a que en Tilisaro 15/16 y Oliveros 15/16 el contenido de Zn-DTPA fue inferior al rango crítico reportado por Barbieri et al. (2017) y, bajo esta condición, la aplicación de una dosis alta al suelo puede ser ventajosa respecto a las otras TF por un mayor crecimiento de raíces (Kumar *et al.*, 2016). Similar a lo determinado por Barbieri *et al.* (2017), la respuesta a la fertilización con Zn no se asoció con el rendimiento máximo ($p > 0,32$; datos no mostrados). El incremento de rendimiento por la aplicación de Zn se debió a un aumento en el número de granos (NG) (Tabla 3), en línea con lo informado por Potarzycki & Grzebisz (2009), mientras que el PMG no se vio afectado por la fertilización con Zn (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de la varianza para rendimiento y sus componentes: peso de mil granos (PMG) y número de granos (NG); concentración de Zn en grano y exportación de Zn considerando sitio y tratamiento como fuentes de variación.

	Pr > F				
	Rendimiento	PMG	NG	Concentración de Zn	Exportación de Zn
Sitio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Tratamiento	<0,001	0,5233	0,0028	0,6293	0,0221
Sitio*Tratamiento	0,0014	0,1961	0,0014	0,2285	0,0633

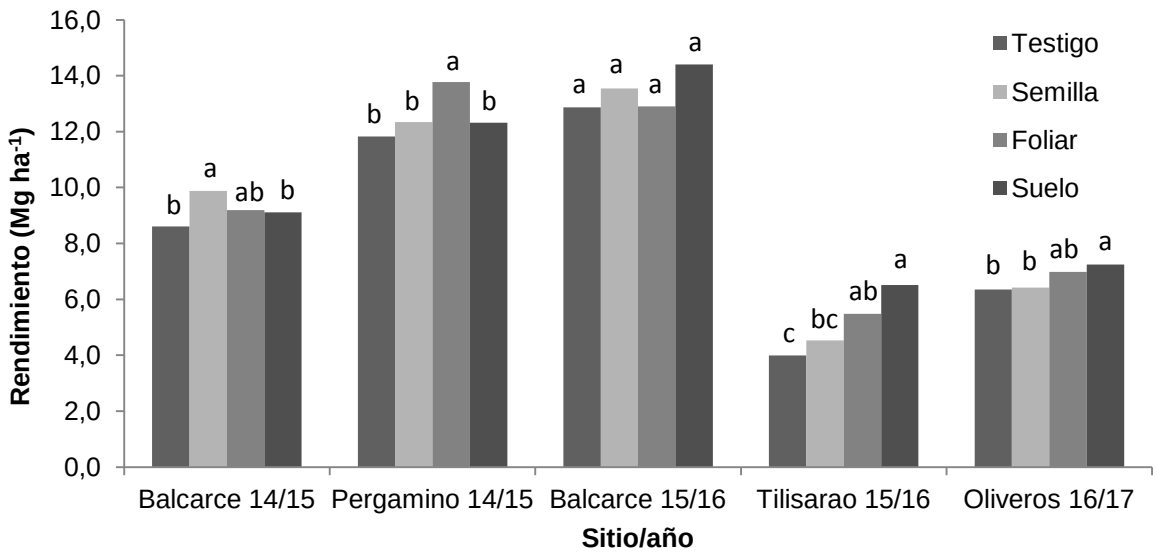


Figura 1. Rendimiento (Mg ha^{-1}) para cada sitio experimental afectado por la tecnología de fertilización con Zn. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según LSD test (α=0,05).

Concentración de zinc en grano

La concentración de Zn solo se vio afectada por el sitio (Tabla 3). Oliveros mostró una mayor concentración de Zn en grano en comparación con los otros sitios (Figura 2). Esto puede haber sido causado por el menor rendimiento de grano. El efecto significativo del sitio sobre la concentración de Zn en el grano puede ser consecuencia de los diferentes híbridos usados. Oikeh *et al.* (2003) y Prasanna *et al.* (2011) revelaron un efecto significativo del genotipo sobre la concentración de Zn del grano de maíz que varió entre 15 y 53 mg kg^{-1}. La fertilización con Zn no aumentó la concentración de Zn en el grano (Tabla 4). En todos los sitios la concentración de Zn en grano de los tratamientos testigo fue mayor al umbral crítico (18 mg kg^{-1}) determinado para maíz por Rashid & Fox (1992) (Figura 2). Este hecho sugiere la necesidad de validar el umbral mencionado para las condiciones productivas de RP y los híbridos actuales.

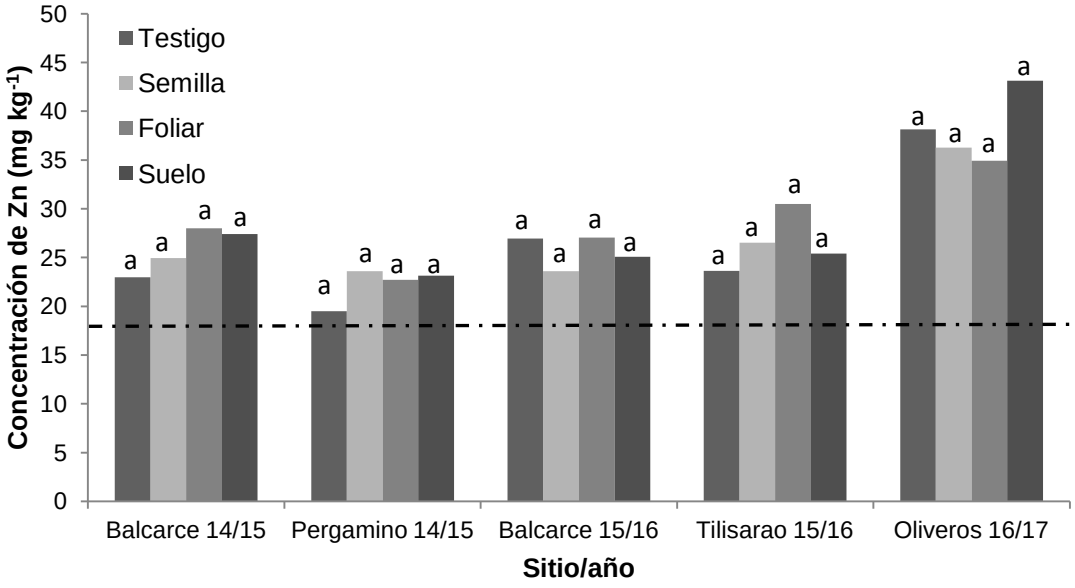


Figura 2. Concentración de Zn en grano (mg kg^{-1}) en los sitios experimentales. La línea punteada indica el umbral crítico de concentración de Zn en grano reportado por Rashid & Fox. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según LSD test (α=0,05).

Exportación de zinc

No hubo una interacción significativa sitio x tratamiento sobre la exportación de Zn (Tabla 3). La exportación de Zn en grano aumentó a medida que la dosis aplicada se incrementó de acuerdo con la TF de Zn (Tabla 4). La exportación de Zn en grano se vio afectada por el sitio (Tabla 3). La fertilización con Zn aumentó la exportación de Zn principalmente debido a las diferencias en el rendimiento en grano más que en la concentración del nutriente (Tabla 3). Todas las TF generarían un enriquecimiento de Zn en el suelo, aunque el tratamiento Suelo mostró el mayor ingreso de Zn (Tabla 4). Estos resultados sugieren que si se utiliza una filosofía de suficiencia, la aplicación a la Semilla sería la más adecuada, mientras que si se busca reconstruir el nivel de Zn disponible rápidamente, la aplicación al Suelo sería la TF más apropiada.

Tabla 4. Exportación de Zn en granos (promedio de 5 sitios) y balance de Zn (diferencia entre la dosis aplicada y la exportación de Zn). Letras iguales dentro de una misma columna indican diferencias no significativas según LSD test (α=0,05).

Tratamiento	Exportación de Zn (g ha^{-1})	Dosis (g ha^{-1})	Balance de Zn (g ha^{-1})
Testigo	193 a	0	-193
Semilla	206 a	300	94
Foliar	225 a	700	475
Suelo	241 a	2100	1859

CONCLUSIONES

Las deficiencias de Zn en el cultivo de maíz se pueden corregir aplicando Zn a la Semilla, Foliar o al Suelo. Las aplicaciones al Suelo fueron más apropiadas para corregir las deficiencias de Zn cuando el contenido de Zn-DTPA es bajo, mientras que la aplicación de Zn a la Semilla y Foliar puede aliviar las deficiencias de Zn cuando el Zn-DTPA se encuentra dentro del rango de suficiencia. La concentración de Zn en grano no fue afectada por ninguna de las TF mientras que el mayor efecto residual de Zn se lograría con la aplicación de dosis elevadas al Suelo. Los resultados de este estudio son útiles para optimizar la fertilización con Zn y aumentar el rendimiento en grano de maíz en diferentes áreas de la RP.

BIBLIOGRAFÍA

- Alloway, BJ. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. Segunda edición, IZA e IFA, Bruselas, Bélgica y París, Francia. 137 p.
- Andrade, F. & V Sadras. 2002. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. INTA Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP, Buenos Aires, Argentina. 450 p.
- Aramburu Merlos, F; J Monzon; J Mercau; M Taboada; F Andrade; A Hall; E Jobbagy; K.G Cassman & P Grassini. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. Field Crops Research 184: 145–154.
- Barbieri, PA.; HR. Sainz Rozas; N Wyngaard; M Eyherabide; NI Reussi Calvo, F Salvagotti; AA Correndo; PA Barbagelata; GP Espósito Goya; J. Colazo & HE Echeverría. 2017. Can edaphic variables improve dtpa-based zinc diagnosis in corn? Soil Sci. Soc. Am. J. doi:10.2136/sssaj2016.09.0316
- Benton Jones, J Jr. 1991. Plant Tissue Analysis in Micronutrients. In: J.J. Mortvedt et al., editors, Micronutrients in agriculture. 2nd ed. SSSA Book Ser. 4. SSSA, Madison, WI. p. 371-425.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science. 59:39-45.
- Brown, PH; I Cakmak & Q Zhang. 1993. Form and Function of Zinc Plants. In: Robson, A.D. (eds) Zinc in Soils and Plants. Developments in Plant and Soil Sciences, vol 55. Springer, Dordrecht
- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? Plant Soil. 302:1-17.
- Ferraris, GN. 2011. Micronutrientes en cultivos extensivos. ¿Necesidad actual o tecnología para el futuro? En: Simposio Fertilidad 2011: García, F.O. & A.A. Correndo (Eds.). La nutrición de cultivos integrada al sistema de

producción. Actas Simposio Fertilidad 2011. 18 y 19 de Mayo del 2011. Rosario, Santa Fe, Argentina, IPNI Cono Sur - Fertilizar AC: 121-133.

- García, FO. 2005. Soja: criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. Informaciones Agronómicas N° 27, INPOFOS Cono Sur.
- Hotz, C. & KH Brown. 2004. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. Food Nutrition Bulletin 25:94–204.
- Kumar, R; JS Bohra; N Kumawat; A Kumar; A Kumari & AK Singh. 2016. Root growth, productivity and profitability of baby corn (*Zea mays L.*) as influenced by nutrition levels under irrigated ecosystem. Res. Crops, 17(1), 41-46.
- Lindsay, WL & WA Norwell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and cooper. Soil Science Society of America Journal, 42:421-428. Madison, USA.
- Martens, DC & DT Westermann. 1991. Fertilizer application for correcting micronutrient deficiencies. In: Mortvedt, J.J. et al., editors, Micronutrients in agriculture. 2nd ed. SSSA Book Ser. 4. SSSA, Madison, WI. p. 549-592.
- Martínez Cuesta, N; W Carciochi; H Sainz Rozas; P Barbieri; S Silva; F Salvagiotti & G Ferraris. 2016. Tecnologías de fertilización con cinc en soja: efecto sobre su eficiencia de uso. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 27 de junio a 1 de agosto, Rio Cuarto, Córdoba, Argentina. Actas y CD. p. 208.
- Oikeh, SO; A Menkir; B Maziya-Dixon; R Welch & RP Glahn. 2003. Assessment of concentrations of iron and zinc and bioavailable iron in grains of early-maturing tropical maize varieties. Journal of agricultural and food chemistry, 51(12), 3688-3694.
- Potarzycki, J. & W Grzebisz. 2009. Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. Plant Soil Environ, 55(12), 519-527.
- Prasanna, BM; S Mazumdar; M Chakraborti; F Hossain; KM Manjaiah; PK Agrawal; SK Guleria & HS Gupta. 2011. Genetic variability and genotype x environment interactions for kernel iron and zinc concentrations in maize (Zea mays) genotypes. Indian Journal of Agricultural Sciences, 81 (8): 704-11.
- Prystupa, P.; M Torres Duggan & GN Ferraris. 2012. Tecnología de aplicación de micronutrientes en la Región Pampeana Argentina. Archivo Agronómico Nº 14, Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, IPNI, Nº 5. pp. 2-8.
- Rashid, A. & RL Fox. 1992. Evaluating internal zinc requirements of grain crops by seed analysis. Agron. J. 84:469-474.
- Ritchie, S. & JJ Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. Technol. Spec. Rep., 48 P.
- Sainz Rozas, H.; M Puricelli; M Eyherabide; PA Barbieri; HE Echeverría; NI Reussi Calvo & JP Martínez. 2015. Available zinc levels in soils of Argentina. Int. J. Agron. Agric. Res, 7(5), 59-71.
- Salvagiotti, F.; J Castellarín & F Ferraguti. 2012. Respuesta a la fertilización con zinc y boro en el cultivo de trigo en el sur de Santa Fe. Para mejorar la producción número 47 - INTA EEA Oliveros.
- SAS Institute. 1985. SAS user´s guide. Statistics. Vers. 5. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Walkley, A. & IA Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37:29-37.

C3P54. RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN CON BORO EN MAÍZ

Martínez Cuesta, Nicolás; Wyngaard, Nicolás; Sainz Rozas, Hernán; Eyherabide, Mercedes; Carciochi, Walter.y Barbieri, Pablo.

CONICET, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Ruta 226 km 73.5. Balcarce. Buenos Aires. Argentina. martinezcuesta.n@inta.gob.ar

RESUMEN

El boro (B) es un micronutriente esencial para el maíz (*Zea mays* L.). Recientemente se demostró que la actividad agrícola redujo los niveles de B disponible en los suelos de la Región Pampeana. Debido a la importancia del maíz en los sistemas productivos de Argentina y la falta de información sobre respuesta a la aplicación de B resulta de interés evaluar la respuesta del maíz a la fertilización con B en ensayos a campo y explorar la asociación entre el B extractable en agua caliente (BAC) con el pH y el contenido de materia orgánica (MO). Para ello se realizaron 27 ensayos de maíz en secano y bajo siembra directa, donde se evaluaron dos tratamientos: un testigo (sin aplicación de B) y un fertilizado (aplicación foliar de B en V6). Solo hubo respuesta significativa en 2 de los 27 sitios, lo que no permitió ajustar un umbral crítico de BAC para maíz. Se determinó una asociación significativa pero débil entre BAC y MO ($r = 0,55$), mientras que, no se observó relación entre BAC y el pH ($r < 0,01$). Estos resultados permiten inferir que la inclusión del contenido de MO y el pH a un modelo de regresión múltiple podrían mejorar la predicción de la respuesta mediante BAC.

Palabras claves: micronutrientes; pH; materia orgánica

INTRODUCCIÓN

El boro (B) es un micronutriente esencial para las plantas, cuyo rol primario está relacionado al mantenimiento de la estabilidad estructural de la pared celular (Havlin *et al.*, 2005). Por este motivo, en condiciones de deficiencia de B, la expansión celular es limitada. Esta limitación afecta el crecimiento del tubo polínico (Lordkaew *et al.*, 2011), que es fundamental para el desarrollo de los granos y determinante del rendimiento de los cultivos. Entre los cultivos cuyo rendimiento es afectado negativamente por la deficiencia de B se encuentra el maíz (*Zea mays* L.) (Berger *et al*., 1957).

El método más difundido para evaluar la disponibilidad de B en el suelo es el método de boro extractable con agua caliente (BAC) (Gupta & Stewart, 1975). El rango típico del umbral crítico de BAC por debajo del cual el rendimiento de los cultivos se ve afectado varía entre 0,1 y 2,0 mg kg^{-1} (Sims & Johnson, 1991) según las condiciones edafo-climáticas. Debido a la inexistencia de un umbral de BAC para maíz, surge la necesidad de realizar ensayos de calibración a campo.

Dentro de las propiedades del suelo que afectan la disponibilidad de B, el contenido de materia orgánica (MO) se asocia positivamente con la disponibilidad de B (Havlin *et al.*, 2005). Debido al alto contenido prístino de MO de los suelos de la región pampeana (RP), no se observaba respuesta a la fertilización con B. Sin embargo, la intensificación agrícola en la RP ha llevado a un descenso del contenido de MO de sus suelos (Sainz Rozas *et al.*, 2011). Esta reducción del contenido de MO ha derivado en un descenso del contenido de B disponible (31%) a niveles que, en algunos casos, son inferiores a los umbrales de deficiencia descriptos en bibliografía internacional (Sainz Rozas *et al.*, 2012).

Otra propiedad del suelo que afecta la disponibilidad de B es el pH, pero a diferencia de la MO, el incremento de pH provoca un descenso de la disponibilidad de B (Havlin *et al.*, 2005). En la RP, la baja reposición de bases sumada al incremento del uso de fertilizantes fosfatados y nitrogenados, ha producido el descenso de pH en los suelos agrícolas (Sainz Rozas *et al.*, 2011). Este descenso de pH podría llegar a favorecer la disponibilidad de B, por lo que debería ser tenido en cuenta al momento de diagnosticar la disponibilidad de este micronutriente.

Existen numerosas evidencias que sugieren que el valor predictivo de un análisis de micronutrientes en el suelo puede ser mejorado por el empleo de regresiones múltiples que incluyan ciertas propiedades del suelo junto con la concentración del micronutriente (Sims & Johnson, 1991). Algunas de las variables incorporadas a los modelos de predicción de disponibilidad de micronutrientes son el contenido de MO y el pH (Havlin *et al*., 2005; Catlett *et al*., 2002; Alloway, 2009). Por lo tanto, la incorporación de variables edafológicas al modelo de diagnóstico de suelo basado en BAC tiene el potencial de mejorar su capacidad predictiva. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la respuesta del maíz a la fertilización con B en ensayos a campo y explorar la asociación entre el B extractable en agua caliente con el pH y el contenido de MO.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 27 ensayos de maíz en secano y bajo siembra directa, el diseño experimental fue DCBA con tres repeticiones. El tamaño de cada unidad experimental fue de 50 m^2. En cada sitio se sembró maíz con dos tratamientos: T0 = testigo sin la aplicación de B, y T1 = B foliar en V5-V7 (225 g ha^{-1} B; 1,5 l ha^{-1} Bortrac). La densidad de siembra (60000 - 80000 semillas ha^{-1}), la distancia entre hileras (52 - 70 cm) y la fecha de siembra (Octubre - Noviembre) fueron seleccionadas para maximizar el rendimiento de maíz y variaron entre sitios.

Previo a la siembra, se tomaron muestras de suelo (0-20 cm) de cada bloque. Las mismas fueron secadas a 30 °C, molidas y pasadas por un tamiz de 2 mm de malla. A partir de dichas muestras se realizó la determinación de parámetros químicos: reacción del suelo (pH) (suspensión de suelo: agua 1:2,5), materia orgánica (MO) (Walkley & Black, 1934) y B extractable con agua caliente (Gupta & Stewart, 1975). La cuantificación de B en los extractos se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica.

A la siembra, todas las parcelas fueron fertilizadas con 20 kg P ha^{-1} de superfosfato triple (201 g P kg^{-1}) aplicado en bandas y 15 kg S ha^{-1} de sulfato de calcio ($CaSO_4$) (186 g S kg^{-1}). La dosis de nitrógeno, aplicado al voleo en forma de urea (460 g N kg^{-1}) en V6, fue calculada en función de los resultados de análisis de suelo, con el fin de obtener el máximo rendimiento. A madurez fisiológica el cultivo se cosechó y se expresó el rendimiento en grano a 14% de humedad relativa.

Se utilizó el procedimiento PROC UNIVARIATE del programa SAS 9.2 (SAS Institute, 2008) para probar los supuestos de normalidad y calcular estadísticos descriptivos (media, mediana y coeficiente de variación) y para analizar la distribución de los residuales. El efecto de los tratamientos sobre el rendimiento en grano se analizó para cada sitio-año mediante ANOVA usando el procedimiento PROC GLM de SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los experimentos a través de los sitios-años mostraron un rango de pH del suelo de ácido a ligeramente alcalino (5,4 a 7,9), un amplio rango de contenido de MO (15 a 74 g kg^{-1}) y valores BAC considerados media a alta disponibilidad (0,6 a 2,1 mg kg^{-1}) (Tabla 1). Se determinó una asociación significativa pero débil entre BAC y MO (r = 0,55) (Figura 1). De manera similar, Sainz Rozas *et al.* (2012) reportaron para los suelos agrícolas de la RP, que la disponibilidad de B se correlacionó significativamente con el contenido de MO del suelo (r= 0,47), lo que indica la importancia de la MO en la disponibilidad de B (Gupta *et al.*, 1985). La débil asociación entre estas dos variables permite inferir que la inclusión del contenido de MO a un modelo de regresión múltiple podría mejorar la predicción de la respuesta.

Por otro lado, no se observó relación entre BAC y el pH (r < 0,01) (Figura 2), en contraposición a lo informado por Khan *et al.* (1979). Estos autores observaron una fuerte correlación negativa entre estas dos variables (r = -0,65) en suelos calcáreos. Esta diferencia de resultados podría deberse al mayor número muestras (n= 98) utilizado por estos autores y que los suelos utilizados eran ricos en óxidos de hierro y aluminio, de manera que al aumentar el pH se incrementa la precipitación del B con estos minerales, quedando de forma menos disponible (Sims & Bingnam, 1968). En contraposición, para suelos de la RP, Sainz Rozas *et al.* (2012) determinaron una correlación positiva entre el BAC y el pH (r = 0,16), lo que sugiere que en suelos con pH alcalinos se favorece la adsorción de B en formas relativamente disponibles, disminuyendo de ese modo las pérdidas por lavado.

La respuesta promedio fue de 1,38 Mg ha^{-1}, superior a lo informado por Li & Liang (1997). Estos autores, en suelos con valores de pH (5,8 a 6,2) y contenido de MO (29 a 50 g kg^{-1}) similares a los utilizados en el presente estudio, pero con niveles de BAC inferiores (0,25 a 0,55 mg kg^{-1}), reportaron una menor respuesta a la aplicación de B en maíz de 0,56 Mg ha^{-1}. La baja frecuencia de sitios-años con respuesta positiva a la aplicación de B no permitió ajustar un umbral crítico (Figura 3). En línea con esto, Jin *et al.* (1987) en un ensayo de condiciones controladas con 14 suelos del estado de Virginia, no pudieron ajustar un umbral crítico de B para maíz, debido a que no existió respuesta significativa, a pesar de que en 2 suelos el BAC < 0,1 mg kg^{-1}.Esta falta de respuesta en sitios de bajo contenido de BAC sería debido al aporte de B desde otras fracciones no tenidas en cuenta por el BAC. Para el cultivo de trigo Li *et al.* (1978) y Rerkasem *et al.* (1989) definieron umbrales de BAC más bajos (0,12 y 0,32 mg kg^{-1}, respectivamente) que los valores de BAC hallados en nuestros experimentos. Esto sumado a que el cultivo de maíz tiene requerimientos similares de B que el trigo (20 mg kg^{-1} vs. 25 mg kg^{-1}) (Wichmann, 2000) y a la falta de sitios con respuesta significativa, sugiere que el umbral de BAC para maíz estaría por debajo de 0,6 mg kg^{-1}.

Tabla 1: Información sobre año, tipo de suelo, ubicación, clase textural, pH, materia orgánica del suelo (MO), B extractable en agua caliente (BAC) y rendimiento en parcelas testigo (Rend. T0) y en parcelas fertilizadas con B (Rend. T1) para 27 ensayos.

Sitio	Año	Tipo de suelo	Latitud	Longitud	Textura	pH	MO	BAC	Rend. T0	Rend. T1	p-valor
							g kg^{-1}	mg kg^{-1}	Mg ha^{-1}		
1	2009	Argiudol típico	37° 45′ S	58° 18′ W	Franco	5,9	45	1,2	15,3	14,1	0,38
2	2010	Argiudol típico	37° 45′ S	58° 18′ W	Franco	6,5	62	1,4	16,4	16,4	0,97
3	2011	Argiudol típico	37° 45′ S	58° 18′ W	Franco	5,9	57	1,3	18,4	17,3	0,09
4	2011	Argiudol típico	37° 45′ S	58° 18′ W	Franco	6,0	54	1,0	13,2	11,6	0,12
5	2011	Argiudol típico	37° 45′ S	58° 18′ W	Franco	6,0	54	1,2	6,3	6,2	0,46
6	2010	Argiudol típico	31° 12′ S	61° 30′ W	Franco	5,8	25	1,0	6,4	5,3	0,29
7	2010	Aplustol údico	28° 01′ S	65° 19′ W	Franco	7,4	22	1,1	11,1	10,6	0,15
8	2010	Argiudol típico	26° 53′ S	64° 36′ W	Franco limoso	7,9	20	1,2	10,6	9,8	0,31
9	2010	Argiudol típico	33° 56′ S	60° 33′ W	Franco	6,1	24	0,9	11,7	12,1	0,32
10	2010	Argiudol típico	32° 34′ S	60° 51′ W	Franco	6,3	20	1,0	7,2	7,4	0,78
11	2011	Argiudol típico	32° 33′ S	60° 51′ W	Franco	5,6	29	1,1	12,5	14,0	0,01
12	2011	Argiudol típico	33° 56′ S	60° 33′ W	Franco	5,4	23	0,6	4,2	5,5	0,03
13	2013	Argiudol típico	37° 5′ S	57° 27′ W	Franco	5,8	62	1,5	9,0	8,9	0,88
14	2013	Argiudol típico	38° 3′ S	58° 12′ W	Franco	6,0	70	1,7	9,1	7,8	0,30
15	2013	Argiudol típico	37° 5′ S	57° 24′ W	Franco	6,0	62	1,7	9,0	9,2	0,82
16	2013	Argiudol típico	38° 5′ S	57° 43′ W	Franco	6,0	57	1,6	8,6	8,9	0,71
17	2013	Argiudol típico	37° 54′ S	58° 39′ W	Franco	5,4	56	1,5	14,3	14,8	0,42
18	2013	Argiudol típico	38° 9′ S	57° 41′ W	Franco	6,2	58	2,1	10,6	10,2	0,46
19	2013	Argiudol típico	38° 18′ S	58° 5′ W	Franco	5,9	60	1,8	10,9	11,0	0,90
20	2013	Argiudol típico	38° 18′ S	58° 5′ W	Franco	5,9	74	2,1	11,5	11,7	0,65
21	2013	Argiudol típico	37° 45′ S	58° 7′ W	Franco	5,9	55	1,1	13,3	13,6	0,85
22	2013	Argiudol típico	37° 45′ S	58° 18′ W	Franco	5,7	55	0,7	10,1	8,9	0,07
23	2013	Argiudol típico	37° 40′ S	58° 24′ W	Franco	6,4	59	0,7	7,5	7,3	0,56
24	2013	Argiudol típico	34° 15′ S	61° 41′ W	Franco	5,6	20	1,2	10,2	10,7	0,51
25	2013	Argiudol típico	34° 15′ S	61° 41′ W	Franco	6,0	32	0,8	12,6	12,9	0,65
26	2013	Argiudol típico	34° 16′ S	61° 44′ W	Franco	5,9	30	1,0	11,6	12,1	0,49
27	2013	Argiudol típico	34° 15′ S	61° 41′ W	Franco	5,9	15	1,0	6,8	6,8	0,96
				Promedio		6,1	44	1,2	10,7	10,6	
				Desvío estándar		0,5	19	0,4	3,3	3,2	
				Mediana		5,9	54	1,2	10,6	10,6	
				Mínimo		5,4	15	0,6	4,2	5,3	
				Máximo		7,9	74	2,1	18,4	17,3	
				Coeficiente de variación (%)		8,7	41,9	32,8	30,7	30,5	

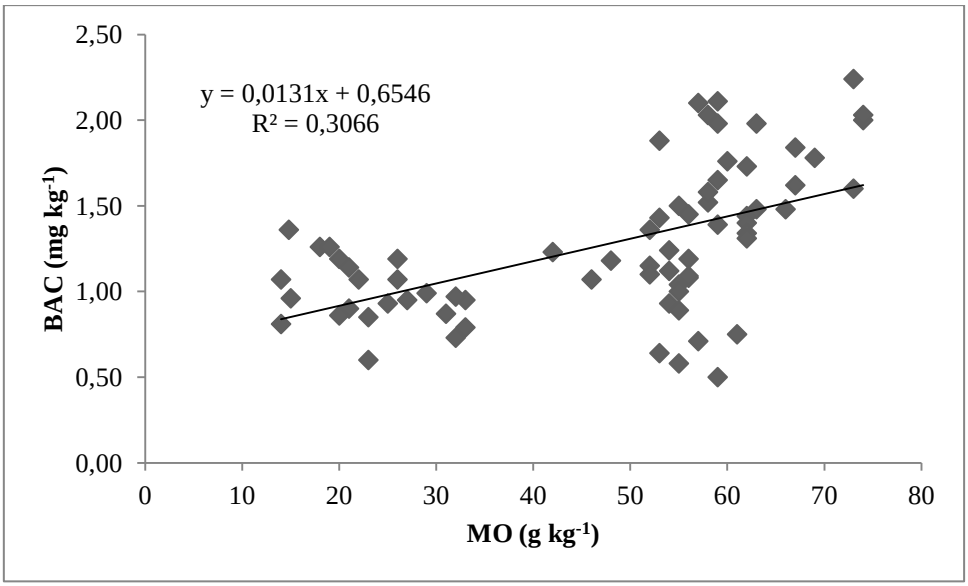


Figura 1: Relación entre el B extractable (mg kg^{-1}) y el contenido de MO (g kg^{-1}).

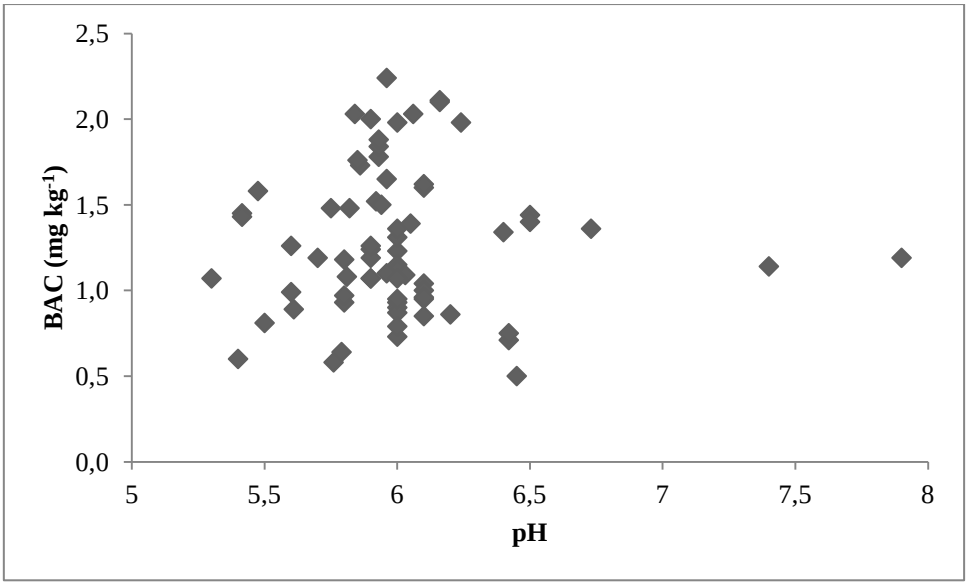


Figura 2: Relación entre el conteniido BAC (mg kg^{-1}) y el pH.

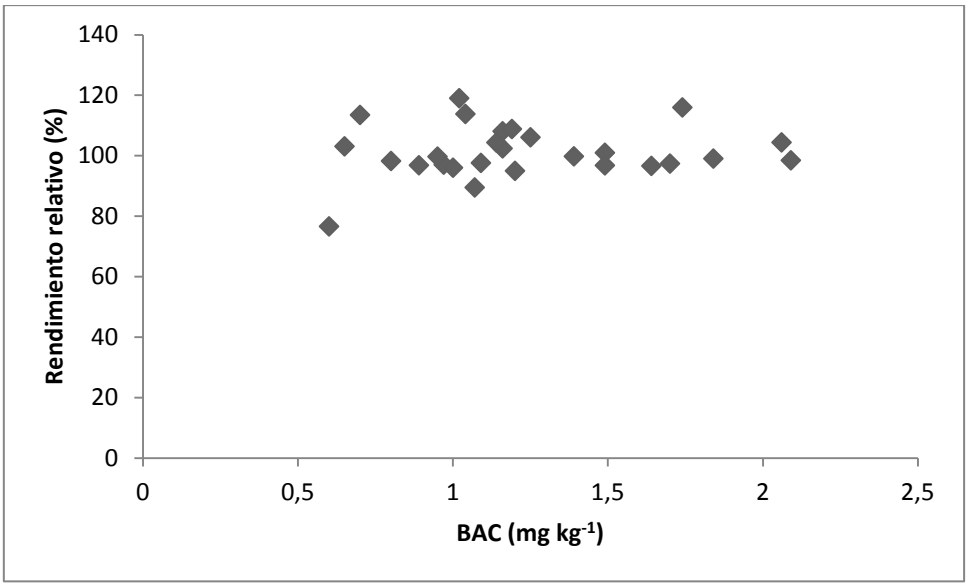


Figura 3: Relación entre el rendimiento relativo (%) (Testigo/fertilizado con B) y el contenido de BAC (mg kg^{-1}) en el suelo a la siembra.

CONCLUSIONES

La falta de sitios con respuesta a la fertilización con B no permitió ajustar un umbral de suficiencia. El valor mínimo de BAC encontrado Sainz Rozas *et al.* (2012) en suelos agrícolas de la RP fue de 0,3 mg kg^{-1}, lo que sugiere que al ampliar el número de ensayos se hallarían sitios con deficiencias. Por otro lado, no hubo evidencia de niveles tóxicos de B en el suelo. Por último, la falta de asociación entre la concentración de B extractable y el pH sugiere que sería factible la inclusión de esta última variable a un modelo de predicción de respuesta a la fertilización con B.

BIBLIOGRAFÍA

- Alloway, BJ. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environmental Geochemistry Health 31, 537-548.
- Berger, KC; T Heikkinen & E Zube. 1957. Boron deficiency, a cause of blank stalks and barren ears in corn. Soil Sci. Soc. Am. J. 21:629-632.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science. 59:39-45.
- Catlett, KM; DM Heil; WL Lindsay & MH Ebinger. 2002. Soil chemical properties controlling $Zinc^{+2}$ activity in 18 Colorado soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:1182-1189.
- Gupta, SK & JWB. Stewart. 1975. The extraction and determination of plant-available boron in soils. Schweiz Landw Forsch. 14:153-169.
- Havlin, J; JD Beaton; SL Tisdale & WL Nelson. 2005. Soil fertility ana fertilizaers: an introduction to nutrient management. Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Khan, ZD; J Ryan & KC Berger. 1979. Available boron in calcareous soils of lebanon. Agronomy Journal, 71(4), 688-690.
- Li, BH; WH Li; MC Kui, WS Chao; HP Jern; CR. Li; WJ Chu & CL Wang. 1978. Studies on the cause of sterility of wheat. J. Northeast Agric. Coll. 3, 1–19.
- Li, Y & H Liang. 1997. Soil boron content and the effects of boron application on yields of maize, soybean, rice and sugarbeet in Heilongjiang Province, China. En: Boron in soils and plants (Pp. 17-21). Springer, Dordrecht.
- Lordkaew, S; B Dell; S Jamjod & B Rerkasem. 2011. Boron deficiency in maize. Plant and soil, 342(1-2), 207-220.
- Rerkasem, B; DA Saunders & B Dell. 1989. Grain set failure and boron deficiency in wheat in Thailand. J. Agric. Chiang Mai University 5, 1–10.
- Sainz Rozas, HR; HE Echeverria & H Angelini. 2011. Organic carbon and ph levels in agricultural soils of the pampa and extra-pampean regions of Argentina. Cienc. Suelo 29:29-37.

- Sainz Rozas, HR; HE Echeverría; M Eyherabide; M Barraco; GN Ferraris & HP Angelini. 2012. Niveles de boro disponible en suelos de la Región Pampeana Argentina. Actas Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. 19. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires. Argentina.
- SAS Institute. 2008. The SAS system for windows. Version 9.2. SAS Institute, Cary, NC.
- Sims, JR & FT Bingham. 1968. Retention of boron by layer silicates, sesquoxides, and soil materials: ii. Sesquioxides. Soil Science Society of America Journal, 32(3), 364-369.
- Sims, JT & GV Johnson. 1991. Micronutrient soil test. En: Mortvedt, J.J. et al. (eds.). MIcronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI, EEUU.
- Walkley, A & Y Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-37.
- Wichmann, W. 1992. World fertilizer use manual. BASF AG, Germany, p. 600.

C3P55. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN TRIGO CONTINUO SOBRE EL NITRÓGENO MINERALIZABLE DEL SUELO

Martínez, Juan M.[1]; Kiessling, Roberto J.[2] y Ron, María M.[2]

[1]Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS), Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS)- CONICET, Bahía Blanca, Argentina. San Andrés 800. jmmartinez@criba.edu.ar
[2]Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.

RESUMEN

La fertilización nitrogenada y la siembra directa (SD) son prácticas que afectan las diferentes fracciones de nitrógeno (N) del suelo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de mediano plazo de la fertilización nitrogenada en trigo continuo (*Triticum aestivum* L.) sobre una fracción de N mineralizable en diferentes profundidades en un suelo de la región semiárida bonaerense. En 2016, se tomaron muestras de suelo en un ensayo de larga duración (comenzado en 2009) en las profundidades de 0-6 y 0-20 cm. Los tratamientos muestreados fueron las parcelas con diferentes dosis de N aplicado a la emergencia (0, 40 y 80 kg N ha^{-1}). Se determinó el N total (Nt) y el N anaeróbico (Nan) en ambas profundidades. También, se calculó la fracción activa del N (FAN) mediante el cociente entre el Nan y el Nt. El Nan demostró resultados variables de acuerdo a la profundidad considerada. En 0-6 cm, el mayor valor se halló con la dosis de 40 kg N ha^{-1}, mientras que en 0-20 cm se obtuvieron valores crecientes con el aumento de dosis de N. El Nt no demostró efectos de la fertilización nitrogenada en ninguna profundidad. La FAN evidenció diferencias significativas según las dosis de N, que siguieron el mismo patrón de respuesta que el Nan. Los resultados demuestran que la fertilización nitrogenada continua produjo cambios del potencial de mineralización en el mediano plazo en ambas profundidades evaluadas. Los incrementos observados del Nan podrían implicar una modificación de la calidad de la materia orgánica.

Palabras clave: ensayo de larga duración, N potencialmente mineralizable, N anaeróbico.

INTRODUCCIÓN

El N es el nutriente más limitante para la producción de cultivos en las zonas agrícolas. Para mejorar el diagnóstico de la fertilidad nitrogenada, el conocimiento del N que se mineralizará de la materia orgánica (MO) podría ser fundamental para ajustar la dosis a aplicar (Echeverría *et al.*, 1994; St. Luce *et al.*, 2011).

La mayoría de las estimaciones de la contribución de N por mineralización del suelo se basan en las incubaciones aeróbicas durante largos períodos (Martínez & Galantini, 2017). Esta metodología permite determinar la fracción del N del suelo que es susceptible de ser transformada en formas minerales, también denominada N potencialmente mineralizable (Npm). Sin embargo, esta metodología demanda mucho tiempo de procesamiento (Walley *et al.*, 2002), por lo que se han desarrollado diferentes metodologías rápidas que permitan estimar de manera fiable el Npm (Griffin, 2008). El N incubado en condiciones anaeróbicas o N anaeróbico (Nan), cobra relevancia debido a su sensibilidad y rápida respuesta para evidenciar cambios que se producen en el suelo por el manejo (Fabrizzi *et al.*, 2003). Este método se basa en la determinación del N de amonio ($N\text{-}NH_4^+$) liberado por los microorganismos muertos en condiciones de anoxia en una suspensión suelo: agua incubado durante un periodo entre 7 y 14 días. Algunos autores han reportado que el N anaeróbico es el mejor indicador biológico del Npm (Bushong *et al.*, 2007; Soon *et al.*, 2007).

El N total del suelo (Nt), está compuesto principalmente por N orgánico y su concentración disminuye con la profundidad, y por lo tanto se espera que ocurra lo mismo con el N que va a ser mineralizado (Cabrera *et al.*, 1994). Es importante remarcar que el sistema de labranza puede afectar el contenido de Nan en profundidad (Hadas *et al.*, 1986; Doran, 1987). La SD aumenta la MO del suelo en superficie, debido a la acumulación de residuos de los cultivos, afectando el ciclado de N (Doran, 1987). Algunos autores (Needelman *et al.*, 1999) sugieren que la SD aumenta la fracción activa de N orgánico en las capas superficiales. Sin embargo, este efecto no es claro cuando se consideran otras profundidades.

En un contexto de intensificación agrícola las transformaciones en la dinámica del N del suelo bajo SD interactúan con otras prácticas como la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Bajo condiciones semiáridas la evolución de variables edáficas y del cultivo después de la introducción de la SD, son dependientes de la producción de biomasa que se ve comprometida en los ciclos de sequía (López *et al.*, 2015). En el sudoeste bonaerense los estudios que evalúan los efectos de la fertilización nitrogenada en un monocultivo de trigo bajo SD sobre propiedades edáficas son aun incipientes (Minoldo, 2010; Martínez *et al.*, 2017a).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de mediano plazo de la fertilización nitrogenada continua en trigo sobre la fracción de N mineralizable en diferentes profundidades en un suelo de la región semiárida bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se llevó a cabo en un establecimiento ubicado en Colonia Napostá, a 35 km de la ciudad de Bahía Blanca (Provincia de Buenos Aires), cabecera del partido homónimo. El paisaje del área es plano y constituye mayormente el resultado de episodios eólicos, procesos de erosión/deposición y eventos de origen marino. Se clasificó el suelo como un Paleustol Petrocálcico, franco grueso térmico (Soil Survey Staff, 2014).

El edafoclima es ústico-térmico (Amiotti *et al.*, 2010). La precipitación promedio anual en la zona es de 560 mm (media 1860-2006), concentrándose dos terceras partes en otoño y primavera. Se registran una estación seca a fines del invierno y una semiseca a mediados de verano (enero y febrero). En esos meses la evapotranspiración potencial más que duplica las precipitaciones (Scian, 2010), lo que constituye una limitación difícil de franquear para la producción de cultivos de verano.

Diseño experimental

En 2009 se instaló un ensayo de fertilización nitrogenada en trigo bajo SD, con un diseño de bloques completos al azar (unidad experimental de 60 m^2) y seis tratamientos. Estos consistieron en dosis y épocas de aplicación de N: testigo, 40 y 80 kg N ha^{-1}, en siembra-emergencia o macollaje, y la dosis mayor repartida entre las dos épocas, en dos fracciones iguales. El N se aplicó como urea granulada (46-0-0) al voleo en forma manual. El análisis en muestras de la capa arable (0-12 cm) al comienzo del ensayo (año 2009) arrojó valores de 17 g de carbono orgánico total (COT) kg^{-1} (Walkley & Black, 1938), 9 mg fósforo extraíble kg^{-1} (Bray & Kurtz, 1945) y 7,6 de pH (relación suelo: agua 1:2,5). Una caracterización minuciosa del estado inicial del sitio de ensayo en cuanto a parámetros de fertilidad química y su variabilidad espacial en un diseño de bloques se informa en un trabajo anterior (Orden *et al.*, 2011). A los siete años del inicio del estudio se colectaron en pre-siembra del trigo muestras compuestas (10-15 muestras simples) en las profundidades de 0-6 y 0-20 cm en las unidades experimentales que durante siete campañas consecutivas habían recibido anualmente 0, 40 y 80 kg N ha^{-1} aplicados al momento de emergencia (0, 40E, 80E).

Análisis de suelo

Se procedió a secar al aire y tamizar las muestras por una malla de 2 mm. Luego, en dichas muestras se analizó el Nan mediante incubaciones anaeróbicas (Waring & Bremner, 1964) y el N total de los suelos (Nt) por el método semi micro-Kjeldahl (Bremner, 1996). Luego, se calculó la fracción activa de N (FAN) a partir del cociente entre Nan y Nt, como fue propuesto por El Garhous *et al.* (1990).

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de la varianza (ANAVA) y comparación de medias mediante el test de diferencias mínimas significativas (DMS) de Fisher ($p<0,05$) para estudiar la influencia de la fertilización sobre las variables edáficas evaluadas en cada profundidad. Se empleó el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de Nan hallados en ambas profundidades coinciden a los reportados por otros autores en suelos de mayor fertilidad (Cozzoli *et al.*, 2010; Reussi Calvo *et al.*, 2013). El Nan respondió significativamente a la fertilización en cada profundidad evaluada (Figura 1a). En 0-6 cm, el mayor valor se halló con la dosis de 40 kg N ha^{-1} mientras que en 0-20 cm, se obtuvieron valores crecientes de Nan con el aumento de la dosis de N atribuibles a las diferentes condiciones de mineralización que produce la fertilización nitrogenada (García *et al.*, 2015). Es importante destacar que se observaron mayores valores de Nan en la capa más superficial con respecto a 0-20 cm, en todos los tratamientos muestreados. Esto era esperable debido a la estratificación de la MO que se genera bajo SD, favoreciendo una mayor proporción de N lábil

en superficie (Balesdent *et al.*, 2000). Además, esto coincide con lo hallado por otros autores (Doran, 1987; Needelman *et al.*, 1999; Mikha *et al.*, 2006), los cuales reportaron mayores potenciales de mineralización de N sobre la superficie del suelo bajo SD.

Con respecto al Nt, no se halló ningún efecto de la fertilización nitrogenada (Figura 1b). Estos resultados son coherentes con los reportados por Martínez *et al.* (2017a) para el nivel de COT en el mismo ensayo y profundidades, y señalan que la relación C:N en la MO no fue afectada por la aplicación del fertilizante (datos no mostrados). En contraposición, Duval *et al.* (2013) informaron efectos significativos del agregado de N en monocultivo de trigo bajo SD para profundidades similares en otro sitio del sudoeste semiárido.

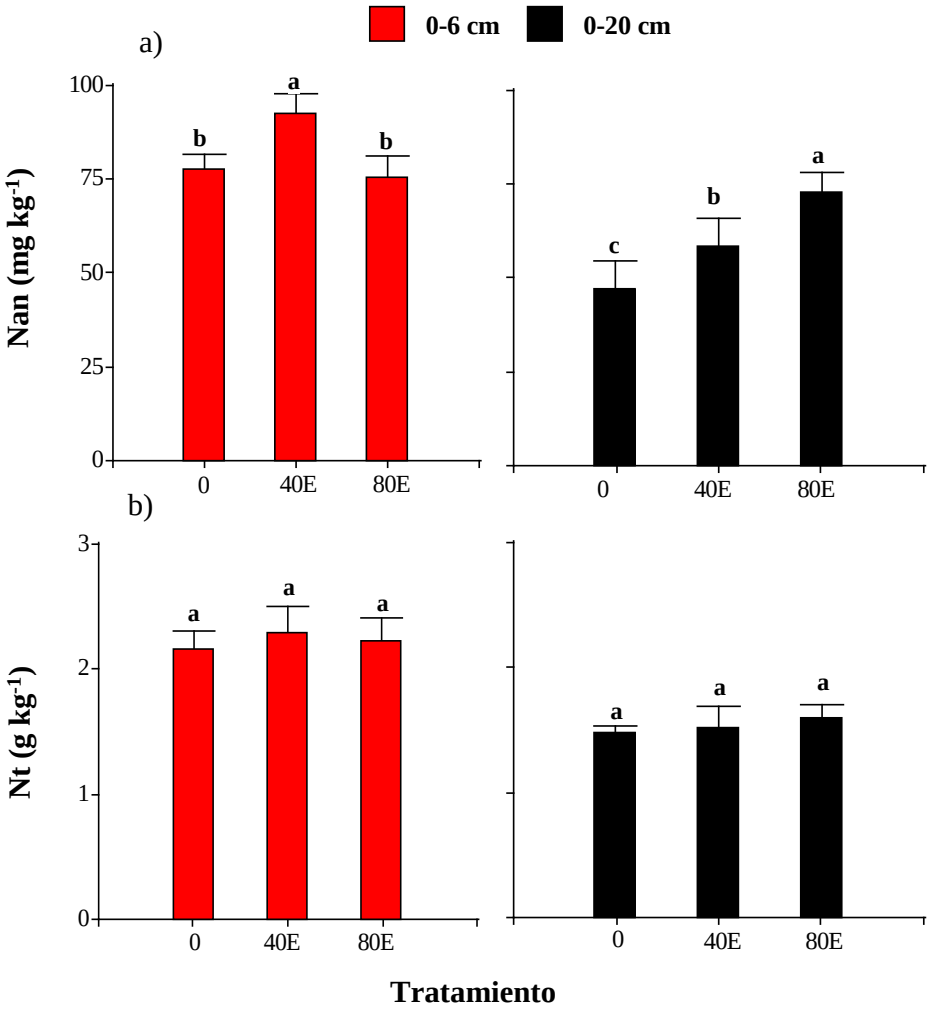


Figura 1: Concentración de a) Nan (mg kg^{-1}) y b) Nt (g kg^{-1}) según diferentes dosis de N para 0-6 y 0-20 cm.

La FAN se considera como la parte de la MO lábil que aporta una parte importante de N disponible para las plantas en el corto plazo para el crecimiento de los cultivos (El Gharous *et al.*, 1990; Drinkwater *et al.*, 1996). Los valores encontrados de FAN independientemente del tratamiento y profundidad se hallan entre los rangos de valores propuestos por otros autores (Martínez & Galantini, 2017; Martínez *et al.*, 2017b), quienes reportaron valores de FAN menores a 10%.

Las diferentes dosis de N produjeron diferencias significativas sobre la FAN en ambas profundidades (Tabla 1). En 0-20 cm se observaron valores crecientes de FAN a medida que se incrementó la dosis de N, obteniéndose el mayor valor con la dosis de 80E, en analogía con el Nan. En 0-6 cm, no se observó una mayor FAN con la mayor dosis. El efecto diferencial observado reflejaría la respuesta a dosis en la cantidad de biomasa producida (Ron *et al.*, 2016), y la variación del sustrato de la actividad biológica con la profundidad (Janzen *et al.*, 1992). Las diferencias se combinarían

con el efecto de cebado del fertilizante, una mayor nitrificación en los primeros cm y el movimiento vertical de los nitratos.

Los resultados hallados indican que la fertilización nitrogenada tendió a incrementar las fracciones lábiles de N incrementando el potencial de mineralización, Estos resultados deberían confirmarse en próximos muestreos y compararse con otras estimaciones de la fracción más lábil del N orgánico, como puede ser el N asociado a la MO particulada (Martínez *et al.*, 2017b).

El Nan resulto más sensible a la fertilización nitrogenada que Nt lo que podría indicar que solo se influencio la calidad de la MO o que los posibles incrementos de Nt por dosis de fertilización rondarían el 1% como lo indica la FAN y no serían fácilmente detectables por la metodología del análisis.

A pesar de que se observó una mayor respuesta física en la producción de biomasa del cultivo con la fertilización en este ensayo no se hallaron incrementos sobre el N bajo estas condiciones. Era esperable que la SD junto con la fertilización nitrogenada incremente la MO -especialmente en la capa más superficial- como ha sido reportado en otros estudios (Buschiazzo *et al.*, 1998; Duval *et al.*, 2013; Martínez *et al.*, 2017a), aunque no fue lo sucedido bajo las condiciones particulares.

Tabla 1: Fracción activa del N (media± desvío estándar) según tratamiento y profundidad

	Tratamiento		
Profundidad (cm)	0	40E	80E
0-5	4,33±0,23 **ab**	4,88±0,42 **a**	4,1±0,39 **b**
0-20	3,17±0,39 **b**	3,87±0,61 **ab**	4,57±0,40 **a**

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$) entre tratamientos para una misma profundidad.

CONCLUSIONES

La fertilización nitrogenada continua produjo cambios en el potencial de mineralización en ambas profundidades evaluadas en el mediano plazo, incrementando sus valores con mayores dosis de N. En cambio, la aplicación de N no afectó al Nt en ninguna profundidad, a pesar del mayor efecto físico sobre la producción de biomasa del cultivo con el consiguiente mayor aporte de residuos.

Como trabajo a futuro, sería necesario evaluar la fracción del Npm que proviene de la fracción más lábil del Nt, debido a que esta puede ser fácilmente afectada por la fertilización nitrogenada.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue parcialmente financiado por el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina PGI 24/A206. El ensayo surgió de un convenio de cooperación de Investigación y Desarrollo entre la Fundación de la Universidad Nacional del Sur y PROFERTIL S.A.

BIBLIOGRAFÍA

- Amiotti, NM; MC Blanco; E Schmidt; & S Díaz. 2010. Variabilidad espacial de los suelos y su relación con el paisaje. En: JS Paoloni (ed.). Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca. Pp. 129-173. EdiUNS. Bahía Blanca, Buenos Aires.

- Balesdent, J; C Chenu & M Balabane. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. Soil Till Res. 53: 215-230.
- Bray, R & L Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Bremner, JM. 1996. Nitrogen total. In: DL Sparks (ed.). Methods of soil analysis. Part 3: Chemical Methods. Pp. 1085-1123. SSSA. Madison, WI.
- Buschiazzo, D; J Panigatti & P Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. Soil Till. Res. 49:105–116.
- Bushong, JT; RJ Norman; WJ Ross; NA Slaton; CE Wilson & EE Gburr. 2007. Evaluation of several indices of potentially mineralizable soil nitrogen. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 38:2799–2813.
- Cabrera, ML; DE Kissel & MF Vigil. 1994. Potential nitrogen mineralization: laboratory and field evaluation In: JL Harvin (ed.). Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations. Pp. 15-30. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Cozzoli, MV; N Fioriti; GA Studdert; G Dominguez & MJ Eiza. 2010. Nitrógeno liberado por incubación anaeróbica y fracciones de carbono en macro- y microagregados bajo distintos sistemas de cultivo. Ci. Suelo 28: 155-167.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2013. InfoStat, versión 2013, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba (Argentina).
- Doran, JW. 1987. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and ploughed soils. Biol. Fert. Soils 5: 68-75.
- Drinkwater, LE; CA Cambardella; JD Reeder & CW Rice. 1996. Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biologically active soil nitrogen. In: JW Doran, AJ Jones (eds.). Methods of Assessing Soil Quality. pp. 217–229. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Duval, M; JA Galantini; JO Iglesias & H Krüger. 2013. El cultivo de trigo en la región semiárida bonaerense: impacto sobre algunas propiedades químicas del suelo. Rev. Invest. Agropec. 39(2):178-184.
- Echeverría, H; R Bergonzi & J Ferrari. 1994. Un modelo para estimar la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Ci. Suelo 12: 56-62.
- El Gharous, M; RL Westerman & PN Soltanpour. 1990. Nitrogen mineralization potential of arid and semiarid soils of Morocco. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 438-443.
- Fabrizzi, K; A Morón & F Garcia. 2003. Soil carbón and nitrogen organic fractions in degraded vs. Non-degraded Mollisols in Argentina. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:1831-1841.
- García, GV; GA Studdert; MN Domingo & GF Domínguez. 2016. Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis: relación con sistemas de cultivo de agricultura continua. Ci. Suelo 34: 127-138.
- Griffin, TS. 2008. Nitrogen availability. In: JS Schepers, WR Raun (eds.) Nitrogen in agricultural soils. Agron. Monogr. 49. ASA, CSSA, SSSA, Madison WI. 616-646.
- Hadas, A; S Feigenbaum; A Feigin & R Portnoy. 1986. Nitrogen mineralization in profiles of differently managed soil types. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 314-319.
- Janzen, HH; CA Campbell; SA Brandt; GP Lafond & L Townley-Smith. 1992. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1799-1806.
- López, FM; ME Duval; JM Martínez & JA Galantini. 2015. Cobertura en el sudoeste bonaerense en suelos bajo siembra directa. Ci. Suelo 33: 273-281.
- Martínez JM & JA Galantini. 2017. A rapid chemical method for estimating potentially mineralizable and particulate organic nitrogen in Mollisols. Commun Soil Sci Plant Anal. 48:113–123.
- Martínez, JM; MM Ron & RJ Kiessling. 2017a. Efecto de la fertilización nitrogenada en trigo continuo sobre variables edáficas bajo siembra directa. III Jornadas Nacionales de Suelos de Ambientes Semiáridos. Bahía Blanca, 7 y 8 de Septiembre de 2017.
- Martínez JM; JA Galantini; ME Duval & FM López. 2017b. Tillage effects on labile pools of soil organic nitrogen and relationships with wheat crop in a semi-humid climate: A long-term field study. Soil Till. Res. 169: 71-80.
- Mikha, MM; CW Rice & JG Benjamin. 2006. Estimating soil mineralizable nitrogen under different management practices. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1522-1531.
- Minoldo, G. 2010. Impacto de largo plazo de diferentes secuencias de cultivos del sudoeste bonaerense sobre algunas propiedades químicas del suelo y la productividad del trigo. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, 153 págs.

- Needelman, BA; MM Wander; GA Bollero; CW Boast; GK Sims & DG Bullock. 1999. Interaction of tillage and soil texture: Biologically active soil organic matter in Illinois. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 1326–1334.
- Orden, L, ME Mandolesi, RJ Kiessling & MM Ron. 2011. Variabilidad espacial de fertilidad química del suelo en un diseño de bloques. Spanish J. Soil Sci. 1: 54-69.
- Reussi Calvo, NI; H Sainz Rozas; HE Echeverría & A Berardo. 2013. Contribution of anaerobiosis incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. Agron. J. 105:321-328.
- Ron, MM; JM Martínez, & RJ Kiessling. 2016. Comportamiento del trigo continuo, bajo fertilización nitrogenada en el partido de Bahía Blanca. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 27 de Junio - 01 de Julio de 2016.
- Scian, B. 2010. Clima - Bahía Blanca y sudoeste bonaerense. En: JD Paoloni (ed.). Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca. EdiUNS. Pp. 29-97. Bahía Blanca, Buenos Aires.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. Washington, DC: USDA-Natural Resources. Conservation Service.
- Soon, YK; A Haq & MA Arshad. 2007. Sensitivity of nitrogen mineralization indicators to crop and soil management. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 38: 2029-2043.
- St. Luce, M; JK Whalen; N Ziadi & BJ Zebarth. 2011. Nitrogen dynamics and indices to predict soil nitrogen supply in humid temperate soils. Adv. Agron. 112: 55-102.
- Stanford, G & S Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 465-472.
- Walkley A & I Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
- Walley, F; T Yates; JW Groenigen & C Van Kessel. 2002. Relationship between soil nitrogen availability indices, yield, and nitrogen accumulation of wheat. Soil Sci. Soc. Am. J. 66: 1549-1561.
- Waring, SA & JM Bremner. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. Nature 201: 951-952.

C3P56. PROGNOSIS DE NITRÓGENO EN PAPA PARA INDUSTRIA EN EL SUDESTE BONAERENSE

Mateos Inchauspe, F.[1*]; Giletto, C.[1]; Reussi Calvo, N.[2] y Echeverría, H.E.[1]

[1] Unidad Integrada INTA-FCA (UNMdP). Ruta 226 km 73,5. CC 276 (B7620EMA) Balcarce, Buenos Aires. Argentina
[2] Investigador de CONICET y técnico en el laboratorio de suelo FERTILAB. Moreno 4524, CP 7600, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina;
*Correo electrónico: mateosinchauspe.f@inta.gob.ar

RESUMEN

Los modelos de diagnóstico de requerimiento de nitrógeno (N) en papa basados en la determinación del contenido de N en pre-siembra (Ni) no contemplan el aporte de N por mineralización de la materia orgánica (MO) del suelo. La determinación del N incubado en anaerobiosis (Nan) ha sido empleada satisfactoriamente para ajustar las dosis de N en trigo y maíz, pero no existen antecedentes en papa. Se planteó como objetivo evaluar la contribución del Ni y del Nan en la predicción del rendimiento y de la respuesta en rendimiento al agregado de N. Se realizaron 16 ensayos de fertilización nitrogenada en lotes de producción del sudeste de la provincia de Buenos Aires. A la plantación, se determinó en muestras de suelo el Ni (0-60 cm) y el Nan (0-20 cm). A la cosecha, se determinó el rendimiento del testigo (Rto0N), la respuesta en rendimiento al agregado de N (RtaN) y la dosis óptima de N (DON). El Ni varió de 17,5-60,2 kg ha^{-1} y el Nan de 46,6-105,5 mg kg^{-1} El rendimiento varió de 38-72 Mg ha^{-1}, la respuesta al agregado de N desde 4,6 hasta 23,2 Mg ha^{-1} y la DON varió de 79-167 kg N ha^{-1}. El Ni no contribuyó en la predicción del Rto0N y de la ΔRtoN. Por otro lado, se determinó asociación lineal entre el Nan y el Rto0N y la RtaN, siendo el R^2 de 60% en ambos casos. Se concluye que el Nan permite mejorar el diagnóstico de requerimiento de N a la plantación, ya que se ajustaron modelos para predecir el Rto0N, la RtaN y la dosis de N en función de dicha variable.

Palabras claves: Ni, Nan, RtaN

INTRODUCCIÓN

El cultivo de papa para industria en el sudeste bonaerense (SEB) requiere de una óptima suplementación de nutrientes para lograr altos rendimientos de tubérculos con la calidad requerida por la fábrica. Los métodos de diagnóstico de requerimiento de nitrógeno (N) en papa se basan en la determinación del contenido de N como nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) en suelo en pre-plantación (Ni). Sin embargo, este modelo no contempla en forma directa el aporte de N por mineralización de la materia orgánica (MO). El Ni es efectivo en regiones donde la pérdida de N es limitado (Zebarth & Rosen, 2007). En el SEB, en trigo y maíz, solamente entre el 38 y el 54% de la variación del rendimiento fue explicada por la disponibilidad de nitrato a la siembra (0-60 cm) (Sainz Rozas *et al.*, 2008; Barbieri *et al.*, 2009). La papa tiene un sistema radical superficial que lo hace poco eficiente para absorber el N (Hyatt *et al.*, 2010), por lo tanto en zonas húmedas como el SEB, el Ni no permitió predecir el rendimiento y la respuesta en rendimiento al agregado de N (Giletto *et al.*, 2016).

Por otro lado, el aporte de N proveniente de la mineralización de la MO sería la principal fuente para este cultivo; debido a que la preparación del suelo previo a la plantación y las labores mecánicas durante las primeras etapas del ciclo, sumado a condiciones propicias de humedad y temperatura favorecen dicho proceso y aumentaría el aporte de N por mineralización (Echeverría & Sainz Rozas, 2015; Echeverría & Giletto, 2015). El aporte del N mineralizado puede ser estimado mediante la determinación del contenido de amonio producido a partir de incubaciones anaeróbicas (Nan) de muestras de suelo, debido a que se correlaciona estrechamente con el N potencialmente mineralizable (Echeverría *et al.*, 2000). Recientemente, Reussi Calvo *et al.* (2013a; 2013b) concluyeron que el Ni explicó el 24 y 45 % de la variación del rendimiento en trigo y maíz; respectivamente y que la incorporación del Nan mejoró la predicción del modelo a 66 y 61% para ambos cultivos; respectivamente. En papa, la contribución del Nan en la estimación del rendimiento sólo explicó el 25% de la variabilidad (Giletto *et al.*, 2016). El bajo coeficiente de determinación probablemente sea debido a una reducida variabilidad en los valores del Nan de los suelos. Por lo tanto, en este trabajo se plantea analizar la contribución del Ni y del Nan a los modelos de predicción del rendimiento y de la respuesta al agregado de N en suelos con diferente historia agrícola y de manejo de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una red de experimentos de fertilización nitrogenada en 16 lotes de producción de papa en el SEB durante el período 2008-2017. El suelo en todos los casos fue Argiudol Típico (USDA, 1999). Previo a la plantación, se extrajeron muestras de suelo en cada lote y se determinó el contenido de MO, la concentración de Nan, de fósforo (P) y el pH a 0-20 cm de profundidad, y la concentración de N-NO_3^- a 0-20, 20-40 y 40-60 cm. La MO se determinó por el método de Walkley & Black (1934), el pH con un electrodo de vidrio en una suspensión con una relación de 1:2,5 suelo/agua, el contenido de P en el suelo por el método de Bray & Kurtz (1945), la concentración de N-NO_3^- por el método de Keeney & Nelson (1982) y el Nan por la determinación del amonio producido por incubación anaeróbica de la muestra de suelo durante 7 días a 40°C (Echeverría *et al*., 2000). Se utilizó papa semilla certificada de similar edad fisiológica de la variedad Innovator (110-120 días de ciclo). Se utilizó riego complementario a partir de los 50 días después de plantación (DDP) y continuó hasta el final de ciclo. El manejo de las plagas y enfermedades del cultivo se realizó mediante aplicaciones de productos específicos y el control de malezas mediante métodos químicos y mecánicos. La Tabla 1 resume las características de los lotes.

Tabla 1: Características de suelo y manejo para los diferentes sitios experimentales.

Año/sitio	Antecesor	MO	pH	P-Bray1	Nan	Ni	R+LL	Plantación	Cosecha	Dosis de N
		-------- 0-20 cm --------				0-60cm				kg ha^{-1}
		g kg^{-1}		-- mg kg^{-1} --		kg ha^{-1}	mm			
2008/9 sitio 1	Pastura	52	5,8	15,4	75,5	57,4	674	5 nov	11 mar	0, 50, 100, 200
2008/9 sitio 2	Trigo	52	5,8	14,5	68,1	55,2	632	24 oct	24 feb	0, 50, 100, 200
2008/9 sitio 3	Maíz	43	6,2	33,1	61,0	24,1	534	24 oct	13 mar	0, 50, 100, 200
2009/10 sitio 4	Pastura	54	6,0	14,2	76,0	38,5	489	29 oct	12 mar	0, 50, 100, 200
2010/11 sitio 5	Pastura	54	6,2	8,6	87,2	26,9	505	12 nov	03 mar	0, 50, 100, 200
2011/12 sitio 6	Soja	45	6,1	32,6	71,9	28,3	453	23 nov	21 mar	0, 50, 100, 200
2012/13 sitio 7	Soja	40	6,6	25,2	61,7	17,5	549	31 oct	05 mar	0, 50, 100, 150, 200, 250, 300
2015/16 sitio 8	Soja	46	5,3	77,6	46,6	52,8	586	11 oct	23 feb	0, 50, 75, 100, 150, 200
2015/16 sitio 9	Soja	65	5,8	53,6	100,1	25,0	586	07 oct	25 feb	0, 50, 75, 100, 150, 200
2015/16 sitio 10	Soja	55	5,6	19,2	86,6	60,2	573	12 oct	02 mar	0, 50, 75, 100, 150, 200
2015/16 sitio 11	Soja	51	5,8	16,1	52,7	37,1	577	13 oct	02 mar	0, 50, 75, 100, 150, 200
2015/16 sitio 12	Soja	59	5,8	22,7	69,3	41,9	563	10 nov	16 mar	0, 50, 75, 100, 150, 200
2016/17 sitio 13	Soja	62	5,4	28,6	105,5	41,5	617	12 oct	09 feb	0, 50, 75, 100, 150, 200
2016/17 sitio 14	Cebolla	43	6,2	33,6	50,2	46,7	630	08 nov	08 mar	0, 50, 75, 100, 150, 200
2016/17 sitio 15	Soja	56	5,8	37,5	74,2	23,3	594	28 oct	25 feb	0, 50, 75, 100, 150, 200
2016/17 sitio 16	Soja	61	8,0	41,2	74,7	29,4	454	18 oct	15 feb	0, 50, 75, 100, 150, 200

MO= contenido de materia orgánica; Ni= contenido de nitrógeno inicial; Nan= nitrógeno incubado en anaerobiosis; R+LL= agua de riego más lluvia

En cada sitio se utilizó un diseño en bloques completos y aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos de N para todos los años-sitio se fraccionaron a la plantación, en el aporque y en el llenado de tubérculos (Tabla 1). La fuente de N fue urea (46-0-0) que se aplicó al voleo. Además, se aplicó 100 kg ha^{-1} de P a la plantación de manera de que este nutriente no sea limitante. Cada unidad experimental abarcó 8 surcos, distanciados entre sí a 0,85 cm, por 5 m de longitud teniendo cada parcela una superficie de 34 m^2.

A cosecha, se estimó el rendimiento de tubérculos en peso fresco tomando muestras de los surcos centrales de cada parcela. Además, la respuesta al agregado de N (RtaN) se expresó como la relación entre el incremento de rendimiento por efecto del agregado del N (ΔRto) y el rendimiento del tratamiento testigo (Rto$_0$). Para cada lote se determinó la asociación entre el rendimiento de tubérculos con el Ni y el Nan. Se determinó la asociación entre el rendimiento total y la dosis de N. Se ajustaron modelos lineales cuadráticos y se calculó la dosis óptima de N (DON) para alcanzar el rendimiento máximo (RM) cuando el modelo fue significativo. Se ajustó un modelo lineal entre la DON y los indicadores de disponibilidad de N edáfico, Ni y Nan. Los resultados fueron analizados utilizando el programa R (2015). Las medias de cada tratamiento fueron comparadas mediante la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) ($p<0,05$) cuando el ANOVA fue significativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de MO varió de 40 a 65 g kg^{-1}, el Ni de 17,5 a 60,2 kg ha^{-1} y el Nan 46,6 a 105,5 mg kg^{-1} (Tabla 1). Las diferencias entre sitios en la MO y el Nan entre sitios puede ser atribuidas por el efecto de las diferentes prácticas de manejo y uso del suelo (Sharifi *et al*., 2009). El Nan ha demostrado ser sensible para detectar cambios del N orgánico lábil, generados por diferente secuencia de cultivos y años de agricultura (Echeverría & Sainz Rozas, 2015). El rango de

Nan determinado en estos ensayos, coincide con lo publicado por otros autores para la zona del SEB (Orcellet *et al*, 2017; Reussi Calvo *et al*., 2014).

El rendimiento total de tubérculos frescos varió de 37,9 a 72,3 Mg ha^{-1} (Tabla 2), siendo en la mayoría de los casos superiores al rendimiento promedio para la variedad Innovator (40 Mg ha^{-1}) en lotes de producción del SEB (Suarez *et al*., 2006; Caldiz, 2007; Giletto *et al*., 2007; Giletto *et al*., 2011). En general, los mayores rendimientos coincidieron con los valores más altos de Nan. Estos resultados fueron similares a los de Sharifi *et al*. (2009) quienes determinaron que el rendimiento aumentó con el N mineralizado por el suelo. En otros cultivos, Sainz Rozas *et al*. (2008) y Reussi Calvo *et al*. (2013) reportaron que el N-N0$_3^-$ del suelo a la plantación y el Nan se asociaron con el rendimiento de maíz y trigo, respectivamente.

Tabla 2: Rendimiento en peso fresco promedio, mínimo y máximo. Desvío estándar (DE), coeficiente de variación (CV) (%) y coeficiente de determinación (R^2) para cada sitio, según el ANOVA siendo la fuente de variación la dosis de nitrógeno.

		Rendimiento de tubérculos ……(Mg ha^{-1})……					
	Valor p	Promedio	Mínimo	Máximo	DE	CV	R^2
2008/9 sitio 1	0,05[1]	50,6	45,6	56,1	4,48	8,74	0,44
2008/9 sitio 2	0,002	63,4	53,3	70,3	6,59	10,4	0,72
2008/9 sitio 3	0,0141	42,2	40,5	45,1	3,83	9,25	0,58
2009/10 sitio 4	0,001	58,4	53,4	60,7	3,35	5,77	0,72
2010/11 sitio 5	0,007	64,5	62,4	67,2	5,23	6,21	0,58
2011/12 sitio 6	<0,0001	52,8	40,8	57,4	6,38	12,13	0,87
2012/13 sitio 7	0,005	52,4	44,9	58,4	6,2	11,85	0,78
2015/16 sitio 8	0,0022	49,6	37,9	58,3	9,71	8,79	0,88
2015/16 sitio 9	0,2413	61,1	56,8	66,9	8,56	12,55	0,53
2015/16 sitio 10	0,065	65,5	54,5	72,3	8,35	9,60	0,67
2015/16 sitio 11	0,0003	51,1	39,3	56,9	6,54	5,21	0,90
2015/16 sitio 12	0,0497	63,2	43,9	70,7	12,27	14,15	0,69
2016/17 sitio 13	0,3715	61,3	56,6	64,7	5,79	9,02	0,46
2016/17 sitio 14	0,5127	49,5	43,9	53,9	6,21	12,67	0,40
2016/17 sitio 15	0,3582	65,7	59,7	68,5	4,92	7,12	0,47
2016/17 sitio 16	0,0019	57,9	53,9	61,6	3,25	2,84	0,85

[1]significativo a $p \leq 0,05$

Al relacionar el rendimiento con la dosis de N, el modelo cuadrático fue significativo para el 81% de los sitios (Tabla 3). La DON varió entre 79 a 167 kg N ha^{-1} y el rendimiento máximo (RM) desde 53,5 a 72,4 Mg ha^{-1}. Giletto *et al*. (2011) determinó un comportamiento similar en el rendimiento de la variedad Innovator en el SEB, obteniendo el máximo rendimiento con dosis de N que variaron de 126-158 kg N ha^{-1}. En la mayoría de los sitios se determinó variación ($p<0,05$) en el rendimiento por efecto de la dosis de N (ΔRtoN), siendo la respuesta promedio de 12,0 Mg ha^{-1} (mínima 4,6 y máximo 23,2 Mg ha^{-1}). Las diferencias en rendimiento y respuesta al agregado de N entre sitios probablemente sean debidas a la historia agrícola del lote y de manejo del suelo que influyen en la disponibilidad de N (Zebarth *et al*., 2012).

En la Tabla 4 se presentan los resultados de la regresión lineal entre el Rto0N y la RtaN, con el Ni y el Nan. Se determinó asociación no significativa entre el Ni con ambas variables respuesta ($p<0,05$). Por otro lado, se determinó estrecha asociación entre el Rto0N y la RtaN con el contenido de Nan, siendo el coeficiente de determinación del 60% para ambos. Estos resultados fueron similares a los determinados por Zebarth *et al*. (2012) y por Sharifi *et al*. (2009), quienes reportaron que el rendimiento aumentó con el contenido de MO y el N mineralizado por el suelo. En el SEB, Domínguez *et al*. (2006) determinó estrecha asociación entre el rendimiento de trigo y en Nan en labranza convencional y siembra directa. Para trigo y maíz se ajustó un modelo de predicción del rendimiento, que incluyó al Ni y Nan con un coeficiente de determinación del 66% y 61%, respectivamente (Reussi Calvo *et al*., 2013a; 2013b).

La baja capacidad predictiva del Ni en regiones húmedas y en cultivos bajo riego, probablemente sea debido a que el N disponible a la plantación no siempre es aprovechado por el cultivo por ser susceptible a perderse por lavado a través del perfil por lluvias no predecibles en etapas tempranas del ciclo (Giletto & Echeverría, 2013; Zebarth *et al*., 2009), lo cual se agrava en papa debido a su sistema radical superficial. Existen referencias que en zonas húmedas, el Ni no predice adecuadamente el N necesario para cubrir las necesidades de este nutriente en los cultivos de papa (Bélanger *et al*., 2001), cebada y maíz (O'Halloran *et al*., 2004). Sharifi *et al*. (2007) señaló que el Ni en regiones húmedas cambia rápidamente durante primavera, siendo un indicador adecuado sólo en zonas áridas o semiáridas.

Por su parte, la mayor contribución del Nan respecto al Ni podría deberse al manejo del cultivo. La papa es un cultivo estival, en el cual se emplea riego complementario. Además, se realiza un laboreo intensivo del suelo, tanto para la preparación de la cama de siembra, previo a la plantación, como para el control de malezas durante las primeras etapas del cultivo. Tales condiciones, benefician la mineralización de la MO del suelo (Echeverría & Sainz Rozas, 2015; Echeverría & Giletto, 2015). El proceso de mineralización del N orgánico del suelo durante el ciclo del cultivo es de importancia ya que puede contribuir en gran parte a la nutrición del mismo (Echeverría *et al*., 2000). Los resultados del presente estudio permitieron inferir que el Nan contribuyó a la predicción del rendimiento.

Tabla 3: Coeficientes del modelo cuadrático obtenidos a partir de la relación entre el rendimiento con la dosis de N y dosis óptima de nitrógeno para alcanzar el máximo rendimiento (DON) para los sitios en los que el modelo cuadrático fue significativo

Sitios	EER	Valor p	a	b	c	R^2	DON	RM	ΔRto
							kg N ha^{-1}	--- Mg ha^{-1} ---	
2008/9 sitio 1	3,52	0,012[1]	-0,0012	0,19	45,95	0,42	79	53,5	7,9
2008/9 sitio 2	3,99	0,0003	-0,0013	0,28	52,56	0,66	108	67,6	14,3
2008/9 sitio 3	2,88	0,005	-0,0003	0,09	36,77	0,50	150	57,2	16,7
2009/10 sitio 4	1,96	0,0002	-0,0006	0,14	52,58	0,68	118	60,9	7,5
2010/11 sitio 5	2,97	0,025	-0,0009	0,18	58,03	0,40	100	67,0	4,6
2011/12 sitio 6	4,50	0,003	-0,0012	0,25	43,26	0,54	104	56,3	15,5
2012/13 sitio 7	3,88	0,0002	-0,0005	0,17	43,81	0,67	167	58,3	13,4
2015/16 sitio 8	7,54	0,009	-0,0014	0,32	36,71	0,47	120	56,1	18,3
2015/16 sitio 9	8,85	0,647	-0,0003	0,09	57,00	0,06	-	-	-
2015/16 sitio 10	6,25	0,005	-0,0006	0,21	54,11	0,50	164	71,1	16,6
2015/16 sitio 11	2,51	<0,0001	-0,0010	0,27	38,84	0,87	133	56,9	17,6
2015/16 sitio 12	8,43	0,001	-0,0019	0,45	44,87	0,58	121	72,4	18,4
2016/17 sitio 13	4,92	0,034	-0,0008	0,16	56,55	0,36	101	64,8	8,1
2016/17 sitio 14	5,56	0,076	-0,0008	0,16	44,79	0,29	-	-	-
2016/17 sitio 15	4,50	0,103	-0,0005	0,12	60,82	0,26	-	-	-
2016/17 sitio 16	1,70	0,000	-0,0007	0,13	54,15	0,76	100	60,7	6,8

Referencias: c= coeficiente cuadrático; b= coeficiente lineal; a= ordenada al origen; R^2= coeficiente de determinación de la regresión; EER= error estándar de la regresión; RM= rendimiento de tubérculos en peso fresco máximo; ΔRto= variación del rendimiento al agregado de la DON.
[1]significantivo a $p \leq 0,05$;

La RtaN disminuyó al aumentar el contenido de Nan (Tabla 4). Por lo tanto, en ambientes con mayor potencial de mineralización (mayores niveles de Nan) la respuesta a la fertilización nitrogenada disminuye, siendo esta de 19-18 Mg ha^{-1} para Nan de 40-50 mg kg^{-1} y mínimas con niveles de Nan superiores a 80-90 ppm. Por lo tanto, la determinación del Nan ayudaría a explicar las variaciones en rendimiento entre ambientes de un mismo lote. En estudios realizados en los cultivos de maíz y trigo, también se determinó menor respuesta en rendimiento a la fertilización nitrogenada en lotes con mayor contenido de Nan (Sainz Rozas *et al*., 2008; Reussi Calvo *et al*., 2013).

Tabla 4: Parámetros y modelos para diferentes índices de calidad de suelo y cultivo.

Índices de calidad de suelo	Modelo	R^2	Valor p
N disponible a la plantación (Ni)	1) $Rto0N^{\S} = 48,46 + 0,04\ Ni$	0,003	0,8351
	2) $RtaN = 0,29 + 0,0002\ Ni$	0,000	0,9389
N incubado en anaerobiosis (Nan)	3) $Rto0N = 21,39 + 0,40\ Nan$	0,60	0,0004
	4) $RtaN = 0,83 - 0,0077\ Nan$	0,60	0,0019

Referencias: Rto0N= rendimiento de tubérculos frescos del tratamiento testigo sin agregado de nitrógeno; RtaN = respuesta en rendimiento al agregado de N ($\Delta Rto/Rto_0$)

Por lo tanto, a partir de los modelos presentados en la Tabla 4 se puede determinar el rendimiento del testigo y la respuesta en rendimiento a la fertilización, utilizando el Nan como índice edáfico de la disponibilidad de N previo a la plantación. Posteriormente, se puede estimar la dosis de N (dN) teniendo en cuenta la respuesta en rendimiento (Mg ha^{-1}), el requerimiento de N y la eficiencia de uso del N del fertilizante, según el siguiente ejemplo:

Datos de suelo en pre-plantación:
Nan = 50 mg kg^{-1}:

1- Determinación del rendimiento de tubérculos sin fertilización (Rto0N):
Rto0N (Mg ha^{-1}) = 21,39 + 0,40 Nan (Modelo 3)
Rto0N (Mg ha^{-1}) = 41,4 Mg ha^{-1}

2- Determinación de la respuesta a la fertilización nitrogenada respecto al testigo (RtaN):
RtaN = 0,83 – 0,0077 Nan (Modelo 4)
RtaN = 0,44

3- Determinación de la variación del rendimiento en Mg ha^{-1} de tubérculos:
Rto0N x RtaN (Mg ha^{-1}) = 18 Mg ha^{-1}

4- Estimación de la dN, considerando que el requerimiento del cultivo varía de 4-5 kg N Mg^{-1} de tubérculos fresco y la eficiencia de uso del fertilizante es 0,5 (Echeverría & Giletto, 2015):
dN = 18 Mg ha^{-1} x 4,5 kg N Mg^{-1}/0,5
dN = 162 kg N ha^{-1}

CONCLUSIONES

En este trabajo se determinó que el Nan contribuyó a mejorar el diagnóstico de requerimiento de N previo a la plantación en el cultivo de papa, ya que se ajustaron modelos para predecir el rendimiento del testigo sin fertilizar, la respuesta en rendimiento a la fertilización nitrogenada y la dosis de N en función del Nan. No obstante, los resultados deberían ser validados incorporando otras zonas productoras de papa para mejorar el diagnóstico de la fertilización nitrogenada a partir de la determinación de los índices edáficos de disponibilidad de N tales como el Ni y Nan.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, PA; HE Echeverría & HR Sainz Rozas. 2009. Dosis óptima económica de nitrógeno en trigo según momento de fertilización en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 27: 115-125.
- Bélanger, G; JR Walsh; JR Richards; PH Milburn & N Ziadi. 2001. Predicting nitrogen fertilizer requirements of potatoes in Atlantic Canada with soil nitrate determinations. Can J Soil Sci. 81:535-544.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science. 59:39-45.
- Caldiz, DO. 2007. Producción, cosecha, y almacenamiento de papa en la Argentina. McCain Argentina SA, Balcarce, Argentina. 226p.
- Domínguez, GF; GA Studdert; MV Cozzoli, & NV Diovisalvi. 2006. Relación entre el nitrógeno potencialmente mineralizable y el rendimiento de maiz. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, 19 al 22 de septiembre de 2006. En CD.
- Echeverría, HE & CM Giletto. 2015. Papa. En: Echeverría H.E.; García F.O. (eds.) Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 585-608.
- Echeverría, HE & HR Sainz Rozas. 2015. Nitrógeno. En: Echeverría H.E.; García F.O. (eds.) Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 189-228.
- Echeverria, HE; N San Martín & R Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. Ciencia del Suelo 18:9-16.
- Giletto, CM & HE Echeverría. 2013. Nitrogen balance for potato crops in the southeast pampas region, Argentina. Nutr Cycl Agroecosys 95:73-86.
- Giletto, CM; F Mateos Inchauspe; NI Reussi Calvo; S Silva; HE Echeverría. 2016. Contribución del nitrógeno incubado en anaerobiosis al diagnóstico de N en papa. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Río Cuarto, Córdoba.
- Giletto, CM; JE Rattín; HE Echeverría & Caldíz. 2007. Eficiencia de uso del nitrógeno en variedades de papa para industria cultivadas en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo 25(1): 43-51.
- Giletto, CM; JE Rattín; HE Echeverría & DO Caldíz. 2011. Requerimiento de nitrógeno para alcanzar máximo rendimiento y calidad en variedades de industriales de papa. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo 43(1): 85-95.

- Hyatt, CR; RT Venterea; CJ Rosen; M Mcnearney; ML Wilson & MS Dolan. 2010. Polymer-Coated Urea Maintains Potato Yields and Reduces Nitrous Oxide Emissions in a Minnesota Loamy Sand. Soil Sci Soc Am J. 74:419–428
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. En: Page A.L. *et al*. (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, EEUU. pp 643-698.
- O'Halloran, IP; AP Von Bertoldi & S Peterson. 2004. Spatial variability of barley (Hordeum vulgare) and corn (Zea mays L.) yields, yield response to fertilizer N and soil N test levels. Can J Soil Sci 84:307–316.
- Reussi Calvo NI; H Sainz Rozas ; HE Echeverría & A Berardo. 2013a. Contribution of anaerobiosis incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. Agronomy Journal. 105: 321-328.
- Reussi Calvo, N.; H Sainz Rozas; A Berardo; HE Echeverría & N Diovisalvi. 2013b. Simposio de Fertilidad. 22 y 23 de Mayo, Rosario, Santa Fé, Argentina. 269-272.

C3P57. EFECTO DEL AGREGADO DE LOMBRICOMPUESTO EN LA PRODUCCIÓN DE ROSELLAS (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Mijaluk, Alexis D. y Rojas, Julieta. M.

Estación Experimental Agropecuaria INTA Sáenz Peña. Ruta 95 Km 1108. Presidencia Roque Sáenz Peña. Argentina. rojas.julieta@inta.gob.ar

RESUMEN

Hibiscus sabdariffa L. es una planta anual, herbácea que pertenece a la familia Malvaceae. Se puede cultivar en climas tropicales y subtropicales, con temperaturas entre 22 y 30ºC, ya que es muy sensible a heladas. Requiere de 4 a 8 meses con temperaturas nocturnas mayores a 21°C. Requiere precipitaciones anuales entre 500 a 1000 mm; soporta períodos secos principalmente en la etapa de fructificación. Es una planta de día corto, sensible al fotoperíodo, por lo tanto lo ideal es sembrarla en primavera para tener un buen tamaño de planta previo a floración. Crece bien en la mayoría de los suelos con buen drenaje, razón por la cual los mejores suelos para su producción son los arenosos o con buena infiltración. El trabajo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA Sáenz Peña (Chaco-Argentina).Se realizó siembra directa de las rosellas a campo. El ensayo consistió en tres tratamientos con cuatro repeticiones dispuestas en bloques aleatorizados, y el objetivo fue el de obtener cinco plantas por parcela. Los tratamientos consistieron en: Testigo, Semilla inoculada con *Azospirillum*, Tratamiento con aplicación de lombricompuesto. Se observó una excelente respuesta al agregado de lombricompuesto, el cual aumentó el rendimiento de cálices de rosellas y generó un mejor establecimiento de las plantas ante condiciones adversas. Por el contrario, *Azospirillum* no sería un inoculante válido como biofertilizante para el cultivo de rosellas. Este estudio preliminar sobre el efecto del lombricompuesto en el cultivo se considera relevante para promover la protección de los suelos en pequeña escala por medio de un abono orgánico local de fácil adquisición, continuar con proyectos de alternativas productivas para pequeños productores y huertas domiciliarias favoreciendo fuentes extras de ingresos y al mismo tiempo contribuir a cuidar el medio ambiente.

Palabras claves: abono orgánico, cultivos alternativos, flor de Jamaica.

INTRODUCCIÓN

Hibiscus sabdariffa L., conocida como rosella o flor de jamaica, entre otros nombres, es una especie nativa de la región de India a Malasia y trasladada recientemente a África, aunque su cultivo se extiende por México, América Central y del Sur (Sáyago-Ayerdí & Goñi, 2010). Aunque existen más de 300 especies de *Hibiscus* alrededor del mundo, sólo *Hibiscus sabdariffa L.* posee los cálices carnosos que se utilizan para elaboración de té, jugos, mermeladas, helados y saborizantes, además de poseer cerca de 3% de pectinas por lo cual son utilizados como fuente de pectina para la industria de conservantes. La especie además tiene posibilidades medicinales, utilizándose las hojas para realizar infusiones y los cálices como diuréticos, coleréticos, antifebriles, hipotensores, antiespasmódicos y antihelmínticos.

Hibiscus sabdariffa L. es una planta anual, herbácea que pertenece a la familia Malvaceae. Alcanza de 1 a 2 m de altura. Posee tallos, pecíolos y cálices color rojo oscuro o claro. Las hojas son verdes con nervaduras rojas; las inferiores enteras y lanceoladas y las superiores palmadas con tres a cinco lóbulos. Las flores generalmente nacen solitarias en las axilas de las hojas o en racimos terminales. Los cálices se alargan en la madurez y los frutos son cápsulas carnosas, de color rojo brillante y forma ovoide. Contienen numerosas semillas reniformes; la reproducción puede hacerse por medio de estacas o semillas por siembra directa o trasplante. Se puede cultivar en climas tropicales y subtropicales, con temperaturas entre 22 y 30ºC, es muy sensible a heladas. Requiere de cuatro a ocho meses con temperaturas nocturnas mayores a 21°C y precipitaciones anuales entre 500 a 1000 mm, pero soporta períodos secos principalmente en la etapa de fructificación. La lluvia o la humedad relativa alta durante la cosecha y el secado pueden disminuir la calidad de los cálices y reducir la producción. Es una planta de día corto, sensible al fotoperíodo, por lo tanto lo ideal es sembrarla en primavera para tener un buen tamaño de planta previo a floración. Crece bien en la mayoría de los suelos con buen drenaje, razón por la cual los mejores para su producción son los arenosos o con buena infiltración; prefiere suelos profundos y con conductividad eléctrica menor a 4,0 mmhos/cm, nivel moderado de fertilidad natural y pH de 6,0-7,8 (Mc Caleb, 1996). El exceso de nitrógeno fomenta el crecimiento vegetativo y reduce la producción de frutos.

Figura 1: Planta adulta de rosella (izq.) y detalle de los cálices comestibles (der.)

En Argentina la producción de rosellas se podría enmarcar como producción alternativa, habiendo muy poca bibliografía al respecto y siendo popular principalmente en la provincia de Misiones. En Chaco se produce en pequeña escala desde el siglo pasado donde comenzó a sembrarse entre líneos de algodón, con el objetivo de confeccionar dulces, jaleas y una bebida llamada refresco, principalmente en campos de productores de descendencia europea. Como proyecto de rescate cultural de este cultivo parte del Proyecto Regional con Enfoque Territorial (PRET Dorsal Sur) y con el objetivo de medir rendimientos potenciales se condujo un ensayo en la EEA INTA Sáenz Peña entre 2016 y 2017, con un enfoque agroecológico dado el interés de que este tipo de productos de valor nutritivo se encuentren libres de agroquímicos y también contemplando la posibilidad de realizarlo como cultivo en muy pequeña escala en superficies que no siempre presentan óptimas características de suelo considerando la posibilidad de que las personas puedan tener plantas en sus hogares, que en muchos casos tienen tierra de relleno o mezclada con escombros. Por lo tanto además de medir los rendimientos potenciales, se evaluó la biofertilización con el inoculante *Azospirillum* y el agregado de lombricompuesto, común en huertas y que puede obtenerse en forma doméstica.

La lombricultura constituye hoy una biotecnología limpia, de bajo costo y de probada eficacia en lo concerniente a reconversión de residuos orgánicos biodegradables provenientes de diversas actividades (cría intensiva de animales, agricultura, industria alimentaria, etc.) posibilitando la obtención de un abono de excelentes propiedades (Giunta *et al*., 2015). Los biofertilizantes e inoculantes como *Azospirillum brasiliense*, el cual ha sido evaluado en la producción de maíz para aumentar la tolerancia al estrés hídrico, fijar nitrógeno, estimular el crecimiento vegetal y la proliferación radical (Cardozo *et al*, 2015; García *et al*., 2015). En la ciudad de Sáenz Peña se elabora un lombricompuesto basado en restos vegetales, papel y restos de madera de ramas de árboles en la huerta orgánica del Cottolengo Don Orione, que se vende al público a muy bajo precio para solventar gastos de herramientas para la huerta y la granja, siendo muy fácil de conseguir. Respecto al *Azospirillum* se está evaluando actualmente en ensayos de larga duración en la EEA Sáenz Peña específicamente en el cultivo de maíz. El objetivo del presente trabajo fue medir los rendimientos potenciales de rosellas en el centro de Chaco y evaluar el efecto de la aplicación de lombricompuesto de elaboración y venta local y de *Azospirillum* como biofertilizante.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA Sáenz Peña (Chaco, Argentina) entre octubre de 2016 y mayo de 2017. Se realizó siembra directa de las rosellas a campo el 17/10/ 2016 sobre un suelo clasificado como *Argiustol Údico*, que se encuentra sobre relieve normal, de textura pesada y que presenta riesgo de encharcamiento por drenaje imperfecto en suelos muy laboreados (Ledesma, 1996).

El ensayo de 72 m^2 consistió en tres tratamientos con cuatro repeticiones dispuestas en bloques aleatorizados, y el objetivo fue el de obtener cinco plantas por parcela de 6 m^2. Los tratamientos consistieron en:

- Testigo
- Semilla inoculada con *Azospirillum* obtenida de cepas mejoradas provenientes del IMYZA (Castelar), sumergidas 2 h antes de la siembra.

- Tratamiento con aplicación de lombricompuesto obtenido en el Cottolengo Don Orione (Sáenz Peña). El mismo se aplicó a una dosis de aproximadamente 20 g por planta cada 15 días. En la Tabla 1 se describe la composición del lombricompuesto analizado en el Laboratorio de Suelo y Agua de la EEA INTA Sáenz Peña.

Tabla 1: Propiedades químicas del lombricompuesto utilizado como abono

pH	CE	COT	MOT	N total	C/N	P	Na	K	Ca	Mg
	dS/m	%	%	%		ppm		cmol/kg		
6,7	12	14	24,1	1,48	9,4	860	8,3	18,7	76,9	56,7

Durante octubre de 2016, luego de la siembra, ocurrieron precipitaciones atípicas que sumaron 140 mm y quedó agua encharcada en el ensayo por lo tanto la emergencia no fue uniforme, quedando en pie menos plantas de las planificadas por tratamiento. Se decidió trabajar con las remanentes y determinar rendimientos de todas las plantas presentes, quedando sólo 17 plantas. Por este motivo no se realizó análisis estadístico.

La cosecha escalonada, durante el período de cultivo, se efectuó los días 19 /01/2017, 9/02/2017, 8/03/2017 y el 2/05/2017, recogiéndose los cálices que tenían una coloración rojiza oscura, la cual indica un estado óptimo de cosecha. El objetivo de la cosecha escalonada manual fue el de conservar la calidad del producto y aprovechar la floración continua. Una vez cosechados los cálices se separaron de las semillas y se determinó el peso fresco (PF). Luego se dejaron al sol hasta peso constante y se determinó peso seco (PS).

Figura 2: Cálices secándose al sol en la EEA INTA Sáenz Peña

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 17 plantas que superaron el encharcamiento inicial, 11 correspondieron al tratamiento de lombricompuesto, 6 al testigo y una sola planta germinó del tratamiento inoculado con *Azospirillum.* Más allá de las condiciones desfavorables que ocurrieron luego de la implantación, es importante considerar que el mayor número de plantas que finalizaron el ciclo fueron las que recibieron en la siembra y cada dos semanas la aplicación de lombricompuesto, el cual por su composición fue un aporte significativo de carbono, nitrógeno, fósforo y cationes, presentando valores considerablemente mayores de todos estos nutrientes que el suelo.

El tratamiento inoculado con *Azospirillum* se descartó porque sólo permaneció una planta en pie pero de todos modos se presentan los rendimientos también en la Tabla 2.

Tabla 2: Plantas remanentes y rendimiento total en el ciclo, promedio y máximo en peso fresco (PF)

Tratamiento	Nº plantas finales	Total cosechado en el ciclo kg/planta	Promedio kg /planta	Máximo rendimiento kg/planta
Testigo	6	8,6	1,4	1,8
Lombricompuesto	10	21,3	2, 1	3,0
Inoculado	1	0,17	0,1	0,1

Se cosechó un total de 30,5 kg en todo el ensayo y el promedio de materia seca o relación entre PS y PF fue de 10,08%, es decir que por cada kg de cálices frescos se obtuvieron aproximadamente 100 g de cálices secos. Hubo una

cosecha prácticamente perdida el 15/02/2017 porque los cálices sufrieron un gran ataque de *Aspergillus sp*. Según lo determinado en el Laboratorio de Fitopatología de la EEA Sáenz Peña. Este hongo podría haber estado del suelo y proliferado por condiciones óptimas para fructificar: excesiva humedad y acidez. A partir de esta experiencia se pudo apreciar la importancia de tener en cuenta las condiciones de postcosecha para evitar la contaminación por material extraño y que los cálices no toquen el suelo. El promedio de PF total fue de 2,13 kg/planta para lombricompuesto, 1,44 kg/planta para el testigo y sólo 0,17 kg/planta para el inoculado. En promedio, el tratamiento que recibió lombricompuesto rindió un 30% más que el testigo.

La efectividad del lombricompuesto en este cultivo es importante porque al ser una alternativa productiva factible de realizarse en pequeña escala y con posibilidades de introducirse en pequeñas explotaciones rurales, huertas domiciliarias o incluso hogares con el doble propósito de ornamentar y cosechar para la realización de dulces, té o bebida, hay mayor posibilidad de destinarle suelos de baja calidad química o física y por otro de aplicar en forma manual el abono periódicamente. Quedraogo *et al*. (2001) hallaron que el agregado de compost proveniente de residuos domésticos mejoró las propiedades morfológicas y químicas del suelo, incrementando los rendimientos de sorgo y mitigando los efectos negativos de retraso en la siembra. Las observaciones morfológicas que estos autores realizaron del suelo revelaron mejor estructura con numerosos poros, algunos relacionados con la actividad de termitas y lombrices en parcelas que recibieron el abono. En el presente trabajo probablemente el compost aumentó la actividad biológica e influyó en la estructura del suelo amortiguando los efectos del encharcamiento y mejorando las condiciones para la germinación y emergencia de las plántulas. Bonanomi *et al*. (2014), utilizaron grandes dosis de abono orgánico basado en compost de residuos domésticos y restos de madera para evaluar la rápida recuperación de la fertilidad del suelo y aporte de carbono en suelos destinados a la producción de hortalizas, y concluyeron también que el abono aumentó el stock de carbono orgánico y mejoró la actividad biológica y bioquímica además de lograr mayores rendimientos. Este efecto estuvo más relacionado con un alto volumen de abono aportado que con la proporción de restos de madera mezclada con el compost. En el presente trabajo, la aplicación de lombricompuesto cada dos semanas en la base de cada planta, sumó aproximadamente 220 g de lombricompuesto agregado por planta en todo el ciclo estudiado.

CONCLUSIONES

Se observó una excelente respuesta al agregado de lombricompuesto, el cual aumentó el rendimiento de cálices de rosellas y generó un mejor establecimiento de las plantas ante condiciones adversas. Por el contrario, *Azospirillum* no sería un inoculante válido como biofertilizante para el cultivo de rosellas.

Este estudio preliminar sobre el efecto del lombricompuesto en el cultivo se considera relevante para promover la protección de los suelos en pequeña escala por medio de un abono orgánico local de fácil adquisición, continuar con proyectos de alternativas productivas para pequeños productores y huertas domiciliarias favoreciendo fuentes extras de ingresos y al mismo tiempo contribuir a cuidar el medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto Regional con Enfoque Territorial (PRET Dorsal Sur) CHAFOR 1241101; a Mónica Spoljaric, María Eugenia Quirolo y María Florencia Roldán por la colaboración en la cosecha y separado de cálices; a Florencia Casse del Laboratorio de Fitopatología por determinar el hongo que afectó a los cálices, todos parte de la EEA INTA Sáenz Peña.

BIBLIOGRAFÍA

- Bonanomi, G; RD Ascoli; SA Gaglione & M Gonzalez Caceres. 2014. Soil quality recovery and crop yield enhancement by combined applicaton of compost and wood to vegetables grown under plastic tunnels. Agr Ecosyst Environ 192:1-7
- Cardozo, P; C Travaglia; J Fortuna; M Garau; O Masciarelli & H Reinoso. 2015. Tolerancia de Azospirillum sp. a herbicidas y su efecto en etapa temprana de crecimiento en dos híbridos de maíz. X Reunión Nacional Científico-Técnica de Biología del Suelo. II Congreso Nacional de Biología Molecular de Suelos. Fac. Ciencias Agrarias UNJu. San Salvador de Jujuy. 2-4 septiembre de 2015.
- García, JE; C Creus; R Suárez Rodríguez; JA Ramírez- Trujillo; A Perticari & MD Groppa. 2015. Respuesta temprana al estrés hídrico de plantas de maíz inoculadas con diferentes cepas de Azospirillum brasilense. X Reunión Nacional Científico-Técnica de Biología del Suelo. II Congreso Nacional de Biología Molecular de Suelos. Fac. Ciencias Agrarias UNJu. San Salvador de Jujuy. 2-4 septiembre de 2015.

- Giunta SA; HS Jáuregui; RI Ponce & LB Cruz. 2015. Evaluación de lombricompuestos provenientes de estiércol de oveja y llama como sustrato en el cultivo de perejil. X Reunión Nacional Científico-Técnica de Biología del Suelo. II Congreso Nacional de Biología Molecular de Suelos. Fac. Ciencias Agrarias UNJu. San Salvador de Jujuy. 2-4 septiembre de 2015.
- Ledesma, LL. 1996. Carta de suelos de la Estación Experimental Agropecuaria de Presidencia Roque Sáenz Peña (Chaco). EEA INTA Sáenz Peña. Chaco. Argentina
- McCaleb, R. 1996. Roselle production manual (*Hibiscus sabdariffa*). www.herbs.org/africa/hibiscus_production_manual.html. Fecha de consulta: 5/08/2015
- Sáyago-Ayerdi SG & I Goñi. 2010. *Hibiscus sabdariffa* L.: Fuente de fibra antioxidante. Archivos Latinoamericanos De Nutrición. Vol 60 1 79:84
- Quedraogo, E; A Mando & NP Zombré. 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. Agr Ecosyst Environ 84: 259:266

C3P58. EFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO EN CEBADA PARA AMBIENTES CONTRASTANTES DE LA REGIÓN PAMPEANA

Orcellet, Juan M.[1]; Reussi Calvo, Nahuel I.[1,2,3]; Queirolo, Ignacio[1]; Sainz Rozas, Hernán[1,2] y Prystupa, Pablo[4]

[1]INTA. [2]CONICET. [3]Fertilab, Moreno 4524, (7600) Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. [4]Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
orcellet.juan@inta.gob.ar

RESUMEN

En Argentina el cultivo de cebada se realiza en diversas condiciones edafoclimáticas, en la mayoría de las situaciones el nitrógeno (N) es el principal nutriente que limita el rendimiento y el contenido de proteína (PB). Frente a dicho escenario, es imprescindible maximizar la eficiencia de uso de N (EUN), para conseguir dicho objetivo el fraccionamiento de N sería una práctica agronómica de gran utilidad. El objetivo del presente trabajo fue evaluar en dos zonas, el sudeste bonaerense (SEB) y en el norte de la región pampeana (NRP), el efecto del fraccionamiento de N en el cultivo de cebada sobre el rendimiento, PB, EUN y eficiencia de recuperación en grano (ERNg). En la campaña 2016 se realizaron 13 experimentos de fertilización nitrogenada en cebada bajo siembra directa en diferentes ambientes, 7 en el SEB y 6 en el NRP. En todos los sitios experimentales, el diseño fue en bloques completos aleatorizado con tres repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron diferentes dosis de N (0, 80, 120 y 160 kg N ha^{-1}) aplicadas a la siembra y fraccionadas (50% en Z1.2-50% en Z3.1), en todos los tratamientos la fuente de N utilizada fue Urea (46-0-0). Para el SEB se determinó que el fraccionamiento de N no afectó el rendimiento, la PB, la EUN ni la ERNg, esto se explicaría por la ausencia de excesos hídricos posteriores a la siembra del cultivo. Por otro lado, el NRP presentó una disponibilidad hídrica óptima en los estadíos iniciales del cultivo, por esto el fraccionamiento del N incrementó significativamente el rendimiento, la EUN y la ERNg. En síntesis, el fraccionamiento de N en cebada sería una práctica agronómica conveniente para el SEB (con o sin excesos hídricos) y para el NRP (condiciones hídricas óptimas).

Palabras clave: Nutrición, momento, eficiencia

INTRODUCCIÓN

Argentina es el mayor productor de cebada (*Hordeum vulgare L.*) de Sudamérica, con una producción anual de 4,1 millones de Mg $año^{-1}$. Dicho cultivo se realiza en varias provincias, sin embargo el 95% de la producción nacional se concentra en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. El principal destino de la producción es la elaboración de malta, por lo tanto, el rendimiento no es el único aspecto a evaluar, sino también la calidad industrial del grano producido.

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita la producción de cebada, dado que su deficiencia reduce el número de grano por unidad de superficie (Prystupa *et al.*, 2004). Además, la deficiencia de dicho nutriente impacta de manera negativa en la calidad industrial del grano, especialmente en el contenido de proteína (PB). Por lo tanto, es necesario un manejo racional de la nutrición nitrogenada, lo cual incluye la correcta selección de: la dosis, la fuente, la forma y el momento (Brulsema *et al.*, 2008). Esto permitiría no solo maximizar la eficiencia de uso de N (EUN), sino también reducir el potencial impacto ambiental negativo de la práctica de fertilización.

Para definir el momento correcto de la fertilización nitrogenada es necesario conocer dos aspectos: la demanda del cultivo y el ambiente de producción (balance hídrico). En cuanto a la demanda del cultivo, la cebada posee baja absorción de N hasta principio de macollaje, sin embargo las necesidades de N se hacen máximas desde fines de macollaje hasta espigazón (Lazzari *et al.*, 2001). Por ende, una deficiencia de N en dicho período impacta directamente en la tasa de aparición y número final de macollos, afectando finalmente el número de grano por unidad de superficie (Prystupa *et al.*, 2004).

En cuanto al ambiente de producción el cultivo de cebada en Argentina se realiza en diversas condiciones edafoclimáticas, siendo contrastantes las diferencias entre el sudeste bonaerense (SEB) y el norte de la región pampeana (NRP). El SEB se caracteriza por tener una muy baja probabilidad de déficit hídrico (menor al 5%) desde la siembra hasta la espigazón en cereales de invierno (Reussi Calvo & Echeverría, 2006). Sin embargo, para realizar un manejo racional del N es necesario considerar la probabilidad de excesos hídricos, siendo esta del 33 % para la segunda década de julio (Reussi Calvo & Echeverría, 2006). Estas condiciones conjuntamente con la escasa demanda atmosférica, generan un

ambiente propicio para la pérdida de N del sistema mediante lixiviación (Barbieri *et al.*, 2008). Por lo tanto, el fraccionamiento de la dosis de N en estos ambientes sería una práctica recomendable con el objetivo de maximizar el rendimiento y la EUN (Barbieri *et al.*, 2008; Orcellet *et al.*, 2015).

Por otro lado, el NRP se caracteriza por presentar escasas precipitaciones durante el ciclo del cultivo, especialmente en los meses invernales. Por dicho motivo, para el centro de Santa Fe se determinó que el rendimiento de los cereales invernales depende en gran medida del agua almacenada al inicio del cultivo y de las precipitaciones en los meses de Junio, Julio y Agosto (Villar, 2000). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar en zonas con condiciones edafoclimáticas contrastantes (SEB y NRP) el efecto del fraccionamiento de N en el cultivo de cebada sobre el rendimiento, PB, EUN y eficiencia de recuperación en grano (ERNg).

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña 2016 se realizaron 13 experimentos de fertilización nitrogenada en cebada bajo siembra directa en diferentes ambientes de la RP, 7 en el SEB y 6 en el NRP (centro de Santa Fe). En todos los sitios, el diseño experimental fue en bloques completos aleatorizado con tres repeticiones. En el SEB se evaluaron cuatro dosis de N aplicadas en dos hojas (Z12) (Zadoks *et al.*, 1974) (0, 80, 120 y 160 kg N ha^{-1}) y tres dosis fraccionadas [80Nf= 40N en Z12 y 40N en un nudo (Z3.1); 120Nf = 60N en Z12 y 60N Z3.1 y 160Nf = 80N en Z12 y 80N Z31]. En el NRP los tratamientos fueron similares, la única diferencia es la ausencia de la dosis de 160 kg N ha^{-1}. En todos los sitios experimentales la fuente de N utilizada fue Urea (46-0-0) granulada aplicada al voleo en cobertura total. Para que no existan limitaciones de fósforo y azufre se aplicó a la siembra 25 y 20 kg ha^{-1}, respectivamente.

A la siembra del cultivo se realizó un muestreo de suelo en superficie (0-20 cm) para caracterizar cada sitio, donde se determinó el contenido de materia orgánica (MO) (Walkley & Black, 1934), fósforo extractable (P bray) (Bay & Kurtz I, 1945) y nitrógeno anaeróbico (Nan) (Bremner & Keeney, 1965) y en el perfil (0-60 cm) para N-NO_3^- (Keeney & Nelson, 1982) y humedad gravimétrica (al metro de profundidad). Para el cálculo del N-NO_3^- en kg ha^{-1} se asumió un valor medio de densidad aparente de 1,2 Mg m^{-3}.

A cosecha se evaluó el rendimiento y se expresó al 13,5 % de humedad. Además, se determinó la concentración de N total en grano (N gr) por combustión seca mediante el método Dumas utilizando un analizador TruSpec CN. La concentración de N gr se transformó a PB utilizando un factor de 5,7 (CACBUE, 2013). La EUN del fertilizante se calculó como el cociente entre la diferencia de rendimiento del tratamiento fertilizado y el testigo, y los kg de N aplicados. La ERNg se determinó de forma similar, empleando el contenido de N gr. Por otra parte, en base a las precipitaciones y humedad inicial, se realizó balance de agua utilizando el método de Della Maggiora *et al.* (2003).

Para evaluar las diferencias entre tratamientos y/o zonas, se realizó análisis de la varianza utilizando el procedimiento incluido en las rutinas del programa R commander. Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas, se empleó el Test de la diferencia mínima significativa (DMS), con un nivel de probabilidad de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el SEB, la disponibilidad inicial de N fue en promedio de 53 kg N ha^{-1} (mínimo de 31 kg N ha^{-1} y máximo de 97 kg N ha^{-1}), y el contenido promedio de Nan fue de 67 mg kg^{-1} (mínimo de 44 mg kg^{-1} y máximo de 111 mg kg^{-1}). Para ambas variables se determinaron diferencias significativas entre sitios experimentales (datos no mostrados). Por otro lado, en el NRP la disponibilidad inicial de N fue en promedio de 40 kg N ha^{-1}, con valores que van desde 26 kg N ha^{-1} hasta 57 kg N ha^{-1}, siendo significativas las diferencias entre sitios experimentales (datos no mostrados). El contenido promedio de Nan fue de 59 mg kg^{-1} (mínimo de 54 mg kg^{-1} y máximo de 61 mg kg^{-1}). La diferencia en el contenido de Nan entre sitios experimentales fueron no significativas, lo cual se explicaría en parte por la similitud en tipo de suelo e historia de manejo. Al comparar las variables edáficas entre zonas de producción, solo se determinó diferencia significativa ($p< 0,05$) en el contenido de MO, siendo el promedio de 5,3 y 2,6 % para el SEB y NRP, respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1: Fosforo extractable (P Bray), materia orgánica (MO), nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan) y disponibilidad inicial de $N\text{-}NO_3^-$ (N inicial) para el sudeste bonaerense (SEB) y del norte de la región pampeana (NRP). Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas con un DMS 5 % de probabilidad.

Zona		P Bray (mg kg^{-1})	MO (%)	Nan (mg kg^{-1})	N inicial (kg ha^{-1})
		----------(0-20cm) -------			(0-60 cm)
SEB	**Promedio**	10 **a**	5,3 **b**	67 **a**	53 **a**
	Desvío	4	0,9	21	21
NRP	**Promedio**	15 **a**	2,6 **a**	59 **a**	40 **a**
	Desvío	5	0,3	3	11

Las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo fueron en promedio de 288 y 294 mm para el SEB y para el NRP, respectivamente. En la Figura 1 se presenta el balance hídrico decádico para cada una de las zonas de producción. En el SEB se presentó adecuada disponibilidad hídrica, ya que el contenido de hídrico del suelo se ubicó por encima del umbral fisiológico durante la mayor parte del ciclo (Figura 1). En el NRP, la disponibilidad hídrica fue adecuada hasta el estadío de encañazón. Sin embargo, en estos sitios, al inicio del cultivo la napa se encontraba en promedio a los 80 cm de profundidad, por lo tanto esta fuente de agua contribuyó a mitigar el balance hídrico negativo. Es válido mencionar que en ambas zonas no se determinaron excesos hídricos en los estadios iniciales del cultivo.

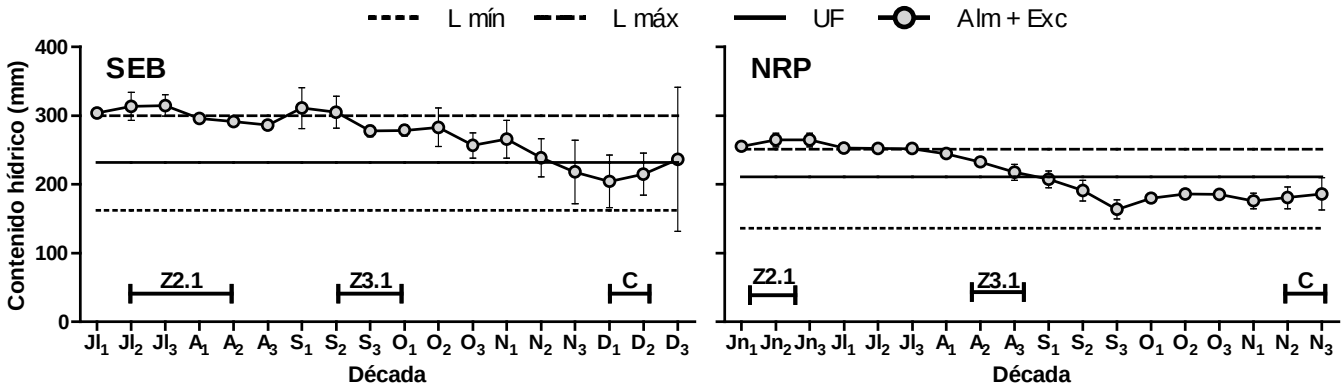


Figura 1: Balance hídrico decádico promedio durante el ciclo del cultivo para los sitios del sudeste bonaerense (SEB) y del norte de la región pampeana (NRP). L_{max}: límite máximo, L_{min}: límite mínimo, Alm+Exc: agua almacenada + excesos hídricos y UF: umbral fisiológico. Z2.1: dos hojas, Z3.1: 1 nudo. C = cosecha.

El rendimiento promedio (sitios-dosis) para el SEB fue de 5.752 kg ha^{-1}, con valores que van desde 3.097 kg ha^{-1} y hasta 7.316 kg ha^{-1}. Para el NRP el rendimiento promedio fue de 5.522 kg ha^{-1}, con valores mínimos de 2.224 kg ha^{-1} y máximos de 7.424 kg ha^{-1}. Para ambas zonas, se determinó respuesta al agregado de N, siendo en promedio de 1.895 kg ha^{-1} para el SEB (mínimo= 778 kg ha^{-1} y máximo=2.502 kg ha^{-1}), y de 1.781 kg ha^{-1} para el NRP. (mínimo= 843 kg ha^{-1} y máximo=3.320 kg ha^{-1}). Para ambas zonas, el rendimiento máximo se obtuvo con la dosis de 80 kg N ha^{-1} (Figura 2a y b). La EUN fue similar para las zonas analizadas siendo el promedio de 17 y 19 kg grano kg Nf^{-1} para el SEB y el NRP, respectivamente (Figura 2c y d).

El contenido de PB es una característica de interés para la industria, por lo tanto, es importante evaluar el efecto de la dosis y el fraccionamiento de N sobre dicha variable. Para las dos zonas, se determinó incrementos en el contenido de PB por efecto de la dosis de N (Figura 2e y f). El contenido de PB promedio (sitios-dosis) fue de 9,2 y 11,6 %, para el SEB y el NRP, respectivamente. El máximo nivel de PB se determinó en los tratamientos que recibieron la máxima dosis de N para cada zona. Por otro lado, al evaluar el efecto del fraccionamiento sobre el contenido de PB, se observó cómo tendencia que el fraccionamiento incrementó la PB del grano de cebada, especialmente en el SEB (Figura 2e). En línea con lo mencionado, se determinó una mayor ERNg para los tratamientos fraccionado respecto a la dosis completa a la siembra del cultivo. Estos resultados coinciden con lo reportado por otros autores (Barbieri *et al.*, 2008; Orcellet *et al.*, 2015).

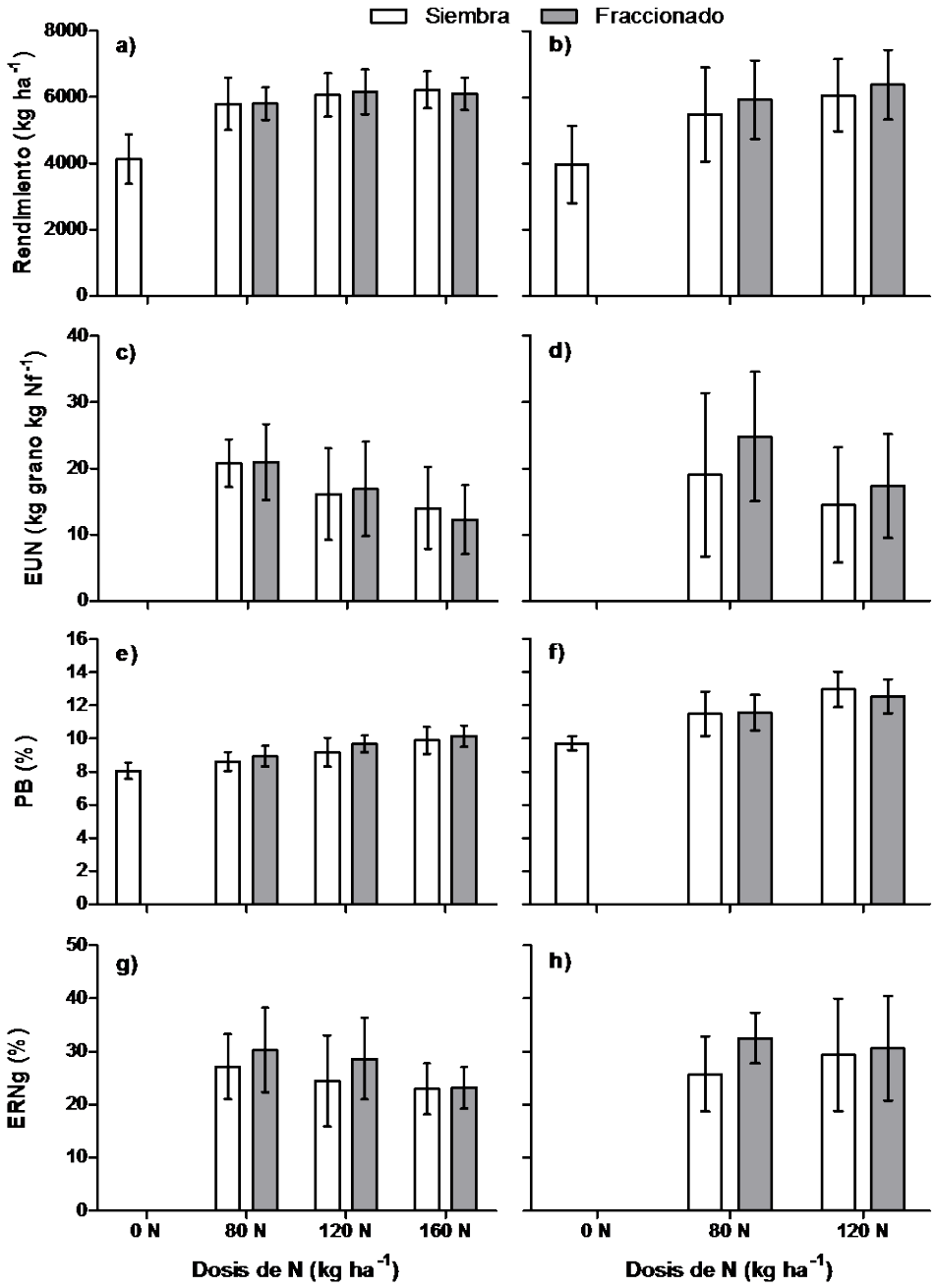


Figura 2: Rendimiento (**a**;**b**), eficiencia de uso del N (EUN) (**c;d**) , Proteína (PB) (**e**;**f**), y eficiencia de recuperación de N en grano (ERNg) (**g**;**h**) para los tratamientos aplicados a la siembra (barras vacías) y fraccionado (barras llenas) evaluados en el sudeste bonaerense (SEB) y en el norte de la región pampeana (NRP). Líneas verticales indican desvío estándar de la media.

Al evaluar en forma individual cada sitio, en el SEB se determinó que el fraccionamiento de la dosis de N, no incrementó significativamente el rendimiento en los sitios evaluados (n=7), y por ende tampoco la EUN (Tabla 2). Este resultado difiere del reportado por otros autores (Barbieri *et al.*, 2008; Orcellet *et al.*, 2015), lo cual se explicaría por la ausencia de excesos hídricos posteriores a la siembra del cultivo de cebada (Figura 1).

Por otro lado, para el NRP se determinó que el fraccionamiento de N incrementó el rendimiento del cultivo en 3 de los 11 casos (sitios*dosis) respecto a la dosis completa a la siembra (Tabla 2). Además, para dicha zona se determinó un aumento significativo en la EUN por efecto del fraccionamiento de N, siendo dicho incremento significativo en 5 de los 11 casos (sitio*dosis). En promedio, la EUN aumento en un 61% respecto a la dosis aplicada a la siembra. El NRP se caracteriza por bajas precipitaciones durante los estadios iniciales del cultivo de cebada, sin embargo en la campaña bajo estudio, el contenido hídrico del suelo se ubicó cercano al límite máximo de almacenaje (Figura 1), lo cual explicaría en parte los resultados.

Tabla 2: Rendimiento, eficiencia de uso de N (EUN), proteína (PB) y eficiencia de recuperación de N en grano (ERNg) para cada sitio experimental (n=13). Letras distintas para cada sitio, indican diferencias significativas con un DMS 5 % de probabilidad.

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Sitio 8	Sitio 9	Sitio 10	Sitio 11	Sitio 12	Sitio 13
Rendimiento (kg ha^{-1})													
	SEB							NRP					
Testigo	4895 **a**	4522 **a**	3655 **a**	3850 **a**	3699 **a**	5176 **a**	3097 **a**	3173 **a**	5003 **a**	5099 **a**	2224 **a**	4764 **a**	3586 **a**
80N	6472 **b**	6518 **b**	4870 **b**	5894 **b**	5375 **b**	6637 **c**	4779 **b**	6584 **b**	6797 **b**	6213 **b**	3167 **b**	5792 **b**	4370 **ab**
80Nf	6390 **b**	5924 **b**	5122 **bc**	5788 **b**	6048 **b**	6199 **bc**	5180 **bc**	6478 **b**	7375 **b**	6814 **c**	4223 **c**	5758 **ab**	4963 **b**
120N	6956 **b**	6020 **b**	5110 **bc**	6816 **bc**	6158 **b**	5719 **abc**	5678 **bc**	6291 **b**	7375 **b**	6731 **c**		5201 **ab**	4725 **ab**
120Nf	7316 **b**	6363 **b**	5267 **bc**	6562 **bc**	6014 **b**	5576 **ab**	6012 **c**	6619 **b**	7424 **b**	7229 **d**		5680 **ab**	4949 **ab**
160N	6903 **b**	6384 **b**	6040 **c**	6974 **c**	5547 **b**	5749 **abc**	5911 **c**						
160Nf	6677 **b**	5965 **b**	6148 **c**	6721 **bc**	5312 **b**	5840 **abc**	6030 **c**						
EUN (kg grano kg Nf^{-1})													
80N	20 **a**	25 **b**	15 **a**	26 **a**	21 **ab**	18 **b**	21 **a**	43 **a**	22 **a**	14 **a**	12 **a**	14 **a**	10 **a**
80Nf	19 **a**	18 **ab**	18 **a**	24 **a**	29 **b**	13 **ab**	26 **a**	41 **a**	30 **b**	21 **c**	25 **b**	14 **a**	17 **b**
120N	17 **a**	12 **a**	12 **a**	25 **a**	20 **ab**	5 **a**	22 **a**	26 **b**	20 **a**	14 **a**		4 **a**	9 **a**
120Nf	20 **a**	15 **a**	13 **a**	23 **a**	19 **ab**	3 **a**	24 **a**	29 **b**	20 **a**	18 **b**		9 **a**	11 **a**
160N	13 **a**	12 **a**	22 **a**	20 **a**	12 **a**	4 **a**	18 **a**						
160Nf	11 **a**	9 **a**	16 **a**	18 **a**	10 **a**	4 **a**	18 **a**						
PB (%)													
Testigo	8.4 **a**	8.4 **a**	7.8 **a**	7.3 **a**	7.6 **a**	8.2 **a**	8.6 **a**	9.4 **a**	9.2 **a**	9.5 **a**	9.9 **a**	9.8 **a**	10.4 **a**
80N	8.2 **a**	9.1 **abc**	8.1 **a**	7.8 **ab**	8.9 **b**	9.0 **ab**	9.3 **ab**	9.9 **a**	10.1 **ab**	11.1 **b**	12.0 **b**	12.4 **b**	13.4 **b**
80Nf	8.5 **a**	9.3 **bcd**	8.2 **a**	8.2 **bc**	9.0 **b**	9.6 **bc**	9.7 **b**	10.4 **ab**	10.5 **bc**	11.1 **b**	11.9 **b**	13.0 **bc**	12.4 **ab**
120N	9.4 **b**	9.0 **ab**	7.9 **a**	8.4 **bc**	10.0 **c**	10.4 **cd**	9.3 **ab**	12.3 **c**	11.7 **c**	12.9 **c**		13.5 **cd**	14.5 **b**
120Nf	9.5 **b**	9.8 **cde**	8.9 **b**	9.4 **d**	10.0 **c**	10.5 **cd**	9.7 **b**	11.6 **bc**	11.7 **cd**	12.6 **c**		14.1 **d**	12.7 **b**
160N	9.9 **b**	10.1 **de**	8.5 **ab**	9.3 **d**	10.7 **d**	10.8 **d**	10.0 **b**						
160Nf	10.0 **b**	10.5 **e**	10.0 **c**	8.9 **cd**	10.7 **d**	10.8 **d**	10.1 **b**						
ERNg (%)													
80N	20 **a**	35 **b**	18 **ab**	30 **ab**	32 **ab**	27 **b**	28 **a**	77 **b**	49 **a**	46 **a**	35 **a**	55 **b**	46 **a**
80Nf	22 **a**	28 **ab**	22 **ab**	32 **ab**	43 **b**	27 **ab**	38 **a**	83 **b**	69 **ab**	60 **b**	62 **b**	62 **b**	55 **a**
120N	27 **a**	17 **a**	13 **a**	32 **ab**	36 **ab**	18 **ab**	28 **a**	70 **a**	89 **b**	56 **ab**		34 **a**	45 **a**
120Nf	31 **a**	26 **ab**	20 **ab**	36 **b**	35 **ab**	17 **ab**	35 **a**	69 **a**	89 **b**	62 **b**		49 **b**	37 **a**
160N	23 **a**	22 **a**	18 **ab**	30 **ab**	25 **a**	16 **a**	26 **a**						
160Nf	21 **a**	20 **a**	27 **b**	26 **a**	23 **a**	17 **ab**	28 **a**						

Para los sitios del SEB, no se determinó efecto significativo del fraccionamiento de la dosis de N sobre el contenido de PB del grano (Tabla 2), similares resultados han sido reportados por trabajos realizado en dicha zona (Orcellet *et al.*, 2015). Sin embargo, para los 3 niveles de nitrógeno dicha práctica agronómica incremento en promedio 0,4 % el contenido de PB. En cuanto a la ERNg, en ninguno de los sitios experimentales se determinó incrementó significativo por fraccionar la dosis de N, siendo el incremento promedio solo un 3% de la ERNg con respecto a la dosis aplicada a la siembra.

En los sitios experimentales del NRP no se determinó incremento en el contenido de PB del grano, por efecto del fraccionamiento de la dosis de N (Tabla 2). Sin embargo, la ERNg incrementó significativamente en 3 de 11 casos (sitios*dosis) por efecto del fraccionamiento de N, siendo el incremento promedio de la ERNg del 50 % respecto a la dosis aplicada a la siembra. Debido al nulo efecto del fraccionamiento sobre el contenido de PB, este incremento en la ERNg se explicaría por el efecto del fraccionamiento sobre el rendimiento del cultivo.

En síntesis, el efecto del fraccionamiento de N sobre las distintas variables productivas (Rendimiento y PB) depende en gran medida de las condiciones hídricas del año. El SEB se caracteriza por presentar excesos hídricos en los estadios iniciales del cultivo (Reussi Calvo & Echeverría, 2006), es por esto que trabajos previos señalan la conveniencia del fraccionamiento de N en cereales de invierno (Barbieri *et al.*, 2008; Orcellet *et al.*, 2015). No obstante, en la campaña analizada no se registraron excesos hídricos, lo cual contribuye a explicar el nulo efecto del fraccionamiento (incremento y/o reducción) de la dosis de N sobre el rendimiento y PB. Por lo tanto, en función de los resultados obtenidos y sumado a los trabajos previos, parecería que en ambientes como el SEB sería conveniente el fraccionamiento de N, ya que en gran parte de los años se incrementaría el rendimiento (mayor EUN), mientras que en años sin excesos hídricos el rendimiento sería similar al aplicar la dosis completa a la siembra.

Por otro lado, el NRP se caracteriza por presentar escasas precipitaciones durante en los meses invernales, por lo tanto, el rendimiento de los cultivos de invierno depende en gran medida del agua disponible a la siembra y de las precipitaciones en dichos meses (Villar, 2000). Para la campaña bajo estudio, la disponibilidad hídrica fue óptima en los estadíos iniciales, ya que presentó buena disponibilidad inicial, y además las precipitaciones registradas en los meses invernales fueron similares al promedio de la zona. Estas condiciones, contribuyen a explicar el aumento en rendimiento, y por ende en EUN y ERNg, por efecto del fraccionamiento de N. Sin embargo, resultaría interesante en este tipo de ambiente continuar evaluado el fraccionamiento de N, especialmente en años con inviernos con precipitaciones inferiores a las normales. Dicha práctica agronómica, en estos ambientes y en años con baja disponibilidad de agua al inicio del cultivo, podría tomarse como método defensivo, ya que se podría definir la dosis de re-fertilización en función de las precipitaciones en los meses invernales.

CONCLUSIONES

Para las condiciones evaluadas (año sin excesos hídricos), el fraccionamiento de N en el SEB no afecto (incremento o reducción) el rendimiento, la PB, la EUN ni la ERNg. Esto evidencia la importancia de dicha práctica de fertilización aún en escenarios sin excesos hídricos.

Para el NRP, en un año con adecuada disponibilidad hídrica inicial y con un régimen pluviométrico promedio durante los primeros estadios del cultivo, se determinó que el fraccionamiento de N incremento el rendimiento del cultivo de cebada y EUN en el 46% de los casos. Sin embargo, para estos ambientes es necesario seguir evaluando el efecto del fraccionamiento de N, especialmente en años con precipitaciones invernales por debajo de lo normal.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, PA; HR Sainz Rozas & HE Echeverría. 2008. Time of nitrogen application affects nitrogen use efficiency of wheat in the humid pampas of Argentina. Can. J. Plant Sci. 88, 849-857.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59:39-45.
- Bremner, J & D Keeney. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. Annal. Chem. Acta. 32: 485-495.
- Bruulsema, TW; C Witt; F García; S Li; TN Rao; F Chen & S Ivanova. 2008. Marco global de las mejores prácticas de manejo (MPM) de los fertilizantes. INPOFOS Informaciones Agronómicas, (38), 1-4.
- CACBUE, 2013. Cámara Arbitral de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Norma V Anexo A. Norma de Calidad para la Comercialización de Cebada Cervecera. http://www.cabcbue.com.ar .
- Della Maggiora, AI; A Irigoyen; JM Gardiol; O Caviglia & L Echarte. 2003. Evaluación de un modelo de balance de agua en el suelo para el cultivo de maíz. Rev. Arg. Agrometeor. 2(2): 167-176.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. En: Page, A.L. et al. eds. Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 643-698
- Lázzari, A; MR Landriscini; M Cantamutto; AM Miglierina & R Rosell. 2001. Absorción de nitrógeno por cebada cervecera en dos suelos del sur bonaerense, Argentina. Ci. del Suelo 19:101-108
- Orcellet, JM; N Reussi Calvo; H Echeverría; H Sainz Rozas; N Diovisalvi & A Berardo. 2015. Eficiencia de uso de nitrógeno de cebada en el sudeste bonaerense: efecto de aplicaciones divididas. Ci. del Suelo 33 (1): 97-105.
- Prystupa, P; R Savin & GA Slafer. 2004. Peso y calibre de los granos de cebada cervecera en respuesta a deficiencias de fósforo y nitrógeno. VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. Octubre de 2004. En CD.
- Reussi Calvo, N & HE Echeverría, 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. Ci. del Suelo 24: 115-122.
- Villar, J. 2000. Economía del agua en el cultivo de trigo en el área centro de Santa Fe. En: Información técnica de trigo. Campaña 1998. Publ. Misc. Nº90. Trabajo N º2. INTA EEA Rafaela. 5 p.
- Walkley, A & Y Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed Codification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37 (1): 29-38.
- Zadoks, JC; TT Chang & CF Zonzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 14, 415-421.

C3P59. COMPARACIÓN DE FUENTES NITROGENADAS EN TRIGO Y MAÍZ

Pautasso, Juan M.

AER INTA Diamante. EEA INTA Paraná. Diamante. Argentina. pautasso.juan@inta.gob.ar

RESUMEN

El nitrógeno (N) es el nutriente que más limita la producción de los cultivos en todo el mundo y es también el de mayor consumo, en este contexto mejorar la eficiencia de uso del N (EUN) cobra singular importancia. Un proceso que se verifica al aplicar un fertilizante nitrogenado al cultivo es la pérdida que puede sufrir por volatilización, donde la urea tiene mayor potencialidad de pérdida del N por esta vía que otras fuentes. Estudios realizados en el país informan un rango de pérdidas que van de1% al 42% del N agregado, sugiriendo una mayor pérdida en el cultivo de maíz frente al cultivo de trigo, porque las condiciones ambientales que favorecen la volatilización son mayores durante la época cálida. El objetivo de este trabajo fue comparar dos fuentes nitrogenadas (CAN y urea) en los rendimientos y la EUN de los cultivos de maíz y trigo. Durante 5 años se llevaron a cabo 11 ensayos de fuentes nitrogenadas en los cultivos de trigo (7 ensayos) y maíz (4 ensayos) logrando cuantificar las diferencias que se pueden obtener en rendimiento y en la EUN cuando estos cultivos son fertilizados con dichas fuentes. Para el cultivo de trigo, si bien en promedio la fuente CAN tuvo valores mayores de rendimiento y EUN que la urea, las mismas no fueron significativas ($p > 0,05$). Para el cultivo de maíz la fuente CAN tuvo un mejor desempeño frente a la urea, tanto en rendimiento como en EUN ($p< 0,05$). Las condiciones potencialmente óptimas que favorecen la volatilización del N del fertilizante que se registran en la primavera podrían explicar los resultados obtenidos.

Palabras claves: Urea, Nitrato de amonio calcáreo, volatilización del nitrógeno.

INTRODUCCIÓN

Un manejo sostenible de la nutrición de las plantas consiste en realizar, para cada situación específica, un diagnóstico nutricional que permita la aplicación de la fuente correcta de nutrientes a la dosis adecuada, en el momento adecuado y el lugar correcto, requisitos necesarios para un manejo responsable de la nutrición que contribuya de manera sostenible a la productividad de los cultivos y de los sistemas, contemplando el equilibrio entre los aspectos ambientales, económicos y sociales (Bruulsema *et al.*, 2013).

El nitrógeno (N) es el nutriente que más limita la producción de los cultivos en todo el mundo y es también el de mayor consumo (IFA, 2018). Siendo el gasto de fertilización nitrogenada una proporción importante de los costos directos de los cultivos de maíz y trigo la eficiencia de uso de este insumo cobra singular importancia.

Al seleccionar la fuente de N es importante conocer los procesos que ocurren una vez aplicados al cultivo, entre ellos se encuentran los diferentes tipos de pérdidas. Una de las vías de pérdida del N es la volatilización de amoníaco, que afecta no sólo la eficiencia de uso del N (EUN) sino también al ambiente (Zubillaga & Zubillaga, 2013).

Echeverría & Sainz Rozas (2015), informan que pérdidas importantes de N por volatilización pueden ocurrir cuando el fertilizante utilizado es urea, donde la primera instancia al ser aplicada al suelo es la hidrólisis regulada por la enzima ureasa. Considerando que la actividad ureásica permite una rápida hidrólisis de la urea, esta etapa no limita el proceso de volatilización si el suelo está en condiciones óptimas de humedad. La incorporación de la urea, ya sea mediante alguna práctica de labranza o por acción del agua de lluvia o riego, reduce el N volatilizado. El nitrato de amonio calcáreo (CAN) es menos susceptible que la urea a las pérdidas por volatilización (Bruulsema *et al.*, 2013).

Con humedad del suelo no limitante, se determinó que la cantidad de amoníaco volatilizado desde la urea se relacionó linealmente con la temperatura del suelo (Barbieri *et al.*, 2010). Esta afirmación es coincidente con las determinaciones realizadas en cultivos de verano donde en general las pérdidas de N por esta vía son mayores y en algunas ocasiones los rendimientos reflejan las pérdidas; y por otro lado las pérdidas son menores en cultivos de invierno.

Relevante para este estudio, como una característica de la producción agrícola nacional, Argentina realiza los cultivos bajo el sistema de siembra directa en alrededor del 90% de la superficie (Nocelli Pac, 2016), cuando esta tecnología es adecuadamente implementada, se produce una acumulación de rastrojos en superficie que, si bien tiene un efecto favorable en la protección del suelo contra la erosión y mejora la economía del agua (Melchiori, 2011), puede

incidir negativamente en la eficiencia del uso de N (EUN) favoreciendo las pérdidas de N por volatilización de amoníaco (Echeverría & Sainz Rozas, 2015).

Los factores que regulan las pérdidas por volatilización y la complejidad de las interacciones entre los mismos hacen que este proceso sea de difícil predicción y de una elevada variabilidad entre zonas y/o años. Para el cultivo de maíz, en Argentina se han reportado pérdidas de N por volatilización cuando se aplica en superficie urea entre el 3% y el 42% (Echeverría & Sainz Rozas, 2015; Ferraris *et al*., 2009; Fontanetto & Keller, 2006; Barbieri *et al*., 2010); en cambio para el cultivo de trigo las pérdidas reportadas son inferiores, entre el 1% y el 7% del N de la urea agregada (Álvarez, 2006; Fontanetto *et al*., 2006).

En línea con los valores de pérdida de N por volatilización se informan mayores diferencias de rendimientos por el uso de distintas fuentes de fertilizantes nitrogenados en el cultivo maíz que en el cultivo de trigo. Zubillaga & Zubillaga (2013) a partir de una revisión de ensayos informan 435 kg más de maíz por hectárea al fertilizar con CAN en vez de urea y para los mismos tratamientos la diferencia fue de sólo 120 kg más de trigo. Melchiori (2011), comunica que en el cultivo de maíz con aplicaciones de N en V6 obtuvo la máxima respuesta con CAN, mientras que con urea, en igual estado del maíz, el rendimiento fue un 21% menos. Fontanetto *et al*. (2006) estimaron 333 kg por hectárea más de trigo cuando usaron CAN en vez de urea.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar para Entre Ríos las diferencias de rendimiento y EUN en los cultivos de trigo y maíz fertilizados con dos fuentes nitrogenadas (CAN y urea) a partir de una serie de ensayos realizados en diferentes campañas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cultivo de trigo

En el departamento Diamante, Entre Ríos, se realizaron 7 ensayos de fertilización nitrogenada comparando CAN y urea (en dosis iguales de N agregado) durante cuatro campañas. En todos los casos los suelos fueron Argiudoles vérticos. Los ensayos se ubicaron en lotes comerciales y el diseño fue en BCA con tres repeticiones. Al momento de la siembra se extrajeron muestras de suelos (0-20 cm). La fertilización nitrogenada se realizó al voleo cuando el cultivo estaba en el estado de 2-4 hojas. En todos los casos el cultivo fue fertilizado con fósforo. El N disponible (ND) se calculó como la suma de los kilogramos del N de los nitratos del suelo (0-20 cm) más el N del fertilizante. El tamaño de cada parcela fue de 2 metros ancho por 10 de largo y la cosecha fue manual de 4 líneas del cultivo por 4 metros de largo en la parte central de cada unidad experimental, luego la trilla se realizó con máquina estática. Los rendimientos se corrigieron a 13,5% de humedad. Más datos de los ensayos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Características ensayos de trigo.

Ensayo	Campaña	Antecesor	Dosis de N agregado (kg ha^{-1})
1	2013	Maíz	0 – 41
2	2013	Soja	0 – 41
3	2015	Soja	0 – 26 – 44 – 94
4	2016	Soja	0 – 19 – 32 – 82
5	2016	Soja	0 – 31 – 53 – 103
6	2017	Soja	0 – 26 – 44 – 94
7	2017	Maíz	0 – 26 – 44 – 94

Cultivo de maíz

Los cuatro ensayos de fertilización nitrogenada en maíz comparando CAN y urea también estuvieron ubicados en el departamento Diamante, Entre Ríos. Los ensayos se establecieron en lotes comerciales y el diseño fue en BCA con tres repeticiones. El muestreo de suelos, la fertilización nitrogenada y el cálculo del ND fue similar que para el cultivo de trigo. En todos los casos el cultivo fue fertilizado con fósforo. El tamaño de cada parcela fue de 5 surcos ancho por 10 metros de largo y la cosecha fue manual de 2 surcos por 4 metros de largo en la parte central de cada unidad experimental, luego la trilla se realizó con máquina estática. Los rendimientos se corrigieron a 14,5% de humedad. Más datos de los ensayos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Características ensayos de maíz.

Ensayo	Campaña	Tipo de suelo	Dosis de N agregado (kg ha^{-1})
1	2015	Argiudol ácuico	0 – 48 – 81 – 111
2	2016	Argiudol ácuico	0 – 31 – 52 – 112
3	2017	Argiudol ácuico	0 – 53 – 77 – 117
4	2017	Argiudol vértico	0 – 42 – 62 – 102

Respuesta de los cultivos al N agregado y EUN

La respuesta del rendimiento de los cultivos se evaluó a partir de la diferencia de cada tratamiento fertilizado frente al testigo y la EUN fue el cociente entre la respuesta y los kilogramos de N agregados.

Análisis estadísticos

Para estudiar el efecto en el rendimiento de trigo y maíz y las EUN de las distintas fuentes se realizaron análisis de varianza y de contrastes. El nivel de significancia fue del 5%, utilizando el Test de Tukey para las comparaciones de medias. Se realizó un ANOVA para cada ensayo, donde las fuentes de variación fueron fuente, dosis y bloque. También se hizo un ANOVA para cada cultivo donde las fuentes de variación fueron fuente, dosis y ensayo.

Para el cálculo de los umbrales de N se usó la metodología propuesta por Dyson & Conyers (2013) modificada por Correndo et al. (2017), denominado método del arcoseno-logaritmo (ALCC), que considera variables aleatorias tanto al rendimiento relativo (RR) como al valor del ND. El umbral se calculó para un 95% de RR. El RR se calculó como el cociente porcentual entre el rendimiento del tratamiento sin fertilizar y el rendimiento máximo medio observado. Para establecer si los modelos obtenidos con las dos series de datos (CAN y urea) pueden combinarse y representarse como una sola población o dos poblaciones diferentes, se probaron test de F (Mead *et al.*, 1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Trigo

En la Tabla 3 se muestra un resumen de los resultados de suelos, rendimiento y clima de cada ensayo y las comparaciones por fuente. En la Tabla 4 se informa la significancia de los contrastes tomando los ensayos en conjunto y en la Figura 1 los datos promedios de rendimiento de trigo para cada tratamiento.

Hubo respuesta significativa a la fertilización con N pero sin diferencia entre fuentes. En promedio el N agregado fue de 52,6 kg ha^{-1} y el rendimiento del trigo fertilizado con CAN, en promedio, superó en 129 kg ha^{-1} al fertilizado con urea. Las variables climáticas analizadas no se relacionaron con las diferencias de rendimientos entre fuentes.

Tabla 3: Datos de suelos, clima y rendimiento de los ensayos de trigo.

Ensayo	Rendimiento (kg ha^{-1})						Lluvia[1]	Temperatura[2]		Nitratos	P Bray I
	Testigo		UREA		CAN			Histórica	Del ensayo	ppm (0-20 cm)	
1	1962	b	2754	a	3324	a	13	12,5	13,4	40,6	6,2
2	2683	a	2411	a	2419	a	8	12,0	13,0	61,1	13,0
3	3056	b	3665	a	3665	a	3	12,0	13,5	42,7	23,8
4	2713	b	3396	a	3207	ab	17	13,4	15,1	66,0	18,8
5	1098	b	1566	a	1795	a	17	13,4	15,1	42,0	14,9
6	2533	a	2543	a	2692	a	7	13,4	15,5	31,0	17,8
7	1416	b	2113	a	2247	a	13	12,0	14,5	39,7	9,8

Letras distintas en el mismo ensayo indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). 1: primera lluvia mayor a 10 mm luego de la fertilización. 2: temperatura media del aire en el mes de la fertilización, Histórica: INTA Paraná 1934-2014.

Tabla 4: Efecto de los tratamientos en el rendimiento de trigo. Significancia de cada contraste

Efecto Fuentes	p-value
CAN Vs Testigo	<0,01
Urea Vs Testigo	<0,01
CAN Vs Urea	0,24

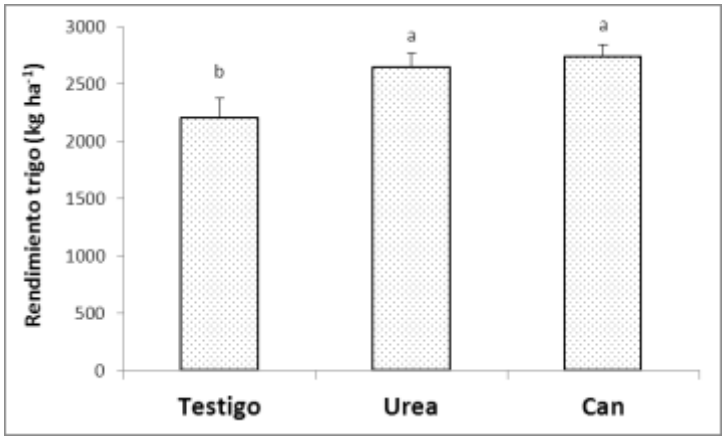


Figura 1: Rendimiento de trigo en función de los tratamientos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$)

El umbral calculado de ND (0-20 cm) para ambas fuentes fue similar (Figura 2) 69 kg ha^{-1} vs 78 kg ha^{-1}, CAN y urea respectivamente ($p = 0,90$). El umbral con todos los datos fue de 73 kg ha^{-1} de ND (R^2 0,38; $p < 0,05$), valor inferior al recomendado para la zona por Melchiori & Barbagelata (2002) explicado por los menores valores de rendimiento de trigo de estos ensayos. En la Figura 3 se informa la EUN para cada fuente y antecesor, sólo se encontró diferencias significativas para la EUN agregado cuando varió el antecesor. El efecto antecesor puede ser el responsable del bajo ajuste encontrado en los modelos de RR y ND para cada fuente.

En promedio la fuente CAN tuvo 26% más de EUN.

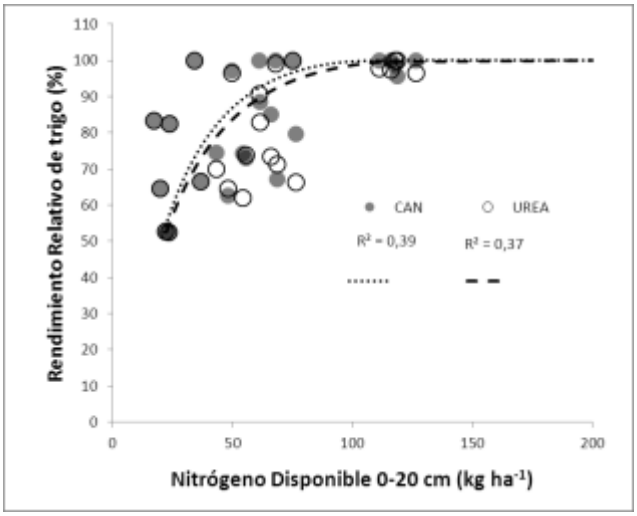


Figura 2: Relación entre el rendimiento relativo en grano de trigo y el nitrógeno disponible a la siembra.

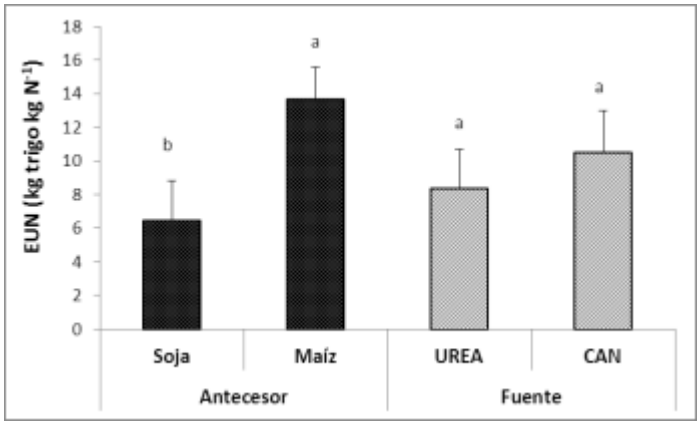


Figura 3: EUN según antecesor y fuente nitrogenada. Para cada variable letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Maíz

En la Tabla 5 se muestra un resumen de los resultados de suelos, rendimiento y del clima de cada ensayo y las comparaciones por fuente. En la Tabla 6 se informa la significancia de los contrastes tomando los ensayos en conjunto y en la Figura 4 los datos promedios de rendimiento de maíz para cada tratamiento.

En el análisis conjunto, donde el N agregado fue de 74 kg ha^{-1} en promedio, el rendimiento de maíz fue afectado significativamente por la fuente utilizada (Tabla 6 y Figura 4), logrando los mayores rendimientos con CAN que en promedio superó en 636 kg ha^{-1} al fertilizado con urea. Las variables climáticas analizadas no se relacionaron con las diferencias de rendimientos entre fuentes.

Tabla 5: Datos de suelos, clima y rendimiento de los ensayos de maíz.

Ensayo	Rendimiento (kg ha^{-1}) Testigo		UREA		CAN		Lluvia[1]	Temperatura[2] Histórica	Del ensayo	Nitratos ppm (0-20 cm)	P Bray I ppm (0-20 cm)
1	3389	c	5409	b	7010	a	16	20,9	21,1	29,2	12,8
2	8547	b	9962	a	10140	a	7	20,9	21,0	31,0	6,8
3	5176	b	5901	ab	6306	a	7	18,2	18,4	37,7	13,8
4	8015	a	8603	a	8963	a	8	18,2	18,4	54,0	21,6

Letras distintas en el mismo ensayo indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). 1: primera lluvia mayor a 10 mm luego de la fertilización. 2: temperatura media del aire en el mes de la fertilización, Histórica: INTA Paraná 1934-2014.

Tabla 6: Efecto de los tratamientos en el rendimiento de maíz. Significancia de cada contraste

Efecto Fuentes	p-valor
CAN Vs Testigo	<0,01
Urea Vs Testigo	<0,01
CAN Vs Urea	<0,01

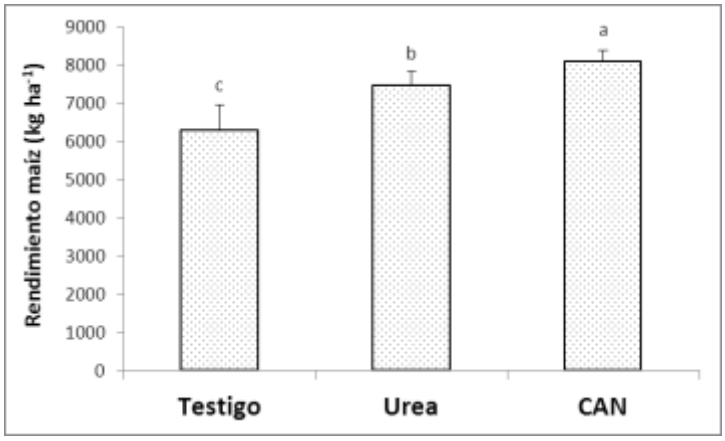


Figura 4: Rendimiento de maíz en función de los tratamientos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$)

Si bien los umbrales de ND entre fuentes no fueron diferentes ($p = 0,47$), para CAN el umbral fue de 79 kg ha^{-1} vs 114 kg ha^{-1} para la urea (Figura 2). El umbral con todos los datos fue de 93 kg ha^{-1} de ND (R^2 0,50; $p < 0,05$), inferior a la recomendación de ND (0-20 cm) en maíz cultivado en Entre Ríos, que es de 129 kg ha^{-1} (Melchiori y col., 2010).

En la Figura 3 se informa la EUN, se encontró diferencias significativas para la EUN agregado con la fuente utilizada. En promedio la fuente CAN tuvo 56% más de EUN.

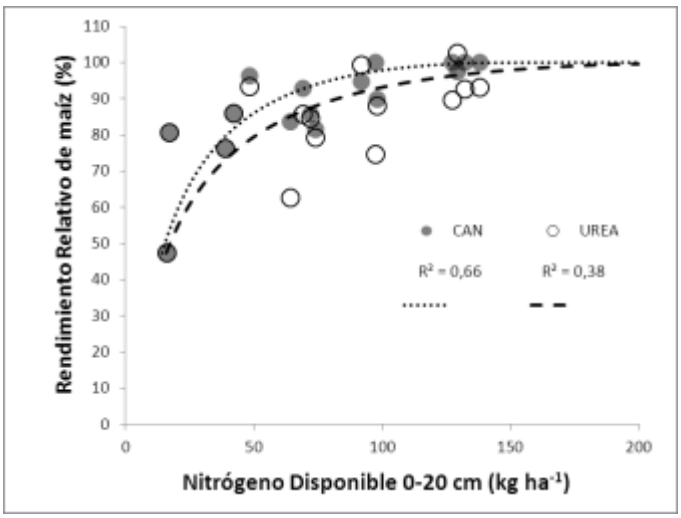


Figura 5: Relación entre el rendimiento relativo en grano (RR) y el nitrógeno disponible a la siembra a partir de CAN y urea.

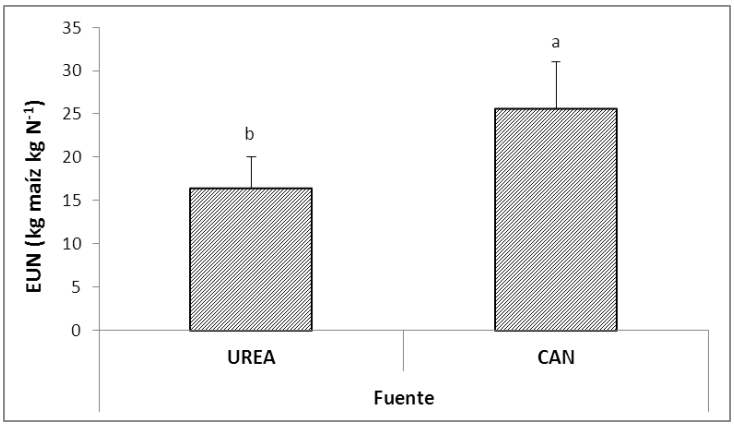


Figura 6: EUN según fuente nitrogenada. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

CONCLUSIONES

A partir del análisis conjunto de una serie de 11 ensayos de fertilización de fuentes nitrogenadas y en diversas condiciones de cultivo, se logró cuantificar las diferencias que se pueden obtener en rendimiento y en la EUN para trigo y maíz. Las principales conclusiones son:

- Para el cultivo de trigo, si bien en promedio la fuente CAN tuvo valores mayores de rendimiento y EUN que la urea, las mismas no fueron significativas.
- Para el cultivo de maíz la fuente CAN tuvo un mejor desempeño frente a la urea, tanto en rendimiento como en EUN.

Las condiciones potencialmente óptimas que favorecen la volatilización del N del fertilizante que se registran en la primavera podría ser la responsable de los resultados obtenidos.

AGRADECIMIENTOS

Por su generosa colaboración a los productores Ángel Olivero, Elbio Fischer, Ricardo Farall, Federico Dreiling, Matías Schneider, Luis Schanzenbach; al técnico César Reatto y al Ing. Gerardo Larroca (Yara).

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R. 2006. Balance de nitrógeno en cultivos de trigo. En: Información técnica de trigo campaña 2006. Publicación Miscelánea Nº 105. Pp. 23-35. INTA EEA Rafaela.
- Barbieri P; H Echeverría; H. Saínz Rozas y M. Maringolo. 2010. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. Ci. Suelo (Argentina) 28(1): 57-66, 2010.
- Bruulsema, T.; P. Fixen & G Sulewski. 2013. 4R de la nutrición de las plantas: un manual para mejorar el manejo de la nutrición de las plantas. 1ra edición. Acassuso: International Plant Nutrition Institute, 2013. 140 pg.
- Correndo, AA; F Salvagiotti; FO García & F.H. Gutiérrez-Boem. 2017. A modification of the arcsine-log calibration curve for analyzing soil test value–relative yield relationships. Crop & Pasture Science 68 (3): 297-304, doi: 10.1071/CP16444.
- Dyson, CB & MK Conyers. 2013. Methodology for online biometric analysis of soil test-crop response datasets. Crop & Pasture Science 64, 435-441.
- Echeverría, H & H Sainz Rozas. 2015. Nitrógeno. Pp. 189-228. En: H. Echeverría y F. García (eds.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- IFA. 2018. https://www.fertilizer.org/En/Statistics/PIT_Excel_Files.aspx. Fecha de consulta: marzo 2018.
- Ferraris GN; LA Couretot & Mirta Toribio. 2009. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. Informaciones Agronómicas Nº 43. Pp. 19-22.
- Fontanetto H & O Keller. 2006. Manejo de la fertilización en Maíz. Experiencias en la Región Pampeana Argentina. En: Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2006. Publicación Miscelánea Nº 106. pp 85-113 INTA EEA Rafaela.
- Mead, R; RN Curnow & AM Hasted. 1993. Statistical methods in agriculture and experimental biology. Chapman and Hall, London, 415p.
- Melchiori, R & P Barbagelata . 2002. Recomendación de Fertilización Nitrogenada en Trigo. Actualización Técnica en Trigo. INTA EEA Paraná. Serie de Extensión Nº 22. 33-38p
- Melchiori R.; P Barbagelata & O Caviglia. 2010. Recomendación de Fertilización Nitrogenada en Maíz. En: http://anterior.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/nitrogeno/metodoNitroMaiz.htm Fecha de consulta: marzo 2018.
- Nocceli Pac, S. 2016. Estimación de superficie en siembra directa. Campaña 2014-2015. https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2016/10/Estimaci%C3%B3n-de-superficien-en-SD-1.pdf. Fecha de consulta: marzo 2018.
- Zubillaga, M M & M S Zubillaga. 2013. Capítulo 4: Estrategias de aplicación del nitrógeno en agroecosistemas pampeanos. En Fertilización de cultivos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Ed. R. Álvarz, P. Prystupa, M. Rodríguez y C. Álvarez. Ed. FA-UBA. 652 páginas. ISBN 978-987-27793-7-5.

C3P60. FERTILIZACIÓN DE AVENA Y RAIGRÁS

Pautasso, Juan M.[1] y Quinodóz Enrique[2].

[1] AER INTA Diamante. EEA INTA Paraná. Diamante. Argentina. pautasso.juan@inta.gob.ar; [2] FCA UNER.

RESUMEN

Los verdeos tienen la capacidad de ofrecer altas producciones de forrajes en períodos relativamente cortos de tiempo, siendo un complemento de las pasturas permanentes. La demanda de nutrientes está estrechamente asociada con la producción de forrajes por lo que, para alcanzar elevados niveles productivos se debe recurrir al agregado de los mismos. Si bien la fertilización en pasturas es una tecnología conceptualmente reconocida, la correcta aplicación de esta práctica ha sido casi irrelevante. Los máximos beneficios de la fertilización se logran si se consideran las particularidades de cada sistema productivo, entre las que se encuentran las especies forrajeras utilizadas. En la costa oeste de Entre Ríos la información sobre producción e impacto de la fertilización con nitrógeno (N) y fósforo (P) en raigrás y avena es escasa en sistemas reales de producción, a pesar de ser los principales verdeos de invierno utilizados. El objetivo de este trabajo fue cuantificar para Entre Ríos las diferencias de rendimiento y el impacto de la fertilización con N y P en los verdeos de raigrás y avena a partir de una serie de ensayos realizados en diferentes campañas. En condiciones similares de crecimiento la avena y el raigrás tuvieron diferentes rendimientos y respuestas a la fertilización con P y N. Si bien los tratamientos testigos (sin N) tuvieron similares rendimientos para ambos verdeos, al fertilizarlos el raigrás produjo alrededor de un 30% más de materia seca que el cultivo de avena. El umbral de N disponible y las eficiencias de uso del N y del P fueron mayores en el raigrás que en la avena.

Palabras claves: verdeos, nitrógeno disponible, eficiencia agronómica de nutrientes.

INTRODUCCIÓN

Los verdeos tienen la capacidad de ofrecer altas producciones de forrajes en períodos relativamente cortos de tiempo (90-100 días), siendo un complemento de las pasturas permanentes (Marino & Berardo, 2014), pero para lograr elevados potenciales productivos se debe cubrir la demanda de nutrientes de los mismos.

En general la oferta de nutrientes desde el ambiente resulta insuficiente para satisfacer los requerimientos de las especies forrajeras. En nuestros sistemas productivos los dos nutrientes que mayormente limitan la productividad son el fósforo (P) y el nitrógeno (N), elementos claves en un plan de fertilización (García *et al*., 2002).

La demanda de nutrientes está estrechamente asociada con la producción de forrajes por lo que, para alcanzar elevados niveles productivos se debe recurrir al agregado de los mismos (Agnusdei *et al*., 2010; Rubio *et al*., 2012). Sin embargo, en los planteo ganaderos de Argentina, la aplicación de fertilizantes es escasa y está menos difundida que en las actividades agrícolas, por lo que frecuentemente las deficiencias nutricionales restringen la capacidad productiva de cada ambiente (Marino & Berardo, 2014) y si bien la fertilización en pasturas es una tecnología conceptualmente reconocida, su correcta aplicación ha sido casi irrelevante en la región (Agnusdei, 2012).

Por otro lado cultivos forrajeros mal nutridas no sólo producen menos que los fertilizados, sino también aportan menos carbono, generan menor calidad nutritiva e inician procesos de degradación de los suelos (Sheaffer *et al*., 2006; Marino & Berardo, 2014).

Para obtener los máximos beneficios de la práctica de la fertilización es imprescindible considerar las particularidades de cada sistema productivo, entre las que se encuentran las especies forrajeras utilizadas. Las respuestas al agregado de nutrientes suelen ser mayores en los verdeos de invierno que en los de verano, ya que su ciclo se desarrolla en un período de menores temperaturas, cuando la disponibilidad de los nutrientes es mínima por una menor mineralización de la materia orgánica (Echeverría & Bergonzi, 1995).

Para verdeos invernales como raigrás y avena se han reportado incrementos en la producción de forrajes con la aplicación de P y N (Fernández Grecco & Agnusdei, 2005; Borrajo *et al*., 2006; Scheneiter, 2013; Marino & Castaño, 2013) o de N con P no limitante (García *et al*., 2002), con eficiencias de uso del N entre 7 y 42 kg de materia seca (MS) por kilogramo de N agregado, en este rango se ubicaron ambas especies.

En la costa oeste de Entre Ríos la información sobre producción e impacto de la fertilización con N y P en raigrás y avena es escasa en sistemas reales de producción, a pesar de ser los principales verdeos de invierno utilizados.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar para Entre Ríos las diferencias de rendimiento y el impacto de la fertilización con N y P en los verdeos de raigrás y avena a partir de una serie de ensayos realizados en diferentes campañas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Avena

Durante cinco campañas se instalaron nueve ensayos de fertilización nitrogenada y seis de fertilización fosfatada en lotes comerciales del departamento Diamante (Entre Ríos). Los ensayos tuvieron un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental fue de 2 metros de ancho por 5 de largo.

Al momento de la siembra se extrajeron muestras de suelos (0-20 cm). La fertilización fosfatada se realizó al voleo con SFT a la siembra, en estos ensayos se agregó N a razón de 69 kg ha^{-1}. En los ensayos de N, la fertilización nitrogenada se realizó al voleo con urea cuando el cultivo estaba en el estado de 2-4 hojas. El N disponible (ND) se calculó como la suma de los kilogramos del N de los nitratos del suelo (0-20 cm) más el N del fertilizante. Los suelos donde se emplazaron los experimentos corresponden a Argiudoles vérticos. La producción de materia seca (MS) por hectárea se estimó a partir del corte de cuarto metro cuadrado de cada parcela, secado en estufa a 65ºC durante 48 horas y pesaje. Los cortes se realizaban al momento del aprovechamiento por parte del productor. Más datos de los ensayos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Características de los ensayos de avena.

Ensayo	Campaña	Dosis de N agregado (kg ha^{-1})	Dosis de P agregado (kg ha^{-1})[1]	Fecha siembra
1	2011	0 – 46 – 92	20	09-may
2	2013	0 – 46 – 92	20	25-abr
3	2014	0 – 18 – 64 – 92 – 110	0 – 20	18-mar
4	2014	0 – 46 – 92	0 – 20	18-abr
5	2014	0 – 35 – 69 – 110	20	05-jul
6	2015	0 – 46 – 92 – 110	0 – 20	21-abr
7	2017	0 – 46 – 92 – 110	0 – 20	19-mar
8	2017	0 – 46 – 92 – 110	0 – 20	23-jun
9	2017	0 – 46 – 92 – 110	0 – 20	23-jun

1. Los sitios donde figuran dos dosis de P corresponden a los sitios donde se realizaron los ensayos de P.

Raigrás

Durante tres campañas se instalaron tres ensayos de fertilización nitrogenada y dos de fertilización fosfatada en lotes comerciales del departamento Diamante (Entre Ríos). El diseño de los ensayos y tamaño de los mismos, los análisis de suelos, las fertilizaciones de N y P (fuentes y momentos), cálculo del ND, tipos de suelos y estimación de la producción de MS fue similar al de los ensayos de avena. Más datos de los ensayos de raigrás se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Características de los ensayos de raigrás.

Ensayo	Campaña	Dosis de N agregado (kg ha^{-1})	Dosis de P agregado (kg ha^{-1})[1]	Fecha siembra
1	2015	0 – 46 – 98 – 144	20	21-abr
2	2016	0 – 18 – 46 – 66 – 98 – 144	0 – 20	30-may
3	2017	0 – 46 – 98 – 144	0 – 20	15-mar

1. Los sitios donde figuran dos dosis de P corresponden a los sitios donde se realizaron los ensayos de P.

Respuesta de los verdeos al N agregado y EUN

La respuesta del rendimiento de los verdeos se evaluó a partir de la diferencia de cada tratamiento fertilizado frente al testigo y la EUN fue el cociente entre la respuesta y los kilogramos de N agregados.

Análisis estadísticos

Para el cálculo de los umbrales de N se usaron dos metodologías:

a) La propuesta por Dyson &Conyers (2013) modificada por Correndo *et al*. (2017), denominado método del arcoseno-logaritmo (ALCC), que considera variables aleatorias tanto al rendimiento relativo (RR) como al valor del ND. El umbral se calculó para un 95% de RR. El RR se calculó como el cociente porcentual entre el rendimiento del tratamiento sin fertilizar y el rendimiento máximo medio observado. Para establecer si los modelos obtenidos para avena y raigrás pueden combinarse y representarse como una sola población o dos poblaciones diferentes, se probaron test de F (Mead *et al.*, 1993).

b) También se obtuvieron los coeficientes del modelo de respuesta lineal-plateau para las producciones de MS de avena y raigrás y las EUN de ambos verdeos a través de algoritmos apropiados, logrando su resolución mediante la subrutina Solver del programa Microsoft® Excel 2007.

Para estudiar el efecto del agregado de P se realizaron ANOVA para cada verdeo donde las fuentes de variación fueron las dosis y los ensayos. El nivel de significancia fue del 5%, utilizando el Test de Tukey para las comparaciones de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta al agregado de N.

Los cortes efectuados en los ensayos de avena fueron en promedio 1,4; con máximos de 3 y mínimos de 1. Esto se debió a que en fechas tardías de siembra las avenas sólo se pudieron aprovechar una vez.

En la Tabla 3 se resumen los datos de variables de suelo, clima y producción para la avena.

Tabla 3: Datos de suelos, clima y rendimiento de MS de los ensayos de avena

Ensayo	Testigo	Fertilizado	N agregado (promedio)	Efecto N	EUN (promedio)	Nitratos	P Bray I	Lluvias[1]
	Kg MS ha^{-1}		kg ha^{-1}	valor P	Kg MS kg N^{-1}	ppm	ppm	Mm
1	825	1083	69	0,04	3,7	51,0	14,3	411
2	838	1226	69	0,21	5,6	41,4	20,0	270
3	1424	2528	89	<0,01	12,5	11,6	7,0	427
4	3258	3874	87	0,25	7,1	64,2	20,5	427
5	1879	2794	81	0,01	11,3	66,3	20,1	427
6	2170	3945	92	0,02	19,3	54,3	8,8	260
7	1684	2815	92	<0,01	12,3	33,8	22,3	421
8	2242	3443	92	<0,01	13,1	73,5	8,1	421
9	1966	3959	92	<0,01	21,7	73,5	8,1	421

1. Lluvias acumuladas durante los meses de febrero - marzo - abril.

Los cortes efectuados en el raigrás fueron en promedio 2,3; con máximos de 3 y mínimos de 2. En el ensayo que tuvo un tercer aprovechamiento, el valor de MS por hectárea fue muy bajo, en promedio alrededor de 800 kg ha^{-1}.

En la Tabla 4 se resumen los datos de variables de suelo, clima y producción para el raigrás.

Tabla 4: Datos de suelos, clima y rendimiento de MS de los ensayos de raigrás

Ensayo	Testigo	Fertilizado	N agregado (promedio)	Efecto N	EUN (promedio)	Nitratos	P Bray I	Lluvias[1]
	Kg MS ha-1		kg ha-1	valor P	Kg MS kg N-1	Ppm	ppm	Mm
1	2126	3669	92	<0,01	16,8	78,9	78,0	260
2	2316	4774	66	<0,01	37,2	81,4	16,8	725
3	1532	2864	92	<0,01	14,5	17,7	23,2	427

1. Lluvias acumuladas durante los meses de febrero - marzo - abril.

En las Figuras 1 y 2 se informan los rendimientos en kg de MS por hectárea obtenidos para las dosis frecuentemente utilizadas en los ensayos para cada uno de los verdeos. Ambos verdeos respondieron al agregado de N ($p< 0,05$).

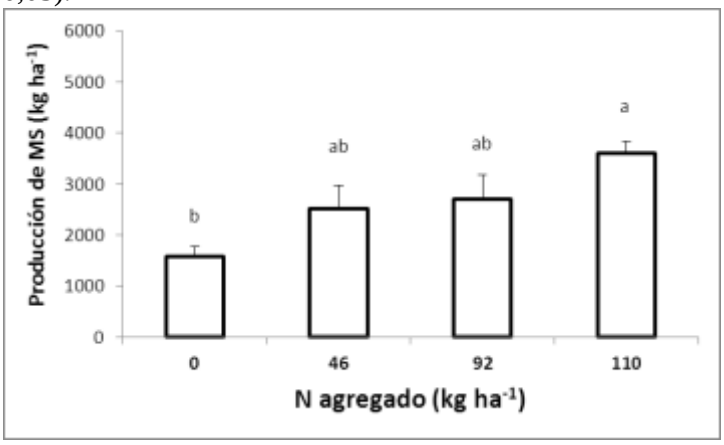


Figura 1: Producción de avena en MS por hectárea según dosis de N agregada. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

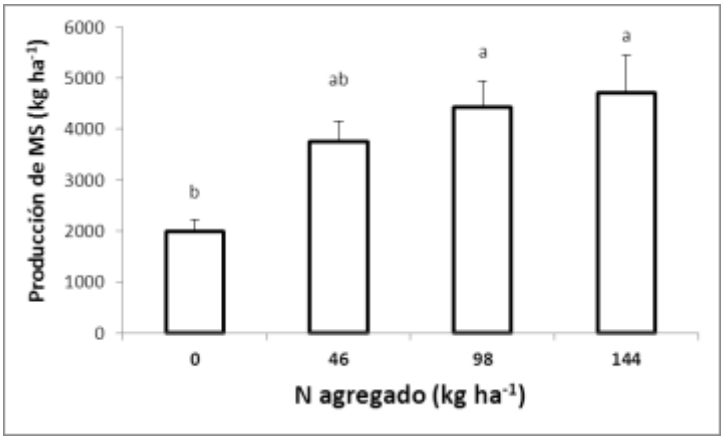


Figura 2: Producción de raigrás en MS por hectárea según dosis de N agregada. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Utilizando todos los datos, en las Figuras 3 y 4 se comparan las necesidades de ND de ambos verdeos.

Con la metodología que utiliza el RR, el ND fue de 83 kg ha^{-1} para la avena y de 124 kg ha^{-1} para el raigrás, siendo estadísticamente diferentes los modelos de fertilización para ambos verdeos ($p= 0,02$).

Los modelos lineal-plateau obtenidos con rendimientos absolutos de producción total de MS para cada verdeos y ND, también fueron estadísticamente diferentes ($p< 0,01$) entre sí. Con esta metodología se definió un umbral de ND para la avena de 92 kg ha^{-1} para un rendimiento de 3035 kg de MS ha^{-1} ($R^2 = 0,67$ y $p= 0,06$) y para raigrás de 104 kg ha^{-1} para un rendimiento de 4612 kg de MS ha^{-1} ($R^2 = 0,83$ y $p= 0,07$). En estos modelos la EUN disponible (pendientes obtenidas) fueron de 19 y 36 kg MS por kg ND para avena y raigrás, respectivamente.

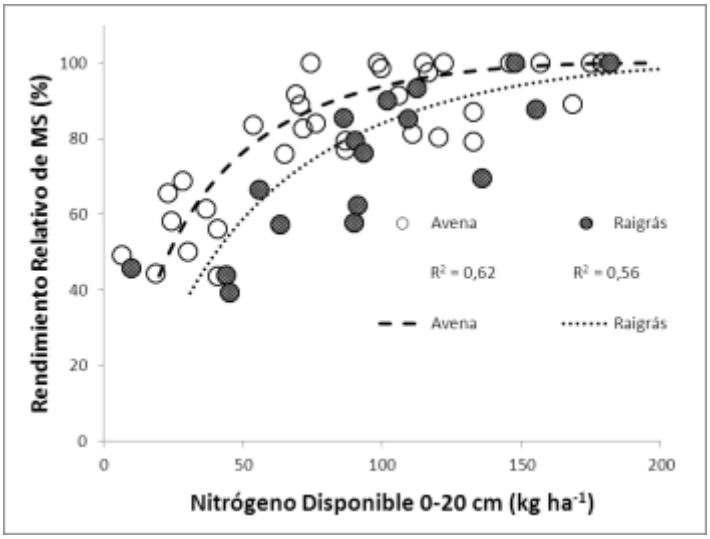


Figura 3: Relación entre el rendimiento relativo de MS y el nitrógeno disponible a la siembra para avena y raigrás.

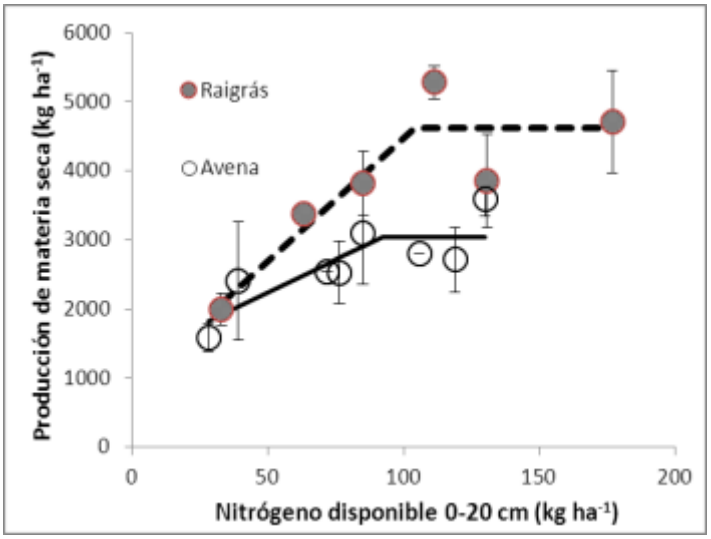


Figura 4: Relación entre el rendimiento de MS y el nitrógeno disponible a la siembra para avena y raigrás.

Respuesta al agregado de P.

En la Figura 5 se resumen las respuestas al agregado de P tanto en avena como en raigrás. Los verdeos tuvieron respuesta significativa al agregado de este nutriente, a pesar de los valores de P Bray medios a altos medidos en los suelos donde se hicieron los ensayos.

En avena los ensayos tuvieron un nivel de P Bray promedio de 13 ppm y en raigrás fue de 22,8 ppm. La EUP fue en promedio de 19 kg MS de avena por kg de P agregado y de 32 kg MS de raigrás por kg de P agregado.

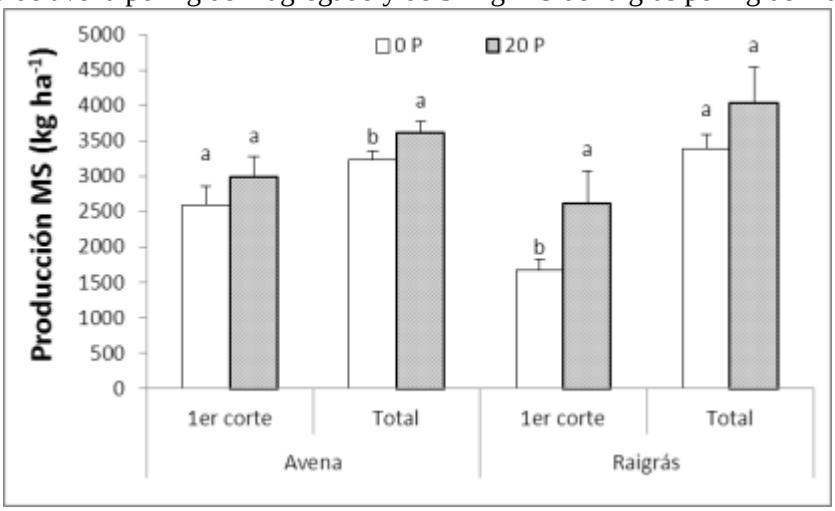


Figura 5: producción obtenida de verdeos según el agregado de fósforo. Letras distintas en cada categoría indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

La respuesta significativa al agregado de P al primer corte en el raigrás puede deberse a la cantidad de días transcurridos entre la fertilización con P y el primer aprovechamiento, que fue de 92 días en promedio; en cambio en la avena fue menor (73 días), donde la respuesta significativa se observó al comparar los datos de producción total.

CONCLUSIONES

En condiciones similares de crecimiento la avena y el raigrás tuvieron diferentes rendimientos cuando se fertilizaron con P y N. Si bien los tratamientos testigos (sin N) tuvieron similares rendimientos para ambos verdeos, al fertilizarlos el raigrás produjo alrededor de un 30% más de materia seca que el cultivo de avena.

Para alcanzar elevados potenciales productivos el raigrás necesitó mayor cantidad de nitrógeno disponible que la avena. Con los modelos utilizados, la avena precisó entre 83 y 92 kg de ND ha^{-1} para alcanzar los máximos rendimientos y en cambio el raigrás entre 104 y 124 kg de ND ha^{-1}. Las eficiencias de uso del nitrógeno fueron mayores en el raigrás.

Las eficiencias agronómicas de uso del fósforo también fueron mayores en el raigrás, a pesar de que los ensayos se realizaron sobre suelos con P Bray más altos que aquellos en los que se realizaron los ensayos de avena.

AGRADECIMIENTOS

Por su generosa colaboración a los productores Ricardo Farall, Luis Schanzenbach, Juan Pagani, Edgardo Mayer, Raúl Blasón y Flia Barolli; al técnico César Reatto.

BIBLIOGRAFÍA

- Agnusdei, M. 2012. Rol de la ecofisiología en el diseño de manejos especializados de pasturas. En Pasturas 2012: hacia una ganadería competitiva y sustentable. Jornada técnica. Síntesis de material de conferencias. Mar del Plata 23 de marzo 2012. Páginas 13-28.
- Agnusdei M.; S Assuero; F. Lattanzi & M Marino. 2010. Critical N concentration can vary with growth conditions in forage grasses: implications for plant N status assessment and N deficiency diagnosis. Nutrient Cycling in Agroecosystems (2010) 88:215–230. DOI 10.1007/s10705-010-9348-6
- Borrajo C; S Altuve; P Barbera & M Ramírez. 2006. Efecto de la fertilización fosforada y nitrogenada sobre la producción de forraje de Lolium multiflorum en Corrientes. Revista Argentina de Producción Animal 26(1):135-6.
- Correndo, AA; F Salvagiotti; FO García & FH Gutiérrez-Boem. 2017. A modification of the arcsine-log calibration curve for analyzing soil test value–relative yield relationships. Crop & Pasture Science 68 (3): 297-304, doi: 10.1071/CP16444.

- Dyson, CB & MK Conyers. 2013. Methodology for online biometric analysis of soil test-crop response datasets. Crop & Pasture Science 64, 435-441.
- Echeverría H & R Bergonzi. 1995. Estimación de la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. Boletín Técnico Nº 135. EEA INTA Balcarce, Buenos Aires. 15 p.
- Fernández Grecco, R C & M G Agnusdei. 2005. Raigrás anual, siembra y fertilización nitrogenada. Producir XXI, Bs. As., 13 (160):36-40.
- García, F; F Micucci; G Rubio; M Ruffo & I Daverede. 2002. Fertilización de forrajes en la región pampeana. Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos. Instituto de la Potasa y el Fósforo - INPOFOS Cono Sur. Potash and Phosphate Institute (PPI). Potash and Phospate Institute of Canada (PPIC). Marzo 2002. Pp. 72.
- Marino, M. & Á Berardo. 2015. Pasturas y pastizales. Pp. 555-583. En: H. Echeverría y F. García (eds.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Marino M. & J Castaño. 2013. Producción forrajera con aplicación otoñal de fertilizantes nitrogenados en avena y agropiro. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. IAH 12-Diciembre 2013. Pág. 15-18.
- Mead, R.; RN Curnow & AM Hasted. 1993. Statistical methods in agriculture and experimental biology. Chapman and Hall, London, 415p.
- Rubio G.; F Micucci & F García. 2013. Capítulo 14: Ciclado de nutrientes y fertilización de pasturas. En Fertilización de cultivos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Ed. R. Álvarz, P. Prystupa, M; Rodríguez & C Álvarez. Ed. FA-UBA. 652 páginas. ISBN 978-987-27793-7-5.
- Sheaffer, CC, JL Halgerson, & HG. Jung. 2006. Hybrid and N Fertilization Affect Corn Silage Yield and Quality. Journal of agronomy and crop science. Volume 192, Issue 4. August 2006. Pages 278–283.
- Scheneiter, JO. 2013. El raigrás anual en las regiones Pampeana y sur de la Mesopotamia. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-el_raigs_anual_en_las_regiones_pampeana_y_sur_de.pdf. Fecha de consulta: marzo 2018.

C3P62. UN NUEVO ENFOQUE DE LA TELEDETECCIÓN PARA LA PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO DEL MAÍZ Y MANEJO DE NITRÓGENO

Peralta, Nahuel R[1].; Di Matteo, Javier.A[1].; Ferreyra, Juan.M[1]; Melchiori, Ricardo[3]; Sainz Rosas, Hernán[2] y Bianchini, Agustín[4]

[1]Departamento de Tecnología de Desarrollo de Maíz y Sorgo, Monsanto. Ruta 188 km 7.5, Argentina. [2] INTA Balcarce. [3]INTA Paraná. [4]Okandú. nahuel.raul.peralta@monsanto.com; nperalta21@gmail.com

RESUMEN

En vista de la creciente aplicación de los servicios de sensoramiento remoto como herramientas potenciales para la predicción de rendimiento en grano y diagnóstico del estatus nutricional de Nitrógeno (N) en la estación de crecimiento de maíz, se plantearon los siguientes objetivos: a) estudiar y analizar la utilidad potencial de diferentes índices de vegetación para predecir el rendimiento y ajustar las dosis de N; b) Comparar las diferentes herramientas de diagnóstico de N en media estación de crecimiento en el cultivo de maíz. Las herramientas de sensoramiento remoto nos permiten capturar el estatus nutricional de Nitrógeno in season a través de los diferentes híbridos (Hy) y densidades (D), lo cual permitirían desarrollar una recomendación de N entre V6-V8 y ajustar la dosis para sincronizar la oferta-demanda de N por el suelo y cultivo, incrementando la EUN y disminuyendo el impacto ambiental, asociado al riesgo de pérdida N del sistema.

Palabras claves: sensor remoto, nitrógeno, híbrido.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) junto con la mejora genética, son los factores más importantes que afectan la producción y puede explicar hasta 30% del costo total de producción de maíz. La mayor parte del fertilizante nitrogenado tiende a aplicarse durante la siembra o durante las primeras etapas del crecimiento, ya que esto simplifica la gestión del cultivo. Esto genera que la Eficiencia de Uso de Nitrógeno (EUN) sea baja y puede constituir un problema (lixiviación de N las napas) ya que la absorción de N por parte del cultivo es muy baja en este momento (Scharf *et al.*, 2011). Este problema ha llevado a los agricultores, científicos y políticos a explorar cómo mejorar la eficiencia del N, reducir las entradas de N y de este modo prevenir la contaminación del agua y del aire asociada con la producción de maíz (Scharf *et al.*, 2011). En los últimos años, el uso de sensores remotos que miden la reflectancia de la canopia del cultivo (Green Seaker, Crop Circle) ha aumentado entre los investigadores y los agricultores (Colaço & Bramley, 2018). Sin embargo, a pesar de las buenas correlaciones, estos métodos no capturan la variabilidad espacial que a menudo está presente dentro de las parcelas a escala de testeo. La adquisición de datos también tiende a consumir mucho tiempo y puede verse obstaculizada por una serie de limitaciones prácticas. Una alternativa a las mediciones basadas con sensores de mano involucra técnicas de teledetección que nos permite trabajar con imágenes de alta resolución espacio-temporal (ya sean de UAV- Vehículo aéreo no tripulado o satélite) (Peralta *et al.*, 2016). Esta técnica, ya sea utilizando sensores activos o pasivos, ha sido reconocido como una herramienta potencial para la la predicción de rendimiento y mejora espacial y temporal de la gestión de N en cultivos a escala de microparcela, como así también a escala de lote (Mulla, 2013; Peralta *et al*., 2016; Colaço & Bramley, 2018). En vista de la creciente aplicación de los servicios de sensoramiento remoto como herramientas potenciales para la predicción de rendimiento en grano, incrementar la EUN y reducir el impacto ambiental, se plantearon los siguientes objetivos: a) estudiar y analizar la utilidad potencial de diferentes índices de vegetación (IV) para predecir el rendimiento y ajustar las dosis de N; b) comparar las diferentes herramientas de diagnóstico de N en media estación de crecimiento en el cultivo de maíz; c) determinar el momento óptimo fenológico para capturar información con la imágenes de los sensores remotos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio Experimental

Esta investigación fue conducida en un establecimiento cercano a la localidad de Inriville, ubicada en el Departamento Marcos Juárez (UTM 20S: 575548.433; 6351032.94 m). El suelo es un Argiudol típico, que corresponde a la serie Marcos Juárez, con una aptitud de uso Clase I. El cultivo se sembró el 10/10/2016 y en ese momento el valor de N-$N0_3$ fue de 68 kg/ha (0-60 cm). El diseño experimental fue en parcelas sub-sub-divididas (spli-split-plot) con tres repeticiones (Figura 1). Se aplicó al momento de la siembra del cultivo 46 kg ha^{-1} de P_2O_5 para que este nutriente no limitara el crecimiento del cultivo. Las malezas e insectos fueron adecuadamente controlados.

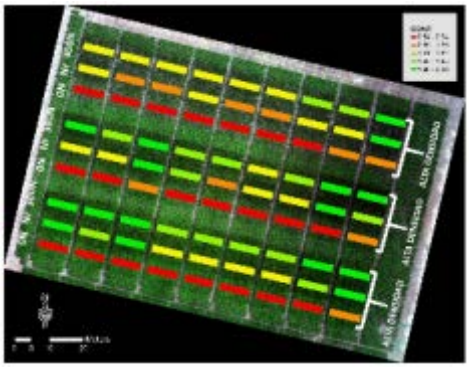


Figura 1: Diseño experimental y valores de GSAVI

La densidad de plantas fue el factor de la parcela principal, la dosis de N el de la sub-parcela y el híbrido el factor de la sub-sub parcela. Se trabajó con 3 Hy de la marca Dekalb, sembrados en 3 densidades y 3 dosis de N. Para cada Hy se seleccionó la óptima recomendación de densidad y N que permite maximizar el rendimiento esperado de 12 tn/ha. Los otros tratamientos surgieron de disminuir a la mitad y aumentar al doble la recomendación optima de densidad y; para N fueron 0N, dosis de N recomendada; 300 kg N/ha, de la combinación de los diferentes niveles de los factores (Tabla 1).

Tabla 1. Diferentes híbridos, densidad y dosis de N utilizadas en el ensayo

Híbrido	Densidad	Nitrogeno (suelo +fert)
	Recomendacion Dekalb (pl/m2)	Recomendacion Dekalb (kg/ha)
DK70-10	8.7	177
DK72-10	9.1	230
DK73-10	8.9	212

Densidades: se utilizaron:

1- Densidad recomendada (Ver Tabla)

2- Recomendada*2,

3- Recomendada*1/2.

Niveles de N: se utilizaron:

1- **Control** (0N; sin aplicación de nitrógeno)

2- **N recomendado** (Ver Tabla)

3- **N suficiencia** (300kg N disponible).

Sensores remotos y análisis estadístico

Las siguientes plataformas y sensores fueron probados y comparados en el experimento: a) GreenSeakerTM: Sensor de reflectancia modelo 505 (NTech Industries Inc., Ukiah, CA, EE. UU.). Los principios y la física detrás del funcionamiento de este sensor se describen en detalle en Inman *et al*. (2005). El sensor activo GreenSeekerTM funciona al dirigir la luz roja VIS (660 nm) y la luz NIR (770 nm) en el dosel de la planta; b) Crop CircleTM: ACS-210 Plant Canopy. Sensor de reflectancia (Holland Scientific, Lincoln, NE, EE. UU.). El sensor Crop CircleTM también está activo y funciona bajo los mismos principios que el del sensor GreenSeekerTM. Sin embargo, el sensor Crop CircleTM genera luz con una longitud de onda de 590 nm en la banda VIS y 880 nm en la banda NIR. La luz visible producida por este sensor (590 nm) (Holland y Schepers, 2010).; c) Camara multiespectral (Micasense Red-Edge) montada en UAV: Los vuelos se efectuaron con un solapamiento longitudinal y lateral del 80% entre fotografías y la atura de vuelo fue de 120m para lograr resoluciones espaciales entre 5-6 cm. Se ubicaron y georreferenciaron puntos de control en el terreno que se utilizaron para orto-rectificar el mosaico generado con las fotografías. El UAV fue equipado con una cámara Micasense Red-Edge, la cual tiene 5 canales [Blue= 475 (465-485), Green= 560 (550-570), Red=668 (663-673), RedEdge= 717 (712-722), NIR= 840 (820-860)]. Se calcularon 9 diferentes IV (Tabla 2). Para mayor detalle de los diferentes IV, leer Mulla (2013) y Peralta et al., (2016). Para la predicción de rendimiento en función de los IVs fueron utilizados modelos de regresión simple y múltiples; y para comparar los el efecto de los tratamientos y sus interacciones (N*PP*Hy) sobre los IV, un modelo mixto lineal fue ajustado con correlación espacial utilizando el paquete “nlme” de R studio (R Core team, 2013) para cada IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Predicción de rendimiento

Los modelos de regresión que permitieron explicar la mayor variabilidad del rendimiento a través de las diferentes dosis de N y densidad de planta fueron los IV obtenidos con la cámara multiespectral montada en el UAV, explicando entre un 54 a 77% la variación del rendimiento (Tabla 2). El grado de ajuste varió entre estadios fenológicos, incrementándose a media que avanza la estación de crecimiento (Tabla 2). Entre las plataformas portatiles (terrestres) que mejor ajustó para predecir el rendimiento fue Crop Circle (explicando un 66% de la variación del rendimiento) y el Green Seeker solo permitió explicar menos del 35% del rendimiento (p<0,05). Los IV que fueron retenidos en los modelos de UAV fueron GDVI, SAVI, OSAVI y GSAVI (índices que utilizan la banda del verde, excepto SAVI) y están fuertemente asociados a los pigmentos de las hojas, contenido de clorofila y son considerablemente más sensibles a la variabilidad de la vegetación cuando la cubierta es elevada (Mulla, 2013; Peralta *et al.*, 2016).

Tabla 2. Modelos de predicción de rendimiento de diferentes sensores y momento fenológico del cultivo de maíz.

SENSOR	MOMENTO	MODELO PREDICTIVO DE RENDIMIENTO	R^2	p valor	SCME	AIC	BIC
GS	V8	GSNDVI*24463-3573	0,34	***	19,83	717	724
GS	V10	GSNDVI*13973+4546	0,12	ns	22,97	741	748
GS	V12	GSNDVI*23175-1599	0,35	***	20,24	721	728
CC	V12	CCNDRE*343+CCNDVI*219-154	0,66	***	14,12	663	679
UAV	V6	DVI*0.46-NGRDI*3482+10766	0,54	***	16,88	694	708
UAV	V8	GDVI*0.53+SAVI*23192 ENDVI*86489+21049*NGRDI+14162	0,73	***	12,49	658	665
UAV	V10	GDVI*0.0019+SAVI*27995380-OSAVI*27994857-ENDVI*82121049+141	0,67	***	14,32	667	682
UAV	V12	GSAVI*22919+0,32*DVI-ENDVI*44637+9974	0,77	***	12,10	638	650

GS: GreenSeeker; CC: Crop Circle; UAV: Avion no tripulado. Nivel de significancia: * p<0,05; ** p<0,01; * p<0001; NS: no significativo. RMSE: sumatoria del cuadrado medio de error; AIC y BIC: Criterio de información de Akaike bayesiano.

Manejo de Nitrógeno

Se evaluaron y calibraron diferentes Índices de vegetación que permitieron capturar la triple interacción entre N*D*Hy. El Índice Verde que explicó la mayor variación de la interacción entre N*D*Hy fue el GSAVI (Tabla 3). Este IV permite capturar las respuestas a N de los diferentes Hy y D (Figura 2). A mayor D y N, mayores son los valores de GSAVI e inversamente (Figura 2).

Tabla 3. P valor para diferentes comparaciones de los tratamientos y las interacciones con los diferentes IVs.

	NDVI	DVI	GDVI	ENDVI	SAVI	OSAVI	GSAVI	NGRDI	VARI
Densidad (D)	***	****	****	****	****	****	****	****	***
Nitrogeno (N)	****	****	****	****	****	****	****	***	***
Híbrido (Hy)	***	****	****	****	****	****	****	**	**
D * N	**	NS	**	****	**	**	NS	****	****
D * Hy	**	****	**	****	**	**	*	****	****
N * Hy	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
D * N * Hy	NS	NS	*	*	*	*	**	NS	NS
AIC	1008	1015	-103	-124	-134	-138	-285	-43	-24

Nivel de significancia: * p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01; **** p<0001; NS: no significativo

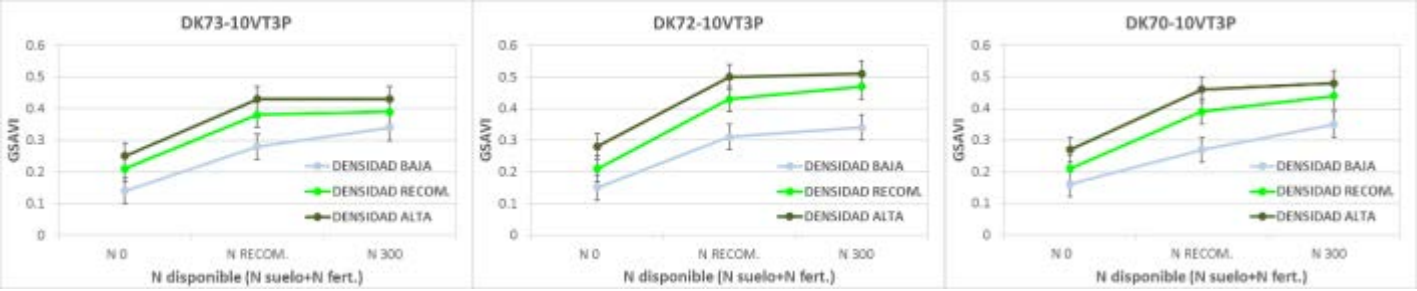


Figura 2. Curvas de respuesta de N para cada Hy en función del Índice de Vegetación GSAVI. Las barras verticales indican el error típico de la media para dosis de N.

CONCLUSIONES

El momento óptimo fenológico para capturar información con herramientas de sensoramiento remoto sería en V12. Pero es necesario mencionar que, se está trabajando para generar un modelo de refertilización de N. Es complejo para el productor, es difícil desde el punto de vista logístico y de maquinarias aplicar en V12-V14. Por ende, en base a los datos presentados anteriormente, la mejor alternativa seria capturar información entre V6-V8, ya que sin bien disminuye el ajuste (31% y 4%, respectivamente), se ganan aproximadamente 14 a 21 días para realizar una aplicación (por ejemplo, en V10). Los IV (en especial GSAVI) permiten capturar el estatus nutricional de N en la estación de crecimiento a través de los diferentes Hy y densidades, lo cual permitiría desarrollar una recomendación de N entre V6-V8 y ajustar la dosis de nitrógeno para sincronizar la oferta-demanda del suelo y cultivo, lo que permitiría incrementar la EUN y disminuir el impacto ambiental, asociado al riesgo de pérdida N del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Colaço AF & Bramley RGV. 2018. Do crop sensors promote improved nitrogen management in grain crops? Field Crops Res 218: 126–140.
- Holland, KH & Schepers J S. 2010. Derivation of a variable rate nitrogen application model for inseason fertilization of corn. Agron J 102, 1415–1424.
- Inman, D; R Khosla & T Mayfield. 2005. On-the-go active remote sensing for efficient crop nitrogen management. Sensor Review 25: 209-214.
- Mulla, D. 2013. Twenty-five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. Biosys Eng114: 358-371.
- Peralta, N; Y Assefa; J. Du; C Barden, & I Ciampitti. 2016. Mid-season high-resolution satellite imagery for forecasting site-specific corn yield. Remote Sens. 8(10): 1–16.
- Core Team, 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Scharf, PC.; DK Shannon; HL Palm; KA Sudduth; ST Drummond; NR Kitchen; LJ Mueller; VC Hubbard & LF Oliveira. 2011. Sensor-based nitrogen applications out-performed producer-chosen rates for corn in on-farm demonstrations. Agron J 103(6):1683-1691.

C3P62. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE SPAD Y NITRÓGENO FOLIAR EN RESPUESTA A DIFERENTES TIPOS DE EFLUENTES PECUARIOS.

Peretti, Rocío M.; Imvinkelried, H.; Ghiberto, Pablo J. e Imhoff, Silvia

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral. Padre Kreder 2805, 3080. Esperanza, Argentina.
rocioperetti@gmail.com

RESUMEN

Los residuos generados por producciones intensivas de animales, aplicados correctamente a campo, podrían ser una alternativa de fertilización para cultivos agrícolas. Maíz y sorgo son cultivos de relevancia en la dieta animal. Es necesario obtener la calidad nutricional que aportan y, por tal motivo se pretende estudiar la relación que existe entre la concentración de nitrógeno foliar y el valor de clorofila obtenido mediante el medidor SPAD para cuantificar in situ el estado de los cultivos durante el ciclo de crecimiento. El experimento se realizó en El Trébol provincia de Santa Fe, Argentina (32°11'50.30"S, 61°42'37.56"O), sobre un Argiudol típico serie los Cardos, de textura franco limosa en el horizonte A y franco arcillo limosa en el Bt, con un diseño de bloque completo al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Los tratamientos fueron T0: testigo (sin aplicación), T1: 50%, T2:100% y T3: 200% de los requerimientos del nitrógeno para los cultivos de maíz y sorgo. Las dosis de los efluentes a aplicar se determinaron para cada ensayo en particular teniendo en cuenta el nitrógeno (N) aportado por cada efluente. Se aplicaron cuatro tipos de residuos: 1. líquidos de cerdo mediante riego por aspersión (RC), 2. Líquidos de cerdo (IC) y 3. Semilíquidos de vaca (IV), ambos por un sistema de inyección en el suelo a 15 cm de profundidad y 4. Sólidos de vaca (SV) esparcidos en superficie. IC, RC y SV se aplicaron anteriormente a la siembra del maíz e IV anterior a la siembra del sorgo. Se muestrearon plantas de los tratamientos más contrastantes, T0: sin aplicación vs. T3: mayor dosis de aplicación. Para conocer el estado nutricional del maíz se determinó el contenido de N, muestreando la hoja inferior de la espiga cuando el cultivo presentaba el 50% de plantas en floración (R1) y en sorgo la segunda hoja inferior a la panoja en panojamiento. En dichos estados fonológicos se midió también a campo, a través del SPAD, la trasmitancia de la luz de la hoja a 650 y 940 nm, que es un indicador indirecto del estado nitrogenado del cultivo, ya que mide clorofila, y el contenido de clorofila en la hoja se relaciona positivamente con la concentración de N en hoja (Echeverría et. al., 2014). El análisis foliar resultó en concentraciones superiores de nitrógeno en el T3 con respecto al T0 para los tratamientos IC, RC y SV cultivados con maíz (Test LSD Fisher, α:0.05), no obstante no mostró diferencias significativas en el IV en sorgo forrajero. Los valores obtenidos por el SPAD, siguieron el mismo comportamiento que las concentraciones de N en las hojas, Se encontró una relación lineal entre la concentración de N foliar y el valor obtenido por el SPAD, indicando que a la hora de monitorear el estado nutricional de un cultivo a campo, podría ser una herramienta de medición confiable.

Palabras clave: Nutrición, Clorofila, Sustentabilidad.

C3P63. APORTE DE NUTRIENTES MEDIANTE EFLUENTES LÍQUIDOS DE CERDO, RENDIMIENTO Y ESTADO NUTRICIONAL EN MAÍZ

Peretti, Rocío M.; Rivero, Gustavo; Nicollier, Juan; Zuber, Selene y Ghiberto, Pablo J.

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral. Padre Kreder 2805, 3080. Esperanza, Argentina. rocioperetti@gmail.com

RESUMEN

La producción intensiva de cerdos genera gran cantidad de purines que son potencialmente perjudiciales para el ambiente, pero que, aplicados al suelo correctamente, pueden mejorar su fertilidad y favorecer el crecimiento de cultivos. En este trabajo se analiza el efecto de la aplicación de efluente líquido de cerdos (ELC) en el estado nutricional y la producción de maíz. El experimento se realizó en El Trébol provincia de Santa Fe, Argentina (32°11'50.30"S, 61°42'37.56"O), sobre un Argiudol típico serie los Cardos, de textura franco limosa en el horizonte A y franco arcillo limosa en el Bt. Los tratamientos fueron T0: testigo, T1: 57,12, T2: 95,2 y T3: 140 m3/ha de efluentes semilíquidos de cerdo aplicados al suelo utilizando un sistema de inyección a 15 cm de profundidad. Las dosis representan el 0, 50%, 100% y 200% de los requerimientos de nitrógeno para el cultivo de maíz que equivalen a una demanda de nitrógeno de 0, 75, 150 y 200 Kg/ ha N, respectivamente. Para conocer el estado nutricional del maíz se determinó el contenido de N, P, Ca, y K de la hoja inferior de la espiga cuando el cultivo presentaba el 50% de plantas en panojamiento. En este trabajo se comparan, la concentración de nutrientes en hojas y rendimiento T0 y T3. El maíz tratado con efluente produjo 14.849,35 KgMs/ha de grano y fue significativamente superior al testigo (11.825,42 KgMs/ha). La concentración de N, P y K en la hoja del cultivo tratado con efluentes fue de 24,8, 4,29 y 16,61 g/Kg respectivamente siendo 53, 39 y 25 % mayor que en T0. En cambio, la concentración de Ca y Mg en hojas fue igual en T0 y T3. El ELC como alternativa de fertilización resultó una práctica favorable a la nutrición y producción del maíz.

Palabras claves: fertilidad, contaminación, sustentabilidad

INTRODUCCIÓN

En sistemas de producción intensiva de cerdos, la agricultura, cumple un rol fundamental para abastecer la demanda de alimentos de los animales ya que la intensificación, implica en esencia la concentración de animales por unidad de superficie y el aumento de insumos (Upton, 1997).

La concentración de animales genera distintos tipos de residuos (excreta, orina, restos de alimentos) que junto con el agua de lavado de las instalaciones, productos, generan distintos tipos de efluentes. Según (James *et al.*, 2006), el contenido de sólidos totales menores al 10 % caracteriza a los efluentes líquidos, entre el 10% y el 20% a los semisólidos y del 20% al 30% sólidos. La producción de cerdo en particular genera principalmente residuos líquidos con bajo contenido de sólidos totales. Esos residuos contienen nutrientes esenciales para las plantas, cómo el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S), que cuando son aplicados a la tierra, mejoran la fertilidad del suelo y generalmente con la reutilización de los mismos, incrementan la eficiencia de los sistemas productivos (Goss *et al.*, 2013; Maillard & Angers, 2014). Es por eso, que se tiene en cuenta como alternativa de solución aplicar los efluentes a lotes agrícolas con el objetivo de devolver los nutrientes al suelo y mejorar la calidad nutricional del cultivo, aumentando la concentración de los nutrientes esenciales en la planta y la productividad.

El aumento de insumos que demanda la intensificación de los sistemas productivos implica generar más alimentos con destinos a la alimentación de los animales. En este sentido el maíz es uno de los cultivos más producidos para abastecer las necesidades del rodeo. Por su alta productividad, excelente palatabilidad y alto contenido nutricional, el maíz ha reemplazado a otros cereales en la alimentación animal (Echeverría & García, 2014). Para obtener elevadas producciones es sumamente necesario contar, entre otros factores, con una adecuada nutrición vegetal. Esto implica aplicar al suelo no sólo lo que éste necesita, sino también tener en cuenta los requerimientos de cada cultivo, para así poder mejorar la calidad del alimento producido sin afectar la fertilidad del suelo en un futuro cercano.

Considerando que a los purines generados en sistemas intensivos de cría de cerdos se les puede dar valor agrícola utilizándolos como reemplazo de fertilizantes en cultivos de alto valor nutricional como el maíz, disminuyendo así problemas de contaminación, el trabajo propone estudiar el efecto de la aplicación de efluentes líquidos de cerdos (ELC) en el estado nutricional y la producción de maíz en un Argiudol típico serie Los Cardos en la Provincia de Santa Fe (Argentina).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en El Trébol provincia de Santa Fe, Argentina (32°11'50.30"S, 61°42'37.56"O) en un establecimiento con producción intensiva de cerdos. El experimento consistió en la evaluación de la influencia de la aplicación de efluente líquido de cerdos al suelo en la producción y nutrición mineral del cultivo de maíz. El suelo donde se realizó es un Argiudol típico serie los Cardos, de textura franco limosa en el horizonte A y franco arcillo limosa en el Bt. La Tabla 1 presenta las propiedades químicas del suelo antes de aplicar el efluente líquido de cerdos

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo de 0 a 20 cm de profundidad

pH	CE_e	MO	N_t	P	Ca^2+	Mg^2+	Na+	K+	CIC
--	dS/cm	%	%	mg/kg	---	cmol/kg		---	
5,78	0,11	2,9	0,16	67,1	10,9	1,4	0,4	1,3	13,9

pH reacción del suelo relación 1:2.5); CEe: conductividad eléctrica del extracto de saturación; MO: carbono orgánico convertido en materia orgánica usando el factor 1,724 por el método Walkley-Black 1.724; Nt: nitrógeno total determinado por método Kjeldahl; P: fósforo extraíble determinado por colorimetría; Na+ y K+ sodio y potasio por fotometría de llama; Ca2+ y Mg2+ calcio y magnesio intercambiables determinados por complejometría; CIC: capacidad de intercambio catiónico extracción con acetato de amonio a pH = 7.

Se utilizó un diseño al azar de tres bloques con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Las parcelas del ensayo presentaban una dimensión de 100 m de longitud y 4,5 m de ancho. Los tratamientos distribuidos al azar fueron T0: testigo (sin aplicación), T1: 57,12, T2: 95,2 y T3: 140 m3/ha de efluentes semilíquidos de cerdo los cuáles representaban el 0, 50%, 100% y 200% de los requerimientos de nitrógeno para el cultivo de maíz, respectivamente. La aplicación del ELC se realizó 21 días antes de la siembra del maíz mediante un sistema de inyección a 15 cm de profundidad del suelo. El maíz, híbrido DK 7310 Vt Triple Pro, se sembró el día 29/09/16. Las propiedades químicas del suelo previo a la aplicación y del efluente líquido de cerdo se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades químicas del efluente líquido de cerdo

pH	CEe	Nt	NOrg	N-NH4+	N-NO3-	Ptotal	Ca^2+	Mg^2+	Na+	K+	S-SO4-	Sólidos totales
--	dS/cm	%	%	%	%			mg /kg				
7.9	22.7	0.305	0,0027	0.302	<1	252	400	150	3500	1000	1015	13758

Para la determinación de la nutrición foliar del maíz se realizó el muestro cuando el cultivo presentaba el 50% de plantas en panojamiento tomando la hoja inferior de la espiga de 15 plantas por parcela (Da silva, 2009). Las muestras se secaron a 60ºC hasta llegar a peso constante, luego se trituraron en molino tipo Wiley y pasaron por un tamiz de 1 mm (20 mesh) para lograr la homogeneidad de las muestras. Para determinar rendimiento se muestrearon 3 m2 de espigas por parcela y se secaron a estufa a 105ºC, luego se calculó número y peso de granos para cuantificar el rendimiento por hectárea.

Técnicas empleadas para la determinar la concentración de los distintos nutrientes en la planta: 1) Nitrógeno: Digestión húmeda con H2SO4 98%, H2O2 30% y mezcla de sales K2SO4 + CuSO4 (10:1), y Determinación por destilación Kjeldahl y titulación con HCl 0,01N, (Da silva, 2009); 2) Fósforo: Digestión seca en mufla a 500ºC (Kalra, 1998) y determinación con el método amarillo del heptamolibdato-amonio vanadato (Da silva, 2009); 3) Ca, Mg, K: Digestión húmeda con HNO3 y H202 (Pequerul *et al.*, 1993) y determinación a través de los aparatos espectrofotómetro de llama y absorción atómica del K, y Ca y Mg, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el ciclo del cultivo las precipitaciones acumuladas fueron de 747 mm. Según (Echeverría & García, 2014) el maíz es un cultivo con elevado requerimiento de agua, alrededor de 600 mm y alta sensibilidad al estrés hídrico, se adapta bien a ambientes con precipitaciones durante el ciclo superiores a 250 mm. Dicho esto se considera que las precipitaciones acumuladas durante el ciclo del maíz predisponen un ambiente favorable para la nutrición y producción del cultivo.

Se puede observar que la inyección de los ELC produjo un mayor rendimiento en el T3 igual a 14.849,4 KgMs/ha con respecto al testigo con 11.825,4 KgMs/ha, con diferencias significativas según test de Tukey con un nivel de α: 0.10.

La Figura 1 muestra que la aplicación de ELC modificó la composición nutricional de las hojas. La concentración de nitrógeno en los T3 igual a 24,8 g/Kg fue un 52.8% más elevado que el valor encontrado en los testigos. La concentración de P y K de las parcelas tratadas con efluentes también mostraron diferencias significativas con respecto al testigo, a un nivel de confianza de α=0.05, test de Tukey. No ocurrió lo mismo con los macronutrientes calcio y magnesio, los cuales se mantuvieron en niveles semejantes en tratamientos tratados y no tratados con efluentes. En un estudio en Alemania, (Federolf *et al.*, 2017)encontraron que el sistema de inyección de efluentes de cerdos obtuvo un 17% más de rendimiento y que la concentración de nitrógeno en planta de los tratados con efluente superaban los valores obtenidos en el tratamiento testigo si aplicación de efluentes.

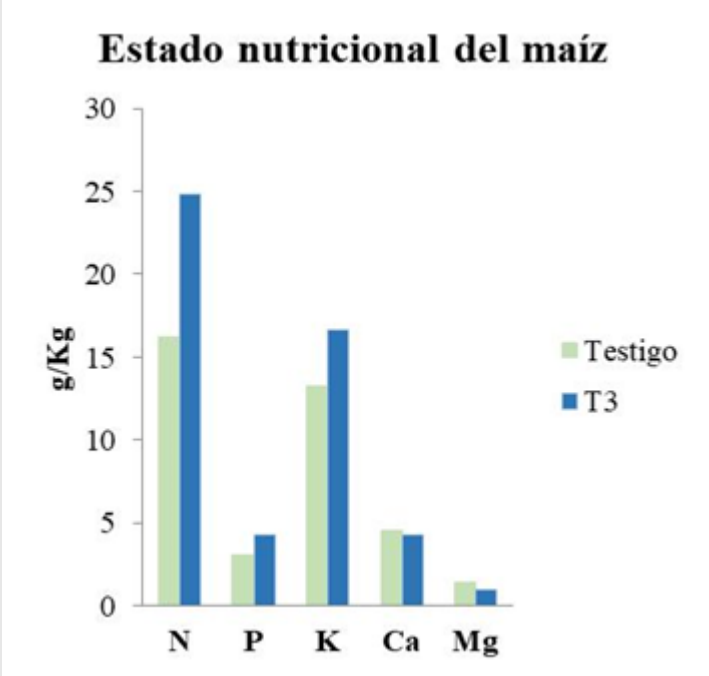


Figura 1. Concentración de nutrientes en hoja N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, y Mg: magnesio (g/Kg)

Teniendo en cuenta los aportes de nutrientes por medio del efluente se puede decir que la exportación por parte de los granos fue mayor en las parcelas con aplicación de efluentes. Manifestando así respuesta al agregado de nutrientes tanto en N, P y K, representando un 90%, 77% y 56% más de absorción en grano respectivamente. En contrapartida el Ca y Mg no manifestaron respuesta en la absorción del nutriente por parte del grano con respecto al aporte por medio del efluente. Esto puede deberse a la baja movilidad de dichos elementos dentro de la planta (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

Según (Andrade *et. al.*, 1996) los requerimientos para un cultivo de 9 t/ha se requieren 27 kg/ha de Ca y Mg, y el maíz en grano exporta 2 y 8 Kg/ha de Ca y Mg respectivamente. Como se ve en la tabla 2. La dosis de efluente aplicada aportó 56 y 21 Kg/ha de Ca y Mg respectivamente y el grano exportó 3 y 8 kg de Ca y Mg respectivamente (Tabla 4). No encontrando diferencias en la entre la exportación de Ca y Mg del testigo con el tratado. Evidenciando una vez más, que el Ca y el Mg aplicado deben estar en altas concentraciones en la solución del suelo, ya que compiten con otros cationes como el Na+, H+, K+, NH4+ y Al3+, para poder ser absorbidos por la planta. El Ca se mueve por espacios libres y apoplasto, regulado por la corriente transpiratoria y presión radical (Azcón-Bieto & Talón, 2008), lo que dificulta aún más la concentración elevada de Ca en la planta, en contraste el Mg es muy móvil

por floema y puede ser traslocado más fácilmente (Azcón-Bieto & Talón, 2008) pudiendo encontrarse mayores concentraciones en planta con respecto al C.

Tabla 3. Nutrientes aportados por el efluente y el suelo en Kg/ha

Efluente	N	P	K	Ca	Mg
T1	172	14	57	23	9
T2	286	24	95	38	14
T3	421	35	140	56	21
Suelo	4096	172	2560	1024	378

Tabla 4. Exportación de nutrientes en grano (Kg/ha)

N	P	K	Ca	Mg
117	27	30	3	9
225	48	47	3	8

CONCLUSIONES

En las condiciones ambientales del presente experimento, se concluye que la producción de maíz tuvo una respuesta positiva al agregado de efluente líquido de cerdos. La absorción de los macronutrientes N, P y K se vio favorecida y no se registraron antagonismos en la absorción de Ca Mg y K, mejorando de esta manera la calidad del cultivo como alimento para los animales. Estos resultados reafirman la idea que las dosis de efluentes a aplicar deben ser estimadas en relación a la demanda del cultivo, lo cual evitará problemas de contaminación contribuyéndose de esta manera a un manejo sustentable de los recursos.

BIBLIOGRAFIA

- Andrade F.H., Cirilo A.G., Uhart S.A., & Otegui M.E. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Dekalb Press. Buenos Aires, Argentina. 292.
- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal (Universitat de Barcelona, Ed.). 2da ed. McGraw-Hill Interamericana, Barcelona, España. 651.
- Echeverría, H.E. & García, F.O. 2014. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos (INTA, Ed.). 2nd ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. 904.
- Federolf, C.P., Westerschulte, M., Olfs, H.W., Broll, G. & Trautz, D. 2017. Nitrogen dynamics following slurry injection in maize: crop development. Nutrient Cycling in Agroecosystems, **107**, 19–31.
- Goss, M.J., Tubeileh, A. & Goorahoo, D. 2013. A Review of the Use of Organic Amendments and the Risk to Human Health. Advances in Agronomy, **120**, 275–379.
- James, R., Eastridge, M.L., Brown, L.C., Elder, K.H., Foster, S.S., Hoorman, J.J., Joyce, M.J., Keener, H.M., Mancl, K., Monnin, M.J., Rausch, J.N., Smith, J.M., Tuovinen, O., Watson, M.E., Wicks, M.H., Widman, N. & Zhao, L. 2006. Ohio Livestock Manure Management Guide. The Ohio State University Extension, **604**, 126.
- Kalra, P.Y. 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, Estados Unidos. 1710.
- Maillard, É. & Angers, D.A. 2014. Animal manure application and soil organic carbon stocks: A meta-analysis. Global Change Biology, **20**, 666–679.
- Pequerul, A., Pérez, C., Madero, P., Val, J. & Monge, E. 1993. A rapid wet digestion method for plant analysis. Optimization of Plant Nutrition, pp. 3–6.
- Da silva, F.C. 2009. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes 2ª edição revista e ampliada. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 627.
- Upton, M. 1997**.** Intensification or extensification: which has the lowest environmental burden WAR/RMZ. Nº 88. FAO. Roma, Italia.

C3P64. LAS RESPUESTAS DE MAIZ Y SOJA A LA FERTILIZACION CON FOSFORO VARIAN SEGÚN CONDICION PRODUCTIVA SITIO-ESPECIFICA

Pérez, Gonzalo y Díaz-Zorita, Martín

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Agencia de Extensión Rural Bolívar. Olascoaga 70, CP (6550)-Bolívar, Buenos Aires, Argentina. perez.gonzalo@inta.gob.ar

RESUMEN

Si bien se reconoce que la respuesta de los cultivos a la fertilización con fósforo (P) varía según niveles extractables de este nutriente y en interacción con otras propiedades de suelo, de cultivo y de manejo, la información para la delimitación de zonas de manejo uniforme para su eficiente uso es escasa. Los objetivos de este estudio fueron relacionar la respuesta a la fertilización con P, para cultivos de maíz y de soja, bajo condiciones contrastantes de productividad (zonas de manejo) y de decisiones de manejo (fechas de siembra), con diferentes propiedades de suelo, de paisaje y de productividad potencial. Se condujeron 6 estudios, en dos establecimientos del centro de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Se delimitaron zonas de manejo de alta (AP) y baja (BP) productividad. Se instalaron dos tratamientos de fertilización con fósforo: control sin aplicación de fósforo (P_0) y fertilizado (P_1). Se realizaron muestras compuestas individuales para cada repetición y se determinó el porcentaje de MO, la conductividad eléctrica (CE), y el contenido de arena. Se realizaron regresiones lineales para cada cultivo de rendimiento fertilizado y sin fertilizar en función del índice ambiental (IA). Se obtuvieron relaciones positivas entre MO, CE y negativas con arena para los cultivos de maíz y positivas con CE y pH para los cultivos de soja, con la respuesta a P. En el cultivo de maíz, con el aumento del índice ambiental aumenta de manera más que proporcional el rendimiento de los tratamientos fertilizados, con respecto a los sin fertilizar, a partir de un rendimiento de 5291 kg ha^{-1}, mientras que para soja, a partir de un rendimiento de 2770 kg ha^{-1}. Se puede plantear un modelo de recomendación de fertilización sitio específico a partir de los niveles críticos de P y de la productividad potencial de cada zona de manejo.

Palabras clave: Zonas de manejo, propiedades de suelo, fechas de siembra

INTRODUCCIÓN

El manejo de nutrientes sitio-específico es una tecnología que se sustenta en la capacidad de reconocer la heterogeneidad de productividad de los cultivos y de niveles de nutrientes dentro del lote de producción y adecua el uso de insumos para cada unidad de manejo reconocida (Khosla *et al*., 2002).

En la subregión pampa arenosa, los niveles medios de fósforo extractable, determinados por la metodología de Bray y Kurtz 1, sugieren condiciones de limitación para la normal producción de soja y maíz (Cruzate & Casas, 2012). La mayor parte del fósforo (P) que absorben los cultivos se concentra en los granos y por lo tanto es exportado con las cosechas siendo la extracción continua sin reposición una de las formas directas de pérdida de fertilidad de los suelos (Cordell *et al.*, 2009). Esto ocasiona que, a escala de lote existan diferencias marcadas de niveles de P ocasionados por diferencias en productividad de los cultivos, y por lo tanto en la extracción de nutrientes. La respuesta a la fertilización fosforada en la subregión pampa arenosa ha sido descripta por varios autores (Ferrari *et al*, 2000; Prystupa *et al* 2004; Barraco *et al*, 2014). La misma depende del nivel de Pe en suelo, pero también es afectada por factores físicos y químicos del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante (García, 1999).

Si bien se reconoce que la respuesta de los cultivos a la fertilización con fósforo varía según niveles extractables de este nutriente, la interacción con otras propiedades de suelo y de cultivo a nivel sitio específico puede contribuir a mejorar la recomendación sitio específica para la fertilización con este nutriente.

El objetivo de este estudio fueron relacionar la respuesta a la fertilización con fósforo (P), para cultivos de maíz y de soja, bajo condiciones contrastantes de productividad (zonas de manejo) y de decisiones de manejo (fechas de siembra), con diferentes propiedades de suelo, de paisaje y de productividad potencial.

MATERIALES Y MÉTODOS

En las campañas 2013/14 y 2014/15, se condujeron 6 estudios, 4 durante la campaña 2013-2014 y 2 durante la 2014-2015 en dos establecimientos del centro de la provincia de Buenos Aires (Argentina): “Don Domingo y Doña María Barnetche” (Bar) (36° 08' 46" S, 61° 04' 26" O) y “Los Tambos” (LT) (36° 07' 52" S, 61° 30' 12" O) bajo prácticas

agrícolas en siembra directa representativas de sistemas agrícolas de la subregión pampa arenosa. El manejo de los cultivos de soja y maíz se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Descripción del manejo de cultivos de maíz y de soja en 6 sitios de producción representativos de subregión pampa arenosa. LT = "Los Tambos"; Bar = "Barnetche".

Sitio	Lote	Cultivo	Fecha de siembra	Distancia entre surcos (m)	Densidad (semillas ha^{-1})	Genotipo	Antecesor
A	LT 13/14	Maíz temprano	05-oct	0,52	78.000	P2069YR	Soja
		Maíz tardío	23-nov	0,52	78.000	P2069YR	Soja
B	Bar 13/14	Maíz temprano	01-oct	0,70	78.000	P2069YR	Soja
		Maíz tardío	29-nov	0,70	78.000	P2069YR	Soja
C	LT 14/15	Maíz temprano	10-oct	0,52	78.000	P2069YR	Soja
		Maíz tardío	27-nov	0,52	78.000	P2069YR	Soja
D	LT 13/14	Soja temprana	15-nov	0,42	290.000	DM 3810	Maíz
		Soja tardía	10-dic	0,42	290.000	DM 3810	Maíz
E	Bar 13/14	Soja temprana	07-nov	0,42	290.000	DM 3810	Maíz
		Soja tardía	04-dic	0,42	290.000	DM 3810	Maíz
F	Bar 14/15	Soja temprana	10-nov	0,42	290.000	DM 3810	Maíz
		Soja tardía	08-dic	0,42	290.000	DM 3810	Maíz

Los suelos fueron clasificados en Hapludoles énticos y Hapludoles típicos entre posiciones elevadas a deprimidas en el relieve. En cada sitio se delimitaron zonas de manejo de alta (AP) y baja (BP) productividad mediante fotointerpretación de imágenes satelitales de cobertura de cultivos en campañas anteriores a las del estudio y aplicando análisis de agrupamiento de índice verde normalizado (NDVI) de los datos de las imágenes satelitales.

En franjas de 10 m de ancho por 100 m de largo y con 3 repeticiones para cada fecha de siembra, se instalaron dos tratamientos de fertilización con fósforo: (i) control sin aplicación de fósforo (P_0) y (ii) fertilizado (P_1) con superfosfato triple (0-20-0) a razón de 100 kg ha^{-1} aplicado en el momento de la siembra sobre la superficie ("al voleo"). La caracterización edáfica de los sitios experimentales se realizó a partir de muestras compuestas por 25 submuestras tomadas, antes de la siembra de cada cultivo, en la capa de 0 a 20 cm de profundidad, e individuales para cada repetición. En las muestras de los suelos se determinó el porcentaje de MO a partir de la determinación carbono orgánico total (COT) según la siguiente ecuación:

$$MO\ (\%) = COT\ (g\ kg^{-1}) \times 1{,}724^{-1} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Fósforo extractable, el pH en agua por potenciometría 1,0:2,5, conductividad eléctrica del extracto de saturación en relación suelo: agua 1:2,5 por el método conductimétrico y el contenido de arena. Se calculó el Índice de Materia orgánica (IMO) en la capa de los primeros 0,2 m de suelo:

$$IMO = (MO)\ (Limo+Arcilla)^{-1}\ (100)\ ec \quad \text{Ec. 2,}$$

donde IMO es el índice de materia orgánica, MO es el contenido de materia orgánica, Limo es el contenido de limo, y Arcilla es el contenido de arcilla. Todas estas variables expresadas en porcentaje.

En estadios de madurez fisiológica de maíz y de soja se realizó la cosecha manual de los cultivos sobre una superficie de 3 m^2 y con 3 submuestras separadas de forma equidistante cada 30 m aproximadamente dentro de cada franja que luego fueron promediadas. Los rendimientos en grano de cada muestra fueron corregidos a contenidos uniformes de 14,5% de humedad. Se calculó la respuesta relativa a la fertilización con P:

$$Respuesta\ Relativa\ (\%) = (Respuesta\ (kg\ ha^{-1}))\ ((P_0)\ (kg\ ha^{-1}))^{-1}\ (100)\ ec \quad \text{Ec. 3,}$$

siendo la respuesta la diferencia entre (P_1) y (P_0) para cada tratamiento.

Se calculó un índice ambiental (IA) para cada fecha de siembra, zona de manejo, cultivo y lote como el promedio de rendimiento de los tratamientos fertilizados con fósforo y sin fertilizar, y se lo relativizó a partir del máximo para cada cultivo. Se realizaron regresiones lineales para cada cultivo de rendimiento fertilizado y sin fertilizar en función del IA, y se compararon las pendientes con la recta 1:1 mediante pruebas de t. Para los análisis estadísticos se utilizó el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos, se obtuvieron relaciones entre las propiedades de suelo y de productividad con la respuesta al agregado de P. Para los cultivos de maíz, la respuesta al agregado de P en función de los contenidos de MO, presentaron una relación de tipo logarítmica positiva (R^2= 0,29). A partir de valores por encima de 2,52 %, las respuestas comienzan a ser positivas. Para los cultivos de soja, no se encontró una relación estadísticamente significativa. La respuesta al agregado de P en función de la CE, presentó una relación lineal para ambos cultivos: en maíz (R^2= 0,24, p< 0,002) mostrando respuestas positivas a partir del valor de CE de 0,203 dS m^{-1}, mientras que en soja (R^2= 0,14, p< 0,023) mostrando respuestas positivas a partir del valor de CE de 0,163 dS m^{-1}. Para ambos cultivos evaluados, los mayores valores de CE y MO coinciden con las zonas de manejo de AP. Las mismas están asociadas a partículas de suelo más finas, y a posiciones bajas del relieve, mejorando la capacidad de retención de agua de los suelos. Esto incrementa el contenido de MO, como consecuencia del mayor aporte de residuos que reciben (Parton *et al.*, 1993). A su vez, los contenidos de MO, se asocian a partículas de suelo más finas, debido al efecto protector de las mismas (Quiroga *et al.*, 1996).

Para el cultivo de maíz, la respuesta al agregado de P en función de los contenidos de arena, mostro un ajuste lineal negativo (R^2= 0,14, p< 0,001), disminuyendo la respuesta, a medida que aumentan los contenidos de arena, siendo positiva hasta el 58 %. Las respuestas a su vez se obtuvieron en las zonas de manejo de alta productividad. No se observó correlación entre la respuesta al agregado de P y el porcentaje de arena para soja. Las zonas de manejo de AP, presentaron un menor contenido de arena. Esto hace que tengan la capacidad para almacenar mayor cantidad de agua útil, pudiendo estar disponible para el cultivo en diferentes momentos, mientras que las zonas de manejo de BP, la capacidad de almacenar el agua es baja, dependiendo la necesidad hídrica de las lluvias en los momentos críticos del cultivo. Esto pudo afectar al más al cultivo de maíz que al de soja, debido a que el crecimiento del maíz depende directamente de las precipitaciones en el período próximo a la floración (Andrade *et al.*, 1996). La respuesta al agregado de P en función del IMO no mostró correlación con ninguno de los cultivos.

Se observó una relación lineal positiva entre la respuesta al agregado de P y el pH en el cultivo de soja (R^2= 0,11, p< 0,001), mostrando esta valores de respuesta positivos a partir de 5,37. No se observó relación entre la respuesta al agregado de P y el pH en el cultivo de maíz. La relación entre el pH y la productividad del cultivo de soja, ha sido descripta por otros autores. La acidificación no sólo acarrea deficiencias de nutrientes básicos, sino que también produce perjuicios como la reducción de la disponibilidad de P y MO, la actividad de microorganismos responsables de la nitrificación y fijación simbiótica de N, y hasta toxicidad de Al, en situaciones donde el pH es menor a 5,5 (Vázquez *et al.*, 2010). En un estudio realizado en suelos de la provincia de Buenos Aires y Santa Fe, el agregado de enmiendas básicas en suelos de moderada a fuerte acidez actual ubicados en, aplicadas entre 15 días y 1 año previo a los cultivos, produjo incrementos de rendimiento de soja que oscilaron entre 209 y 1264 kg ha^{-1}. (Vázquez *et al.*, 2012).

La respuesta al agregado de P en función del IA, mostro una correlación positiva para ambos cultivos, ajustándose a una función lineal. En el cultivo de maíz (R^2= 0,37, p< 0,0001), la respuesta se vuelve positiva con un valor de 55,5 % de IA, mientras que para soja la respuesta se vuelve positiva con un valor de 40,6 % de IA. (Figura 1).

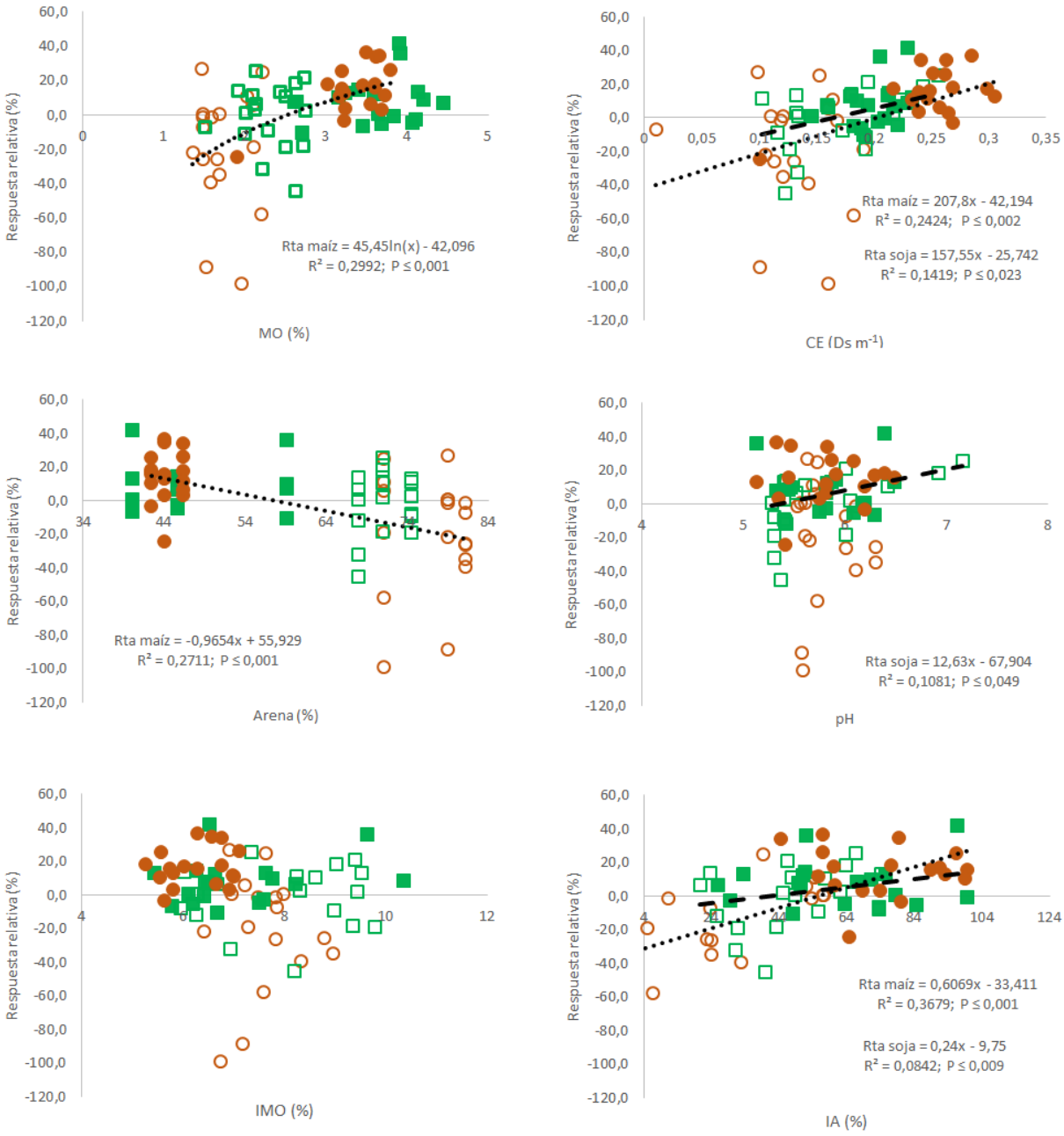


Figura 1. Relación entre la respuesta relativa al fertilizar con fósforo en lotes de maíz y de soja en 62 sitios de la subregión pampa arenosa según materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), arena, pH, índice de materia orgánica (IMO), e índice ambiental (IA) . Círculos llenos= maíz alta productividad, círculos vacíos= maíz baja productividad, cuadrados llenos = soja alta productividad, cuadrados vacíos = soja baja productividad.

En el cultivo de maíz, con el aumento del índice ambiental aumenta de manera más que proporcional el rendimiento de los tratamientos fertilizados, con respecto a los sin fertilizar ($p < 0{,}0001$), a partir de un rendimiento de 5291 kg ha^{-1}. Esto indica que la respuesta a la fertilización con fosforo en el cultivo de maíz aumenta a medida que el potencial del sitio es mayor (Figura 3 A). Al igual que para maíz, para el cultivo de soja, el aumento de rendimiento de los tratamientos fertilizados, aumenta en mayor medida que los tratamientos sin fertilizar a mayor IA ($p < 0{,}05$), a partir de un rendimiento de 2770 kg ha^{-1} (Figura 3 B).

Si bien en este estudio, existe una relación negativa entre el IA y el contenido de Pe en suelo, existen varios sitios donde el índice ambiental es alto y los contenidos de Pe en suelo también lo son; y puntos donde el índice ambiental y el contenido de Pe en suelo es bajo. Resultado similares fueron reportados por Ross y Elgart (2014), en el sudoeste de

Buenos Aires, para experimentos realizados en el cultivo de trigo, encontraron mayores respuestas al agregado de P, cuando el índice de productividad del cultivo aumentaba, en este caso limitado a partir de la profundidad de la tosca, y los contenidos de MO. Sin embargo, Gutiérrez-Boem & Thomas, (1999), en Princeton, Kentucky, EUA, en experimentos a campo encontraron que la mayoría de los efectos entre el agregado de fósforo y el estrés hídrico en el crecimiento del cultivo de soja fueron aditivos, por lo que, en general, los efectos del estrés hídrico fueron similares en cada nivel de P. Gutiérrez-Boem & Thomas, (2001), en experimentos en macetas encontraron que las reducciones relativas debidas al estrés hídrico fueron similares en cada nivel de P para el área foliar individual, el área foliar de la planta completa, la biomasa aérea, la conductancia estomática y la transpiración. En estos experimentos se mantuvo un nivel constante de estrés hídrico durante el desarrollo del cultivo, generando menor crecimiento en los tratamientos sin riego, mientras que en los experimentos realizados en este trabajo, los mayores estreses ocurren alrededor del período crítico, ya que en etapas anteriores a este, los tratamientos con fertilización fosforada mostraron mayor crecimiento, siendo luego perjudicial para el rendimiento del cultivo.

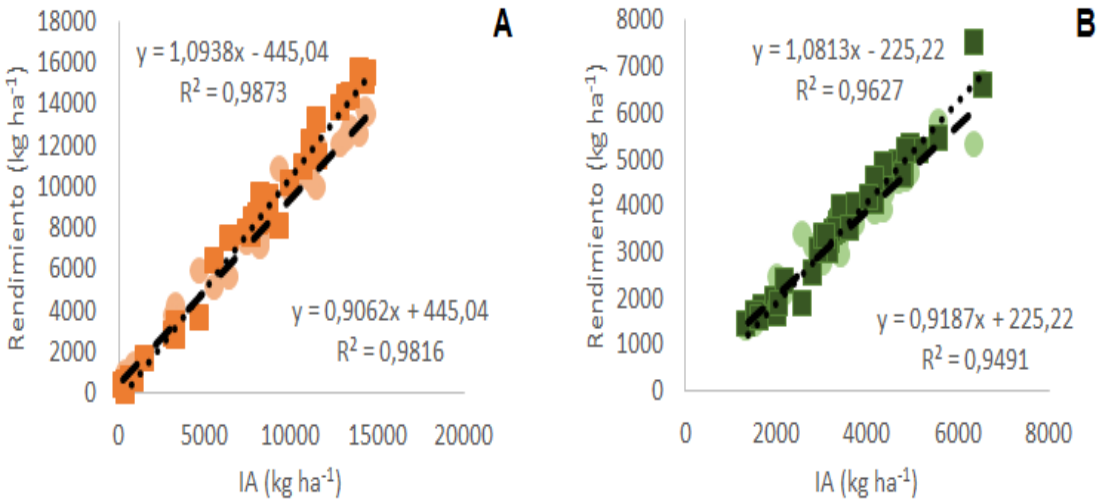


Figura 3. Rendimientos de tratamientos de fertilización con fósforo (círculos oscuros) y sin fertilizar (círculos claros) según la productividad o índice ambiental para los cultivos de maíz (A) y soja (B).

CONCLUSIONES

Para los cultivos de maíz, la respuesta al agregado de P, bajo condiciones contrastantes de manejo se relacionó con los contenidos de MO y Arena y con los valores de CE. Mientras que para soja, se encontraron relaciones con los valores de CE y pH. La respuesta a la fertilización con fosforo en los cultivos de maíz aumenta a medida que el potencial del sitio es mayor a partir de un rendimiento de 5,291 kg ha^{-1}. Para el cultivo de soja, el aumento de rendimiento de los tratamientos fertilizados, aumenta en mayor medida que los tratamientos sin fertilizar a mayor IA ($p < 0,05$), a partir de un rendimiento de 2770 kg ha^{-1}. A partir de estos resultados se puede plantear un modelo de recomendación de fertilización sitio específico a partir de los niveles críticos de P y de la productividad potencial de cada zona de manejo del lote.

AGRADECIMIENTOS

Al establecimiento “Los Tambos”, por ceder sus instalaciones para la instalación de los experimentos.
A ASP Bolívar, por la provisión de fertilizante para los experimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade F; AG Cirilo; S Uhart & M Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa EEA Balcarce, CERBAS, INTA-FCA, UNMP (Eds.). Dekalb Press. Buenos Aires. P 292.
- Barraco, MR; M Díaz-Zorita; WR Miranda & C Alvarez. 2014. Contribución de la fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre a la productividad de maíz en la Pampa Arenosa. Memoria técnica. EEA General Villegas. 2014-2015.
- Cordell, D; JO Drangert & S White. 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. Glob. Environ. Chang. 19: 292-305. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009.
- Cruzate, GA & Casas R. (2012). Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 6: 7-14.
- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar.
- Ferrari, M; J Ostojic; L Ventimiglia; H Carta; G Ferraris; S Rillo & F Rimatori. 2000. Fertilización de maíz: Buscando una mayor eficiencia en el manejo de nitrógeno y fósforo. Actas Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales “Fertilidad”.
- García, FO. 1999. Fósforo y azufre en el cultivo de maíz. Informaciones agronómicas N°3–INPOFOS–PPI–PPIC.
- Gutiérrez-Boem, FH & GW Thomas. 1999. Phosphorus nutrition and water deficits in field-grown soybeans. Plant Soil, 207(1): 87-96.
- Gutiérrez Boem, FH & GW Thomas. 2001. Leaf area development in soybean as affected by phosphorus nutrition and water deficit. J Plant Nutr Soil, 24: 1711-1729.
- Khosla R.; A Hornung; R Reich; D Inman & DG Westfall. 2006. Comparison of site specific management zone: soil-color-based and yield-based. Agron J, 98: 407-415.
- Parton, WJ; MO Scurlock; TG Ojima & TG Gilmanov. 1993. Observations and modeling of biomass anda soil organic matterdynamics for the grassland biome worlwide Global Biochem, Cicles 7: 785-809.
- Prystupa, P; F Salvagiotti; G Ferraris; FH Gutiérrez-Boem; J Elisei & L Couretot. 2004. Efecto de la fertilización con fósforo, azufre y potasio en cultivos de maíz en la pampa ondulada. INPOFOS Informaciones Agronómicas, (23), 1-4.
- Quiroga, AR; DE Buschiazzo & N Peinemann. 1996. Soil organic matter particle size fractions in soils of the semiarid Argentinian pampas. Soil Sci, 161(2), 104-108.
- Ross, F & Elgart L. 2014. Fertilización con fósforo por ambiente en trigo. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 22-25.
- Vázquez, M; A Terminiello; A Casciani; G Millán; D Cánova; P Gelatti P & M García. 2012. Respuesta de la soja (Glicine max. Merr) a enmiendas básicas en suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. Ciencia del suelo, *30*(1), 43-55.
- Vázquez, M. 2010. Calcio y magnesio del suelo. Dinámica en el suelo. Diagnóstico y fertilización. En: Fertilidad del suelo. Diagnóstico y manejo en la Región Pampeana. Ed. Rubio G., Álvarez R., C. Álvarez y R. Lavado. FAUBA. Buenos Aires. Cap. 4: 371-394. 423 p.

C3P65. SUSCEPTIBILIDAD A LA ACIDIFICACIÓN EDÁFICA POR EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES BÁSICOS POR LA AGRICULTURA EXTENSIVA BONAERENSE.

Presutti Miriam E.

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119. (1900) La Plata. Argentina. presutti@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN

El fuerte aumento en la producción de granos en las últimas décadas, en la mayoría de los casos, no fue acompañado con una racional rotación y nutrición de los cultivos, lo que provocó un deterioro del suelo a expensas de consumir anualmente los nutrientes almacenados. Los nutrientes Ca^{+2}, K^{+1} y Mg^{+2}, en ese orden de prioridad, ya han comenzado a ser limitantes en la producción en diferentes zonas del país, debido principalmente al desbalance provocado por la extracción de cosechas. Se analizaron los datos analíticos del horizonte superficial de 217 series de suelos presentes en la provincia, los valores mínimos y máximos obtenidos de los cationes básicos, en mg kg^{-1} de suelo, son de 380 y 6560 para Ca, de 61 a 2077 para Mg y de 97 a 1838 de K. La tasa de extracción de nutrientes es variable de acuerdo al cultivo realizado y al rendimiento alcanzado. La extracción en kg ha^{-1} se incrementó progresivamente a lo largo de las décadas de la mano del incremento en los cultivos mientras que la extracción total (en t) se incrementó exponencialmente a lo largo de las campañas. Los resultados indican que se extrajeron 9,36 millones de t de nutrientes básicos, en las 47 campañas por los cuatro cultivos, siendo el 10% de Ca, 21% de Mg y 69% para el K. Las mayores tasas de extracción de los tres nutrientes se produjeron en los partidos del norte de la provincia, donde se contabilizaron valores de más de 50 kg ha^{-1} de Ca^{+2}, 140 de Mg^{+2} y 440 de K^{+1} en 47 campañas. El cultivo de soja extrajo durante todo el período analizado el 59% del total de los nutrientes básicos extraídos, le sigue el trigo con el 20%, maíz con 13 y girasol con el 8%.

Palabras clave: Huella mineral, degradación, sostenibilidad

INTRODUCCIÓN

La provincia de Buenos Aires con más de 30 millones de hectáreas, destina 10 millones de ha para cultivos agrícolas y la actividad ganadera se desarrolla en el 54% de su superficie (Abbona *et al*, 2016). La intensa actividad agropecuaria en el área templada de Argentina es responsable de la extracción de los principales nutrientes de los suelos más fértiles del país. El fuerte aumento en la producción de granos en las últimas décadas, en la mayoría de los casos, no fue acompañado con una racional rotación y nutrición de los cultivos, lo que provocó un deterioro físico, químico y biológico a expensas de consumir anualmente los nutrientes almacenados en el suelo. Los nutrientes Ca^{+2}, K^{+1} y Mg^{+2}, en ese orden de prioridad, ya han comenzado a ser limitantes en la producción en diferentes zonas del país, debido principalmente al desbalance provocado por la extracción de cosechas (Fontanetto, 2011). Además de la exportación de bases por la producción agropecuaria sin reposición, otras de las causas del proceso de acidificación de los suelos en áreas templadas, son la aplicación de fertilizantes nitrogenados, la acumulación de materia orgánica en superficie por la difusión de la siembra directa; las pérdidas por lixiviación y erosión (Irurtia; 2004). Según Vázquez & Pagani (2015), en el ámbito templado la necesidad de corrección de la acidez se relaciona fundamentalmente con aspectos nutricionales ligados a las bases, Ca^{+2}, Mg^{+2} y K^{+1}, más que con el pH en sí mismo.

Presutti *et al.* (2016), elaboraron mapas de la saturación relativa de los cationes básicos a partir de los datos analíticos consignados en los mapas de suelos disponibles (1:50000) de la provincia de Buenos Aires; encontraron valores que oscilan entre 42 y 85% para Ca^{+2}, indicando que existen amplias zonas con deficiencia de este nutriente; valores entre 7,66 y 42% para Mg^{+2} y de 2,75 y 28% para K^{+1}, que se encuentran en el rango de los valores de suficiencia para ambos nutrientes. Se puede establecer como nivel adecuado cuando el porcentaje de saturación con magnesio es superior al 7%, moderado entre 5 y 6% y bajo por debajo del 5%. (Gambaudo & Fontanetto, 2011).

Sainz Rozas *et al.* (2014) encontraron disminuciones del 12% en el contenido de Ca^{+2} intercambiable en suelos con más de 15 años de agricultura comparados con suelos prístinos testigos, obteniendo los valores más altos en el Sur de la provincia de Buenos Aires y los más bajos en el noreste. Respecto al Mg^{+2} la disminución es de alrededor de 18%, no obstante la disponibilidad de Mg está en el rango de alta a muy alta y no detectaron zonas con valores menores al umbral crítico de 50 o 60 mg kg^{-1} (Havlin *et al.*, 2005). La actividad agrícola disminuyó en promedio un 23,5% el K^{+1} intercambiable, valor que supera al determinado para Ca^{+2} y Mg^{+2}, lo que se explicaría por la mayor exportación en los

granos de K^{+1} respecto a Ca^{+2} y Mg^{+2}. La disponibilidad de K^{+1} en esta zona es alta a muy alta, con valores dos a tres veces mayores que el umbral de respuesta (150-175 mg kg-1) (Conti & García, 2006), esto se explica porque los suelos pampeanos son derivados de loess muy ricos en K^{+1}.

Un indicador para medir el impacto de la agricultura en la degradación del suelo es la Huella Mineral (HM) propuesto por Vicente & Engler en el año 2011. En el sector agropecuario, la HM contabiliza en términos físicos los niveles de exportación de minerales en una región, como la sumatoria de las cantidades de nutrientes contenidas en los granos producidos en ella.

Los objetivos de este trabajo son: i) determinar la disponibilidad inicial de los cationes básicos en el suelo a partir de los datos analíticos de las cartas de suelo, ii) estimar las extracciones de los cationes básicos (HM) ocasionadas por la cosechas de granos en la provincia de Buenos Aires en los últimos 47 años, y iii) estimar la susceptibilidad a la acidificación ocasionada por la continua extracción de bases, asumiendo que no hubo reposición de los cationes básicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Disponibilidad inicial de nutrientes básicos

Se generó una base de datos con los contenidos intercambiables de Ca^{+2}, Mg^{+2} y K^{+} del horizonte superficial de las series de suelos descriptas por INTA. Estos análisis químicos fueron realizados mayoritariamente durante las décadas del 60 y 70 y en menor medida en los 80. Los datos, expresados en meq cada100 g de suelo fueron convertidos a kg ha^{-1}, considerando el peso atómico y la carga de cada catión, la densidad aparente y la profundidad del horizonte superficial. Se utilizaron los siguientes valores de equivalencias: 200, 121,5 y 391 mg de Ca^{+2}, Mg^{+2} y K^{+} respectivamente por kg de suelo. Se asignó un valor de densidad aparente a cada una de la serie, en función de la clase textural del horizonte superficial. Los valores de densidad adoptados están comprendidos entre 1,1 g cm^{-3} para suelos arcillosos y 1,4 g cm^{-3} para los de textura más gruesa. La profundidad del horizonte superficial es la consignada en las cartas de suelo, y es variable según la serie. En un entorno SIG, fueron asociados a los polígonos de las unidades cartográficas, escala 1:50.000, los datos analíticos de la serie dominante. No se analizaron las unidades cartográficas definidas como complejos ni los partidos del sur bonaerense, Villarino y Patagones, por no estar relevados en la escala de trabajo. Finalmente se calculó un valor medio de la disponibilidad de cada catión por partido, mediante la ponderación de la superficie ocupada por las unidades cartográficas en cada partido y su correspondiente valor de disponibilidad.

Huella Mineral. Extracción de nutrientes básicos.

Se analizaron las series de estimaciones agrícolas elaboradas por el actual Ministerio de Agroindustria de la Nación, que consigna datos sobre superficie cosechada (ha), producción (t) y rendimiento (kg ha^{-1}), en cada partido de la provincia de Buenos Aires durante 47 campañas, desde la campaña 1969/70 hasta la 2015/16 para los cuatro cultivos principales: trigo, maíz, soja y girasol. En cada partido de la provincia y para cada cultivo individualmente, se aglomeraron los datos en cinco grupos (cuatro de 10 campañas y uno de 7) y se calcularon los rendimientos promedios de cada década, mediante la sumatoria de cada producción anual dividida por la sumatoria de las superficies cosechadas en el mismo período. Los datos de extracción de nutrientes en kg ha^{-1}, Huella Mineral/ha, fueron calculados utilizando la planilla Cálculo de requerimientos nutricionales (IPNI, 2016) a partir de los rendimientos medios calculados y con una humedad de grano de 14%. Las extracciones en kg ha^{-1} de todas las campañas y todos los cultivos fueron sumadas por partidos para generar mapas de las huellas minerales de cada nutriente. La extracción total en t de cada nutriente por cada cultivo, se determinó por la sumatoria de la extracción en cada partido, calculada como la extracción en kg ha^{-1} según el rendimiento promedio de la década multiplicada por la superficie cosechada en el mismo periodo.

Mapas de Susceptibilidad

Para cada partido y para los tres nutriente se calculó la proporción entre la disponibilidad y la extracción, ambos en kg ha^{-1}, como un indicador de la susceptibilidad a la acidificación, distinguiéndose tres niveles, baja, media y alta. Se generó un mapa final mediante la sumatoria de los tres anteriores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Disponibilidad inicial de nutrientes básicos

Se analizaron los datos analíticos del horizonte superficial de 217 series de suelos presentes en la provincia, los valores mínimos y máximos obtenidos de los cationes básicos, en mg kg^{-1} de suelo, fueron de 380 y 6560 para Ca^{+2}, de 61 a 2077 para Mg^{+2} y de 97 a 1838 de K^{+1}. Valores que superan los umbrales críticos de 150-200 mg K kg^{-1} y 50 mg Mg kg^{-1} (Correndo & García, 2011). Sin embargo, la disponibilidad cálcica es baja hacia el NO y Centro de la provincia, en general, los suelos arenosos contienen menos Ca^{+2} que los arcillosos. Los contenidos de nutrientes básicos expresados en kg ha^{-1} se muestran en la Figura 1. Los contenidos de Ca^{+2} son superiores a los demás y los de Mg^{+2} son los menores. La distribución espacial dentro de la provincia (Figura 2) también muestra la baja disponibilidad de Ca^{+2} y Mg^{+2} al NO y centro de la misma, mientras que en los partidos de SE la disponibilidad de éstos cationes es más elevada, superando valores, en kg ha^{-1}, de 7000 para Ca^{+2}, 1000 de Mg^{+2} y 3500 de K^{+1}.

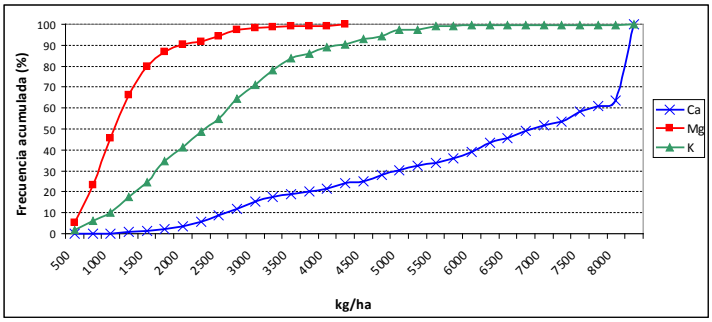


Figura 1. Frecuencia acumulada de los contenidos de Ca^{+2}, Mg^{+2} y K^{+1} en kg ha^{-1} de los horizontes superficiales de 217 series de suelo de la provincia de Buenos Aires.

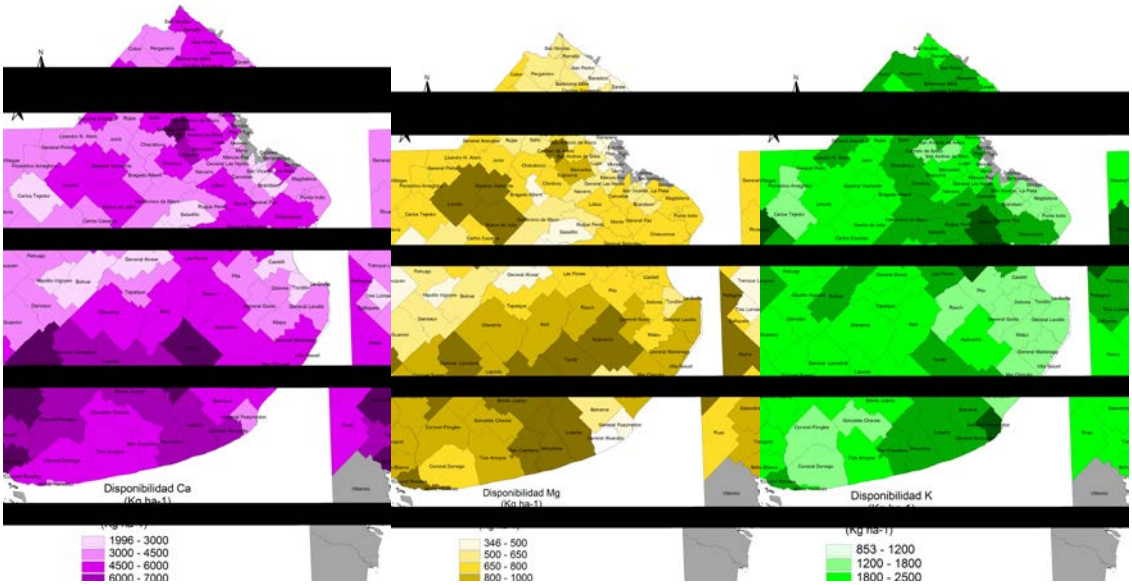


Figura 2: Disponibilidad media por partido de Ca^{+2} Mg^{+2} y K^{+} en kg ha^{-1} del horizonte superficial

Huella Mineral. Extracción de nutrientes.

La tasa de extracción de nutrientes es variable de acuerdo al cultivo realizado y al rendimiento alcanzado. La extracción en kg ha^{-1} se incrementó progresivamente a lo largo de las décadas de la mano del incremento en los rendimientos (Tabla 1) mientras que la extracción total (en t) se incrementó exponencialmente a lo largo de las campañas (Tabla 2). Los resultados indican que se extrajeron 9,36 millones de t de nutrientes básicos, en las 47 campañas por los cuatro cultivos, correspondiendo un 10% al Ca^{+2}, 21% al Mg^{+2} y 69% para el K^{+1}. Similar proporción se observa en cada década, aunque los valores absolutos se van incrementando; en la primera década se extrajo el 5,6% de ese total, mientras

que en la última (período de 7 años) la misma representa el 36,6%, esto se explica por el aumento en los rendimientos y por el aumento de la superficie dedicada a la agricultura extensiva. En cuanto a los cultivos, la soja, en todos los periodos, excepto en el primero (1969-1979), fue la que mayor HM total tuvo, llegando a provocar la extracción del 72% del Ca^{+2}, 64% del K^{+1} y el 38% del Mg^{+2} del total extraído por todos cultivos en todo el período analizado. Las mayores tasas de extracción de los tres nutrientes se produjeron en los partidos del norte de la provincia, donde se contabilizaron valores medios de más de 50 kg ha^{-1} de Ca^{+2}, 140 de Mg^{+2} y 440 de K^{+1} en 47 campañas (Figura 3). Estos valores fueron calculados a partir de los promedios de los rendimientos obtenidos en cada década, por lo que es esperable llegar a valores más altos en campañas y sitios puntuales.

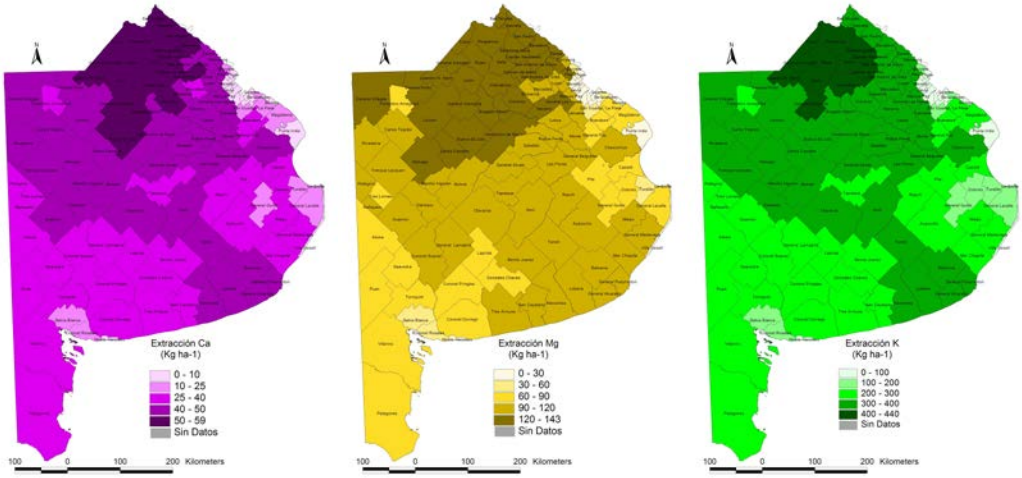


Figura 3. Extracción total en kg ha^{-1} de Ca^{+2} Mg^{+2} y K^{+} producida por los cuatro cultivos en las 47 campañas

En los mapas de la Figura 4 se resaltan las regiones en la provincia con altos niveles susceptibilidad a la acidificación, relación entre la extracción de nutrientes básicos por las cosechas respecto de la disponibilidad inicial de los mismos. En el noroeste para el calcio y potasio y en el noroeste para los tres cationes, donde sería necesario considerar tanto la reposición de los mismos como un replanteo de las rotaciones. Este análisis se completará con el análisis de los desbalances provocados entre las bases debido a la extracción diferencial de los nutrientes. Esta información sería de utilidad que sea considerada en las políticas agropecuarias bonaerenses tendientes a mejorar la sustentabilidad del recurso suelo.

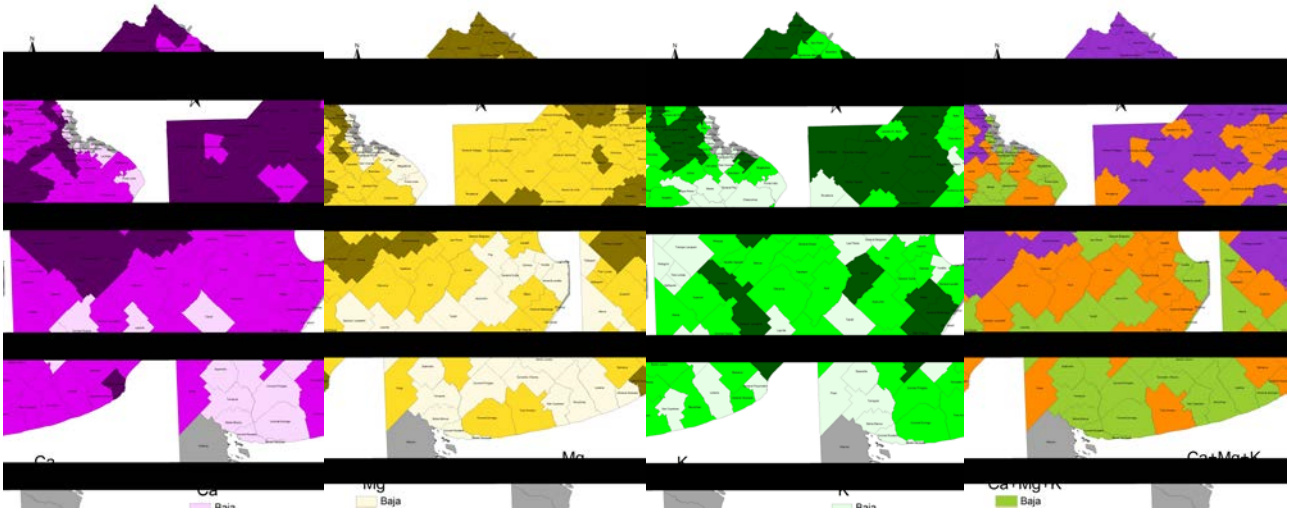


Figura 4. Mapas de susceptibilidad a la acidificación causada por la extracción de Ca^{+2} Mg^{+2} y K^{+1} en las cosechas de los cuatro cultivos en las 47 campañas.

Tabla 1. Extracción de Ca^{+2}, Mg^{+2} y K^{+1} en kg ha^{-1} para 47 campañas analizadas (1969/1970 hasta 2015/2016) agrupadas en décadas para los cuatro cultivos principales.

Cultivo	*Sup. Cosechada (ha)*	*Producción (t)*	*Rendimiento (kg/ha)*	*Extracción Ca (kg/ha)*	*Extracción Mg (kg/ha)*	*Extracción K (kg/ha)*
			1969/1979			
Trigo	28.459.100	43.843.020	1541	0,6	3	5
Soja	587.607	1.106.563	1883	4,8	6	32
Maíz	10.687.680	36.810.850	3444	0,6	5	12
Girasol	7.465.450	6.068.625	813	1,0	2	5
			1979/1989			
Trigo	35.165.500	65.526.600	1863	0,7	4	7
Soja	7.318.700	14.891.900	2035	5,2	6	34
Maíz	10.369.450	40.579.720	3913	0,7	5	13
Girasol	12.053.000	15.610.400	1295	1,5	3	7
			1989/1999			
Trigo	32.078.780	74.471.727	2322	0,8	5	8
Soja	13.617.705	28.859.240	2119	5,6	6	35
Maíz	10.055.920	53.339.140	5304	1,0	7	18
Girasol	16.134.545	28.229.745	1750	2,0	5	9
			1999/2009			
Trigo	31.707.741	84.034.239	2650	1,0	6	9
Soja	31.965.193	81.443.656	2548	6,6	8	42
Maíz	7.655.787	52.797.620	6896	1,2	9	24
Girasol	11.542.720	19.384.339	1679	1,9	5	8
			2009/2016			
Trigo	13.164.102	45.406.234	3449	1,2	7	12
Soja	43.462.749	124.169.085	2857	7,4	9	47
Maíz	7.936.443	60.296.439	7597	1,4	10	26
Girasol	5.618.279	11.945.859	2126	2,7	6	10

Tabla 2: Extracción (t) de los cationes básicos producida por los cuatro cultivos en las cinco décadas de agricultura, para toda la provincia de Buenos Aires.

Cultivo	*Extracción Total Ca (t)*	*Extracción Total Mg (t)*	*Extracción Total K (t)*
		1969/1979	
Trigo	15.867	93.695	151.617
Soja	2.834	3.280	18.533
Maíz	6.722	49.810	127.810
Girasol	7.471	15.631	37.339
Subtotal 1	**32.894**	**162.416**	**335.299**
		1979/1989	
Trigo	23.268	144.098	229.034
Soja	38.420	43.637	249.049
Maíz	7.366	55.362	139.723
Girasol	18.670	38.763	78.695
Subtotal 2	**87.724**	**281.860**	**696.501**
		1989/1999	
Trigo	26.988	164.417	257.330
Soja	75.948	86.437	479.954
Maíz	9.567	72.960	183.387
Girasol	32.270	76.856	137.645
Subtotal 3	**144.772**	**400.670**	**1.058.316**
		1999/2009	
Trigo	30.217	181.319	292.816
Soja	211.604	246.386	1.334.271
Maíz	9.539	72.479	181.904
Girasol	22.346	52.019	93.647
Subtotal 4	**273.706**	**552.203**	**1.902.637**
		2009/2016	
Trigo	16.384	98.717	156.605
Soja	323.768	378.793	2.051.277
Maíz	10.858	82.294	208.208
Girasol	15.168	31.872	57.664
Subtotal 5	**366.178**	**591.677**	**2.473.754**
TOTAL (t)	**905.274**	**1.988.826**	**6.466.508**
TOTAL (t)			**9.360.608**

CONCLUSIONES

Los resultados indican que se extrajeron 9,36 millones de t de nutrientes básicos, en las 47 campañas por los cuatro cultivos, correspondiendo un 10% al Ca^{+2}, 21% al Mg^{+2} y 69% para el K^{+1}.

El cultivo de soja fue el que mayor HM total tuvo, excepto en las diez primeras campañas (1969-1979), llegando a provocar la extracción del 72% del Ca^{+2}, 64% del K^{+1} y el 38% del Mg^{+2} del total extraído por todos cultivos en todo el período analizado. Las mayores tasas de extracción de los tres nutrientes se produjeron en los partidos del norte de la provincia, donde se contabilizaron valores medios de más de 50 kg ha^{-1} de Ca^{+2}, 140 de Mg^{+2} y 440 de K^{+1} en 47 campañas.

Todos los cultivos incrementaron progresivamente sus rendimientos, aunque la soja incrementó en menor medida que el resto, pero la producción de este grano se ha incrementado exponencialmente; esto ocasionó que tanto las extracciones en kg ha^{-1} y en toneladas totales también fueran las mayores. El cultivo de soja extrajo durante todo el período analizado el 59% del total de los nutrientes básicos extraídos, le sigue el trigo con el 20%, maíz con 13 % y girasol con el 8%.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbona, E; M Presutti; M Vázquez & SJ Sarandón. 2016. Los sistemas de producción de carne y leche bovina en la Provincia de Buenos Aires ¿conservan los nutrientes del suelo?. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, Vol 115 (2): 251-263
- Conti, M, & FO. García. 2006. Potasio. En: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos (eds. HE Echeverría y FO García). Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. p. 123-137.
- Gambaudo S & H Fontanetto. 2011. Diagnóstico de la acidez edáfica y su corrección. Simposio de Fertilidad 2011.
- Fontanetto, H; S Gambaudo; O Keller & J Albrecht. 2011. Las mejores prácticas de manejo para los cultivos y sistemas de producción. Avances en la fertilización con calcio, magnesio y potasio en Argentina. Simposio de Fertilidad 2011.
- Havlin, JL; JD Beaton; SL Tisdale & WL Nelson. 2005. Soil acidity and alkalinity. En J.L. Havlin, J.D. Beaton, S.L. Tisdale, W.L. Nelson (ed.) Soil fertility and fertilizers. Pearson Prentice Hall. New Jersey. 7th ed, p. 45-96.
- IPNI. 2016.Planilla de Cálculo de Requerimientos nutricionales
- Irurtia CB. 2004. Aspectos relacionados a la dinámica del calcio en suelos agrícolas de la región pampeana. Jornada Nacional de Química y Fertilidad de suelos: “El Calcio y el Magnesio en la Producción Agropecuaria”.Facultad de Agronomía, La Plata.
- Presutti M; M García & M Vázquez. 2016. Acidificación de los suelos de la pradera pampeana. Mapeo de la saturación básica y de los índices relativos. XXI Congreso Latinoamericano y XV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.
- Sainz Rozas HR; HE Echeverría; PA Barbieri & M Eyherabide. 2014. Relevamiento y Mapeo de la fertilidad en suelos agrícolas de la región pampeana Argentina. Revista Fertilizar, 29: 3-8.
- Vázquez M & A Pagani A. 2015. Calcio y Magnesio del suelo. Manejo de fertilización y enmiendas. En: Echeverría H., García F. (Ed.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. INTA, Cap. 11: 317-356.
- Vicente G & P Engler. 2011. Huella mineral, Índice de eficiencia de exportación mineral y Relación real de intercambio de nutrientes en la producción agrícola pampeana. V Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente de REDIBEC (V CISDA).V Jornadas de la Asociación Argentino Uruguaya de Economía Ecológica. Santa Fe, Argentina. 12-14 de Septiembre de 2011

C3P66. USO DE SENSORES DE CANOPEO PARA CALCULAR LA DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA DE NITRÓGENO EN CEBADA

Queirolo, Ignacio M.[1,*]; Reussi Calvo, Nahuel I.[1,2,3]; Sainz Rosas, Hernán R.[1]; Prystupa, Pablo[4] y Divito, Guillermo A.[5]

[1]Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Ruta Nac. 226 km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. [2]CONICET. [3]Fertilab, Moreno 4524, (7600) Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. [4]Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. [5]Asesor privado, AAPRESID.
*Autor de contacto: nachoqueirolo@gmail.com .

RESUMEN

En la actualidad los modelos de diagnóstico de nitrógeno (N) en cebada no contemplan la incidencia de la relación insumo: producto. El objetivo fue evaluar la utilidad del SPAD 502 y Green Seeker para monitorear el estatus nitrogenado de la cebada y definir la dosis óptima económica (DOE) en diferentes momentos del ciclo. Se realizaron 8 experimentos de fertilización nitrogenada en el sudeste bonaerense (SEB). Se determinó el índice de verdor con el SPAD 502 (SPAD) y el índice de vegetación de las diferencias normalizado con el Green Seeker (NDVI) en cuatro macollos (Z24), un nudo (Z31) y hoja bandera (Z39). Además, se relativizaron las lecturas de ambos sensores respecto a la máxima dosis de N, siendo el índice de suficiencia de N (ISN) y el índice de vegetación de las diferencias normalizado relativizado (NDVIr), respectivamente. El déficit o exceso de N respecto de la DOE (dDOE) se calculó como la DOE menos la dosis de N aplicada. El rendimiento promedio fue de 5611 kg ha^{-1}, con valores mínimos de 3096 y máximos de 7640 kg ha^{-1} según la dosis de N y sitio experimental. Se observó estrecha asociación entre el ISN y la dDOE (r^2 = 0,65; 0,84; 0,83 para Z24, Z31 y Z39, respectivamente). Similares asociaciones fueron determinadas entre NDVIr y la dDOE (r^2 = 0,81; 0,74; 0,78 para Z24, Z31 y Z39, respectivamente). Considerando ambos sensores, se obtuvo un único modelo para estimar la dDOE para el período que va desde fin de macollaje hasta hoja bandera de la cebada (r^2 = 0,76), siendo el umbral de 0,95. Esta información permitiría hacer un manejo de la fertilización nitrogenada más eficiente y rentable que el realizado en la actualidad.

Palabras claves: diagnóstico, relación de precios, clorofilómetro.

INTRODUCCIÓN

La metodología más difundida para el diagnóstico de N en cebada, al igual que en trigo, se basa en la determinación del contenido de N-NO_3^- en el suelo (0-60 cm) al momento de la siembra (Prystupa *et al*., 2008; Barbieri *et al*., 2009). Se han propuesto distintos niveles (umbrales) de disponibilidad de N (suelo+fertilizante) en suelo con el cual se alcanza el rendimiento máximo según las zonas. No obstante, la disponibilidad de N-NO_3^- a la siembra en trigo ha demostrado ser un pobre predictor de la respuesta a la fertilización, la cual mejora al incluir un índice de mineralización (Reussi Calvo *et al*., 2013). Sin embargo, la aplicación de estos métodos de diagnóstico no considera ni la incidencia del costo de los insumos y de su relación con el precio del grano (relación insumo-producto), ni tampoco la incidencia de las condiciones ambientales sobre las pérdidas y ganancias de N del sistema. Debido a esto, Barbieri *et al*. (2009) determinaron que fertilizaciones al macollaje permitieron obtener menores dosis óptima económica (DOE) que al momento de la siembra.

El sudeste bonaerense (SEB) se caracteriza por una elevada probabilidad de ocurrencia de excesos hídricos al comienzo de la estación de crecimiento del cultivo (Reussi Calvo & Echeverría, 2006). Por lo tanto, para trigo, se ha determinado que el fraccionamiento de la dosis de N entre inicio (Z21, según Zadoks *et al*., 1974) y fin de macollaje (Z31) permite mejorar la eficiencia de uso del N (Velasco *et al*., 2012), lo que redunda en beneficios productivos y ambientales. Similares resultados fueron informados para cebada por Orcellet *et al*. (2015).

Si bien, el análisis de muestras de suelo en presiembra o macollaje permite realizar una primera aproximación a la estimación de la DOE, el uso de sensores remotos durante estadíos vegetativos y reproductivos tempranos permiten el monitoreo del estatus nitrogenado del cultivo, cuantificando de esta manera el efecto de las condiciones climáticas sobre las pérdidas (lavado y desnitrificación) o mineralización de N orgánico durante los estadíos iniciales.

En este sentido, existe una amplia gama de sensores de transmitancia y refractancia que permiten caracterizar, de forma rápida y no destructiva, el estatus nitrogenado del cultivo, siendo éstos una alternativa superadora y/o complementaria a los métodos basados en determinaciones de suelo. Uno de los más difundidos es el medidor de clorofila Minolta SPAD® 502. Este se basa en la estrecha relación que existe entre la intensidad del color verde de la hoja o índice

de verdor (IV) de la hoja y el contenido de clorofila y, entre ambos y la concentración de N en hoja (Waskom, 1996). No obstante, el IV presenta el inconveniente de estar afectado por numerosos factores (Blackmer & Schepers, 1995; Gandrup *et al*., 2004). Por lo tanto, para minimizar los errores se recomienda relativizar las mediciones de SPAD con áreas del lote de referencia sin limitaciones de N (Barker & Sawyer, 2010; Reussi Calvo *et al*., 2015). A partir de las lecturas de SPAD en dichas zonas se determina un índice de suficiencia de N (ISN), que surge del cociente entre la lectura del lote y el IV del área sin limitaciones nutricionales. Otra alternativa es el sensor remoto Green Seeker (Ntech Industries, Inc., Ukiah, CA.) que mide la reflectancia del canopeo en las bandas del rojo (R) e infrarrojo cercano (IR), expresando los resultados como un índice de vegetación de las diferencias normalizado (NDVI) (Qualm *et al*., 2010; Gutiérrez-Soto *et al*., 2011). Como para el IV, algunos autores recomiendan la relativización de las lecturas de NDVI (NDVIr) con zonas de referencia sin N limitante (Barker & Sawyer, 2010; Clay *et al*., 2012; Samborski *et al*., 2015).

Para el SEB, Reussi Calvo *et al*. (2015) reportaron que mediciones relativas de SPAD y NDVI pueden ser empleadas para el monitoreo del estatus nitrogenado del cultivo de trigo desde mediados de macollaje hasta hoja bandera. Además, para maíz, Scharf *et al*. (2006) determinó que las mediciones de IV se relacionaban con la DOE y la respuesta en rendimiento al agregado de N. Para cebada es escasa la información disponible respecto de la utilidad de estos métodos de diagnóstico y además no hay información sobre el empleo de dichas herramientas para definir la DOE de N. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la utilidad del SPAD y el Green Seeker para monitorear el estatus nitrogenado de la cebada y definir la DOE para diferentes momentos del ciclo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña 2016-2017 se realizaron 8 experimentos bajo siembra directa en el SEB (localidades de Gral Madariaga, Necochea-La Dulce, Balcarce y Miramar). En cada sitio se evaluó un testigo (0 kg N ha^{-1}) y cinco dosis de N (40, 80, 120, 160 y 200 kg N ha^{-1}) aplicadas en el estadio de dos hojas (Z12). La forma de aplicación fue al voleo en cobertura total y se usó como fuente de N la urea (46-0-0). En todos los sitios, el diseño fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones. El tamaño de la unidad experimental fue de 3 m de ancho por 12 m de largo, siendo la superficie de 36 m^2. Se aplicó a la siembra una dosis de 30 kg ha^{-1} de fósforo y 20 kg ha^{-1} de azufre para que no limiten el crecimiento y desarrollo. El manejo del cultivo fue el recomendado para la zona, siendo la variedad sembrada Shakira, Andreia y Traveller según sitio.

A la siembra del cultivo se realizaron muestreos de suelo en superficie (0-20 cm) para determinar el contenido de materia orgánica (MO), pH y N-NH_4^+ producido en anaerobiosis (Nan), y en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm) para N-NO_3^-.La concentración de N- N-NO_3^- se extrajo con KCl y se determinó por colorimetría (Keeney & Nelson, 1982). La MO se determinó por el método Walkley & Black (Nelson & Sommers, 1996) y el pH en relación 1:2,5 (suelo-agua). Además, el Nan se obtuvo según la metodología descripta por Echeverría *et al*. (2000).

Se realizaron mediciones con SPAD y Green Seeker en cuatro macollos (Z24), inicio de encañazón (Z31) y hoja bandera (Z39). Para cada momento, se calculó el ISN y NDVIr como el cociente entre la medición en un tratamiento determinado respecto al valor de la parcela sin limitaciones de N (200N). En madurez fisiológica se cosecharon las parcelas de forma manual y se trillaron empleando una trilladora estacionaria. Se determinó el rendimiento (expresado al 13,5% de humedad).

Las diferencias entre tratamientos sobre las variables rendimiento fueron evaluadas mediante análisis de la varianza (ANOVA) con el paquete estadístico R. Las diferencias entre medias de tratamiento se evaluaron usando el Test de las diferencias mínimas significativa (DMS) ($P<0.05$). Además, algunas variables fueron evaluadas por regresión. Para cada sitio, se ajustó un modelo cuadrático entre rendimiento y la dosis de N, el cual fue utilizado para definir la DOE empleando la relación de precios histórica de 6:1 (Ventimiglia & Torrens, 2015). Para sitios sin respuesta al agregado de N la DOE fue igual a 0. El déficit o exceso de N respecto de la DOE (dDOE) se calculó como la diferencia entre DOE y la dosis de N aplicada (Hawking *et al*., 2007; Reussi Calvo *et al*., 2015). Valores de dDOE negativos indican deficiencia y positivos excesos de N.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo fueron similares al promedio histórico de cada zona (450-500 mm, aproximadamente), siendo de 400, 300, 500 y 400 mm para Gral Madariaga, Necochea-La Dulce, Balcarce y Miramar, respectivamente. Considerando que la demanda hídrica del cultivo de cebada para dicha zona es de 400-450 mm, estos resultados indicarían que la disponibilidad hídrica no limitó el rendimiento para la zona de Gral. Madariaga, Balcarce y Miramar, pero si para Necochea-La Dulce. Por otra parte, el contenido promedio de MO y Nan en el estrato superficial (0-20 cm) fue de 5,3 % (mínimo de 4,0 y máximo de 6,6 %) y 47,9 mg kg^{-1} (mínimo de 32,7 y máximo de 88,3

mg kg^{-1}), respectivamente. La disponibilidad promedio de N en presiembra (0-60 cm) fue de 52,7 kg ha^{-1}, con valores desde 30,8 a 96,9 kg ha^{-1}. La variabilidad en la disponibilidad de N en presiembra sumado a la de Nan, evidencian situaciones con diferente disponibilidad inicial y potencial de N para el cultivo.

El rendimiento promedio fue de 5611 kg ha^{-1}, con valores mínimos de 3096 y máximos de 7640 kg ha^{-1} según la dosis de N y sitio experimental (Tabla 1). Se determinó interacción significativa en rendimiento entre sitio y dosis de N. En el 88% de los sitios se observaron incrementos en rendimiento ($p<0,05$) frente al aumento en la dosis de N (Tabla 1), siendo la respuesta en rendimiento media de 1600 kg ha^{-1} con valores desde 80 a 3790 kg ha^{-1}. Para dichos sitios la eficiencia de uso del nitrógeno del fertilizante fue en promedio de 17 kg grano por kg N, la cual se ubica por encima de la relación de precio histórica insumo: producto para cebada de 6-8:1.

Tabla 1. Efecto de la dosis de N sobre rendimiento en grano según sitio experimental.

Sitio	**Rendimiento en grano (kg ha^{-1})**						
Dosis N (kg ha^{-1})	**0**	**40**	**80**	**120**	**160**	**200**	**Promedio**
1	4895 c	6127 b	6472 ab	6956 ab	6903 ab	6779 ab	6355
2	5495	6019	6152	5198	5776	5576	5703
3	4522 c	5498 bc	6518 ab	6020 ab	6384 ab	6827 a	5961
4	3655 d	4470 cd	4870 bc	5110 abc	6040 a	5552 ab	4950
5	3850 e	5641 d	5894 cd	6816 abc	6974 ab	7640 a	6136
6	4319 b	5213 ab	5375 ab	6158 a	5547 a	5335 ab	5325
7	5176 bc	5333 bc	6637 a	5719 abc	5749 abc	4914 c	5588
8	3097 a	3978 cd	4779 bc	5678 ab	5911 a	5799 ab	4874
Media	4376	5285	5837	5957	6161	6053	
Desvío estándar	855	877	879	869	857	845	

Letras distintas dentro de cada fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre dosis de N.

En los tres momentos de medición, el ISN se relacionó con la disponibilidad de N, siendo el ajuste del modelo del 67, 86 y 80 % para Z24, Z31 y Z39, respectivamente (datos no mostrados). El valor promedio fue de 0,95 (mínimo de 0,78 y máximo de 1,03) para Z24; de 0,91 (mínimo de 0,75 y máximo de 1,00) para Z31 y de 0,94 (mínimo de 0,79 y máximo de 1,04) para Z39. Estos rangos en los valores de ISN evidencian que la deficiencia de N se mantuvo durante el ciclo del cultivo. Por otra parte, los ajustes para el NDVIr fueron del 83, 75 y 75% para Z24, Z31 y Z39, respectivamente (datos no mostrados). El valor promedio fue de 0,96 (mínimo de 0,84 y máximo de 1,01) para Z24; de 0,95 (mínimo de 0,70 y máximo de 1,01) para Z31 y de 0,93 (mínimo de 0,71 y máximo de 1,03) para Z39.

Se ajustó un modelo cuadrático plateau (CP) entre las lecturas de los sensores y la dDOE para cada momento de muestreo. El coeficiente de determinación ajustado (R^2aj) y la raíz del cuadrado medio del error (RCME) para los diferentes sensores y estadíos de crecimiento se muestran en la Tabla 2. El uso de valores relativos, respecto a los absolutos, mejoró el ajuste entre la lectura del sensor y el dDOE, tal como fue informado por otros autores para maíz y trigo (Scharf *et al*., 2006; Hawkins *et al*., 2007; Reussi Calvo *et al*., 2015). Tanto en el estadío de Z31 como en Z39 el ajuste del modelo fue mayor para el ISN respecto al NDVIr (Tabla 2). Por lo tanto, para esos momentos de medición, el ISN fue más sensible en captar diferencias en la disponibilidad de N. Dicha información coincide con la reportada para trigo por Gandrup *et al*. (2004) y Reussi Calvo *et al*. (2015) quienes reportaron asociación significativa entre ISN y rendimiento en diferentes estadios de crecimiento. No obstante, el NDVIr mostro mejor ajuste para el estadío de Z24 (Tabla 2). Similares resultados han sido informados por otros autores en maíz (Raun *et al*., 2001; Girma *et al*., 2004). Lo cual se explicaría en parte debido a que las deficiencias de N primero afectan la tasa de expansión foliar y luego la concentración de clorofila (Novoa & Loomis, 1981).

En función de los resultados de la Tabla 2, en la Figura 1 se muestra el modelo CP entre el ISN o NDVIr y la dDOE para los diferentes momentos de medición. Similares relaciones han sido determinadas en trigo por Reussi Calvo *et al*. (2015) y en maíz por Barker y Sawyer (2010). Los parámetros de la regresión CP de los diferentes sensores se presentan en la Tabla 3. Las lecturas de ambos sensores cuando la dDOE = 0 variaron desde 0,93 hasta 0,98, mientras que las dosis de N necesarias para alcanzar el plateau fueron para el ISN de 51, 81 y 62 kg N ha^{-1} para Z24, Z31 y Z39, respectivamente y 101, 28, 35 kg N ha^{-1} para el NDVIr en Z24, Z31 y Z39, respectivamente. El nivel de cambio en el índice de canopeo por kg N ha^{-1} fue levemente mayor para el ISN respecto al NDVIr (Tabla 4), similar a lo informado en trigo por Reussi Calvo *et al* (2015) y en maíz por Barker y Sawyer (2010).

Tabla 2. Ajuste estadístico [coeficiente de determinación ajustado (R^2aj) y raíz cuadra media del error (RCME)] para el modelo de regresión cuadrática plateau entre el sensor de canopeo y el diferencial de dosis óptima económica de N (dDOE) para el clorofilómetro (SPAD) y el índice de vegetación de las diferencias normalizado (NDVI) en diferentes estadíos de crecimiento.

	Estadio de crecimiento					
	Z24		Z31		Z39	
Sensor de canopeo	R^2aj	RCME	R^2aj	RCME	R^2aj	RCME
SPAD	0,36	3,83	0,37	3,97	0,66	1,97
ISN	0,65	0,03	0,84	0,03	0,83	0,03
NDVI	0,13	0,08	0,57	0,05	0,37	0,07
NDVIr	0,81	0,02	0,74	0,03	0,78	0,04

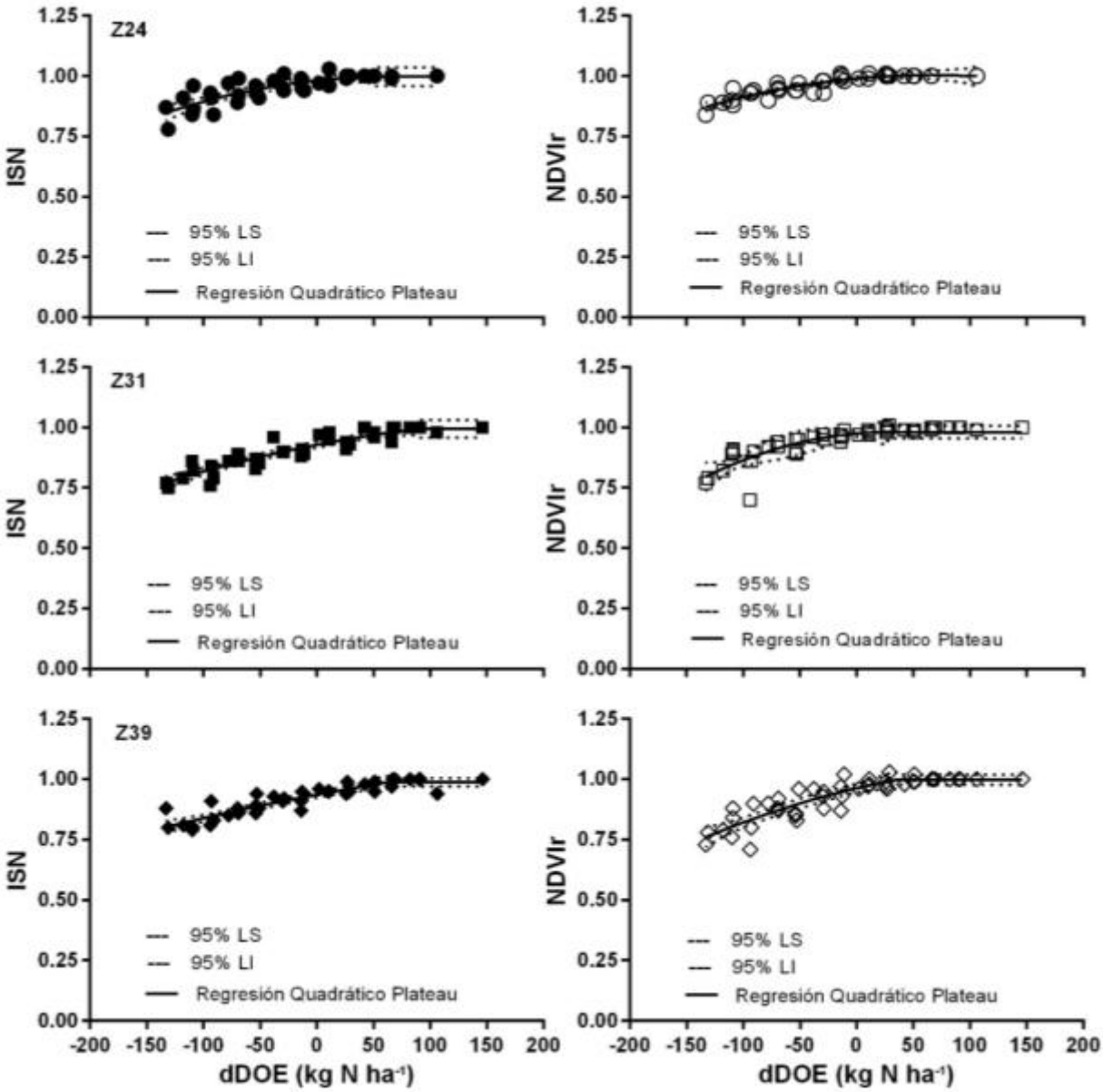


Figura 1. Índice de suficiencia de N (ISN) e índice de vegetación de las diferencias normalizado relativizado (NDVIr) en función de la diferencia de N disponible a dosis óptima económica (dDOE). Valores de dDOE negativos indican deficiencia y positivos excesos de N. Z22= dos macollos, Z24= cuatro macollos; Z31 = un nudo detectable y Z39 = hoja bandera según Zadoks *et al*. (1974). LS = límite superior y LI = límite inferior del intervalo de confianza.

Tabla 3. Modelos de regresión cuadrática plateau (CP) y sus parámetros para distintos índices relativos determinados mediante clorofilómetro (SPAD) e índice de vegetación de las diferencias normalizado (NDVI) en diferentes estadios de crecimiento.

Sensor de Canopeo	Modelo Cuadrático Plateau	n	Valor de sensor dDOE = 0	R^2aj	P
	SPAD-502				
ISN-Z24	$y = 0.98 + 0.0005x - 0.0000087x^2$	48	0.98	0.65	<0.001
ISN-Z31	$y = 0.93 + 0.0009x - 0.000002x^2$	48	0.93	0.84	<0.001
ISN-Z39	$y = 0.94 + 0.0009x - 0.0000009x^2$	48	0.94	0.83	<0.001
	NDVI				
NDVIr-Z24	$y = 0.98 + 0.0004x - 0.0000033x^2$	48	0.98	0.81	<0.001
NDVIr-Z31	$y = 0.97 + 0.0004x - 0.0000071x^2$	48	0.97	0.74	<0.001
NDVIr-Z39	$y = 0.96 + 0.0001x - 0.0000031x^2$	48	0.96	0.78	<0.001
	SPAD 502 y NDVI				
ISN ó NDVIr (Z31 y Z39)	$y = 0.95 + 0.0008x - 0.0000033x^2$	192	0.95	0.76	<0.001

Para finalizar, se obtuvo un solo modelo que relaciona el ISN/NDIVr con la dDOE para el periodo que va desde fin de macollaje hasta hoja bandera (Tabla 3 y Figura 2). La dDOE fue igual a 0 cuando el valor del índice fue de 0,95. Estos resultados indican que es posible estimar la dDOE de N con un 76 % de confianza mediante el empleo del medidor de clorofila SPAD o con el Green Seeker. Si bien el ajuste del modelo global es menor respecto al modelo ajustado para cada sensor (Tabla 3), la diferencia entre los mismos fue no significativa (p>0,05). Es válido mencionar que durante dicho período se produce la máxima acumulación de N por el cultivo y por tanto sería un adecuado momento para definir eventuales refertilizaciones en cebada.

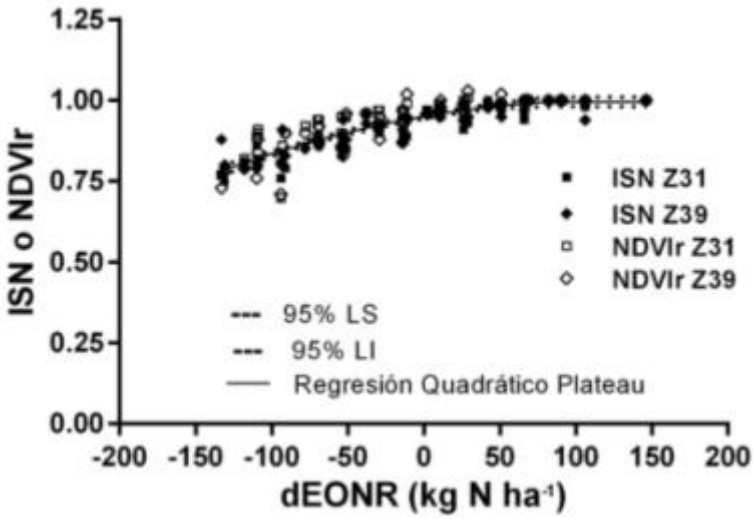


Figura 2. Índice de suficiencia de N (ISN) e índice de vegetación de las diferencias normalizado relativizado (NDVIr) en función de la diferencia de N disponible a dosis óptima económica (dDOE). LS = límite superior y LI = límite inferior del intervalo de confianza. Z31 = un nudo detectable y Z39 = hoja bandera según Zadoks *et al*. (1974).

CONCLUSIONES

Tanto el ISN como el NDVIr fueron metodologías de diagnóstico adecuadas para sensar el estatus nitrogenado en cebada, por lo tanto se asociaron con la dEONR. Se desarrolló un único modelo que permite predecir la dDOE mediante el empleo del SPAD ó Green Seeker durante el período de encañazón del cultivo, el cual es capaz de brindar directamente la dosis de N necesaria para alcanzar el máximo retorno económico. Esta información permitiría realizar planteos de fertilización más precisos y rentables que los empleados actualmente, logrando alcanzar altos rendimientos y EUN, y por tanto ayudaría a reducir el posible impacto ambiental de la práctica de fertilización. No obstante, esta información debe ser validada en otras estaciones de crecimiento del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con subsidios de FONCyT (Project PICT 2016-0304), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Project PNSUELO-1134024), Laboratorio de suelos FERTILAB y Relación Suelo-Cultivo de EEA INTA Balcarce.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, PA.; HR Sainz Rozas & HE Echeverría. 2009. Nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense. Cien. suelo 27:115-126.
- Barker, DW & JE Sawyer. 2010. Using Active Canopy Sensors to Quantify Corn Nitrogen Stress and Nitrogen Application Rate. Agron. J. 102:964-971.
- Blackmer, TM & JS Schepers. 1995. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. J. Prod. Agric. 8:56–60.
- Clay, DE; T Prasad Kharel; C Reese; D Beck; C Gregg Carlson; SA Clay, & G. Reicks. 2012. Winter Wheat Crop Reflectance and Nitrogen Sufficiency Index Values are Influenced by Nitrogen and Water Stress. Agron. J. 104(6): 1612-1617.
- Echeverría HE, N San Martin & R Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. Cien. Suelo 18:9-16.
- Gandrup, ME.; FO García; KP Fabrizzi; & H.E. Echeverría. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA), 33(3):105-121.
- Girma, K; KL Martin; RH Anderson; DB Arnall; KD Brixey; MA Casillas; B Chung; BC Dobey; SK Kamenidoua; SK Kariukia; EE Katsaliroua; JC Morrisa; JQ Mossa; CT Rohlaa; BJ Sudburya; BS Tubanaa & WR Rauna. 2005. Mid-season prediction of what-grain yield potential using plant, soil, and sensor measurements. J. Plant Nutr .29:873–897.
- Gutiérrez, M; E Cadet; W Rodríguez & J Araya. 2011. El Greenseeker y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. Agronomía Mesoamericana 22(2): 397-403.
- Gonzalez Montaner, JH. 2009. Decisiones empresariales para un año sin red. Proc Jornada de Actualización Técnica Trigo, Cebada y Colza 2009.; Azul Buenos Aires, Argentina pp19-20.
- Hawkins, JA; JE Sawyer; DW Barker; & JP Lundvall. 2007. Using relative chlorophyll meter values to determine nitrogen application rates for corn. Agron. J. 99:1034–1040.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page, A.L. et al. eds. Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 643-698.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, ed. D. L. Sparks, Madison. pp 961–1010.
- Novoa, R, & RS Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. Plant Soil 58:177–204.
- Orcellet, JM.; NI Reussi Calvo; HE Echeverría; HR Sainz Rozas; N Diovisalvi & A Berardo. 2015. Eficiencia de uso de nitrógeno en cebada en el sudeste bonaerense : efecto de aplicaciones divididas. Ciencia Suelo 33 (1): 97-105.
- Prystupa, P; G Ferraris; R Bergh; T Loewy; L Ventimiglia & FH Gutierrez Boem. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera cv. Scarlett: IV. Modelo de respuesta del contenido proteico a la Fertilización Nitrogenada. En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. (CD Rom).
- Reussi Calvo, NI & HE Echeverría. 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. Cien. Suelo. 24 (2):115-122.
- Reussi Calvo, NI; HR Sainz Rozas; HE Echeverria; N Diovisalvi. 2015. Using canopy indices to quantify the economic optimum nitrogen rate in spring wheat. Agronomy Journal, 107 (2): 459–465.
- Raun, WR, GV Johnson, ML Stone, JB Solie, EV Lukina, WE Thomason, & JS Schepers. 2001. In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. Agron. J. 93:131– 138.
- Scharf, PC; SM Brouder & RG Hoeft .2006. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the North- Central USA. Agron. J. 98:655–665.
- Samborski, SM.; D Gozdowski; OS Walsh,; D Lamb; M Stępień; ES Gacek,; T Drzazga. 2015. Winter wheat genotype effect on canopy reflectance: implications for using NDVI for in-season nitrogen topdressing recommendations. Agron. J. 107(6), 2097-2106.
- Velasco, JL; H Sainz Rozas; H Echeverría & P Barbieri. 2012. Optimizing fertilizer nitrogen use efficiency by intensively managed spring wheat in humid regions: Effect of split application. Can. J. Plant Sci. 92:1-10.
- Ventimiglia, LA & L Torrens Baudrix.2015. Trigo. Curva de respuesta a la fertilización nitrogenada en dos ambientes [Loma y Media loma], en un suelo hapludol de 9 de Julio.
- Qualm, A; S Osborne & R Gelderman.2010. Utilizing Existing Sensor Technology to Predict Spring Wheat Grain Nitrogen Concentration. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 41(17): 2086-2099
- Waskom, RM. 1996. A review of use of chlorophyll meters to assess crop N status in the Great Plains. Proceedings Great Plains Soil Fertility Conference. J. Havlin (ed.). Kansas State University, Manhattan, KS, EEUU. pp. 36 - 43.
- Zadoks, JC; TT Chang & CF Zonzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 14:415-421.

C3P67. ¿ES SIMILAR LA RESPUESTA DE TRIGO Y CEBADA AL APORTE DE NITRÓGENO POR MINERALIZACIÓN?

Reussi Calvo, Nahuel I.[1,2,3]; Queirolo, Ignacio.[1]; Sainz Rozas, Hernán.[1,2]; Prystupa, Pablo.[4]; Diovisalvi, Natalia.[3]; Divito, Guillermo A.[5] y Echeverría, Hernán.[1].

[1]Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Ruta Nac. 226 km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. [2]CONICET. [3]Fertilab, Moreno 4524, (7600) Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. [4]Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. [5]Asesor privado, AAPRESID.
nreussicalvo@laboratoriofertilab.com.ar

RESUMEN

Los métodos tradicionales de diagnóstico de la disponiblilidad de nitrógeno (N) en trigo y cebada no contemplan en forma directa el aporte por mineralización. La similitud de ciclo y características fisiológicas entre dichos cultivos permite suponer que el aporte del nutriente desde el suelo podría ser de igual magnitud. El N mineralizado en anaerobiosis (Nan) podría contribuir a evaluar dicha fuente de N. El objetivo fue: a) evaluar si el Nan contribuye a mejorar la estimación del rendimiento del testigo (RT) y la respuesta en grano (RTA) a N, y b) desarrollar modelos de diagnóstico que integren ambos cereales de invierno. Se realizaron un total de 52 ensayos de fertilización nitrogenada en el sudeste bonaerense. A la siembra, el contenido de materia orgánica, Nan y la disponibilidad de N-nitrato varió entre 3,8 y 6,9 %; 40 y 113 mg kg^{-1} y 25,8 y 104 kg ha^{-1}, respectivamente. El RT y del tratamiento con N fue en promedio de 5087 y 6516 kg ha^{-1} para trigo y de 4422 y 6859 kg ha^{-1} para cebada, respectivamente. Para ambos cultivos (efecto cultivo: P > 0,05), la disponibilidad inicial de N-nitrato explicó el 42% de la variación del RT, siendo el umbral crítico (UC) de 110 kg N ha^{-1}. Por su parte, el Nan explicó el 41% de la variación en RT, siendo el UC de 92,5 mg kg^{-1}. Cuando se integraron ambas variables, el ajuste del modelo se incrementó al 58%. Además, se ajustó un único modelo para trigo y cebada que permite predecir la RTA en fución del N-nitrato y Nan (R^2 = 46%). En síntesis, la determinación del Nan junto con el contenido de N-nitrato inicial deberían ser considerados al momento de evaluar las necesidades de N. La incorporación de otras variables edafo-climaticas podrían disminuir la incertidumbre de dichos modelos.

Palabras clave: análisis de suelo, nitrógeno anaeróbico, indicador de salud edáfica.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita el rendimiento y la calidad industrial del grano de trigo (*Triticum aestivum L.*) y cebada (*Hordeum vulgare L.*). Es conocido que ambos cereales acumulan hasta antesis entre el 75-90% del total de N en planta aunque en condiciones de adecuada disponibilidad de agua y de N, la absorción postantesis puede ser de importancia (Perez *et al*., 1983; Heitholt *et al*., 1990). Dada la similitud del ciclo y de sus caracteristicas morfofisiologicas se podría inferir que la dinámica del N sería similar entre cultivos. En línea con lo mencionado, Cassani *et al*. (2009 y 2012) reportaron que no existieron diferencias en la captura ó eficiencia de uso de N entre trigo y cebada bajo condiciones de leve déficit hídrico ó de N. Otros trabajos han determinado similar efecto del agregado de N sobre el macollaje de ambos cultivos (Alzueta *et al*., 2012). Además, para el sudeste bonaerense (SEB), se han reportado umbrales críticos (UC) de disponibilidad de N similares para trigo (Barbieri *et al.*, 2012) y cebada (Orcellet *et al*., 2015).

El diagnóstico de la disponibilidad de N en cereales de invierno se basa principalmente en la determinación del contenido de nitrato en el suelo (0-60 cm) al momento de la siembra, donde la dosis de fertilizante se define en función de la diferencia entre el UC y la disponibilidad de N-nitrato en presiembra (Barbieri *et al.*, 2009; Ferraris *et al*., 2014). No obstante, estos modelos simplificados no contemplan de forma directa el aporte de N por mineralización, que representa una de las principales fuentes para los cultivos (Echeverría *et al*., 1994; Rice y Havlin, 1994). Esto, sumado a la baja y poco variable concentración de N-nitrato en el suelo a la siembra de los cultivos, afecta la precisión de los modelos empleados para el diagnóstico. Por lo tanto, el N disponible en general solo explica entre el 38 y 54% de la variación en rendimiento del trigo o cebada (Prystupa *et al*., 2008; Barbieri *et al*., 2009; Reussi Calvo *et al*., 2013). Un método alterantivo sería cuantificar el rendimiento del cultivo sin N (RT), como medida de aporte de N del suelo (N inicial + mineralizable), y luego en función del rendimiento objetivo de cada ambiente/lote definir la dosis considerando un requerimiento de 30 kg N Mg^{-1} (Barbieri *et al*., 2012) y una eficiencia de recuperación de N en planta entre 50-60 % (Velasco *et al*., 2012). Estos valores son considerados orientativos ya que los mismos varían en función del nivel de proteína objetivo (Prystupa *et al*., 2008) y las características edafo-climáticas (Barbieri *et al*., 2012).

Lo mencionado plantea la necesidad de contar con herramientas complementarias que permitan cuantificar el aporte de N por mineralización durante el ciclo del cultivo, lo que permitiría mejorar la estimación del N disponible, la eficiencia de uso del N y minimizar el impacto ambiental de la fertilización. Para el SEB, Echeverría *et al*. (2000) proponen el empleo del N-amonio producido en incubación anaeróbica (Nan) de muestras de suelo (0-20 cm), dado que se correlaciona estrechamente con el N potencialmente mineralizable. Para el cultivo de maíz Orcellet *et al*. (2017) y para trigo Reussi Calvo *et al*. (2013) han determinado que el empleo del Nan permitió mejorar la estimación del RT para ambos cultivos. Sin embargo, no hay registros de trabajos que cuantifiquen si el aporte de la mineralización es similar para cebada respecto a trigo y si es posible realizar un modelo de diagnóstico que integre ambos cultivos. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue: a) evaluar si el Nan contribuye a mejorar la estimación del RT y la RTA a N en los cultivos de trigo y cebada, y b) desarrollar modelos de diagnóstico que integren ambos cereales de invierno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 28 ensayos de trigo y 24 de cebada bajo SD, durante los años 2006, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 y 2016 en lotes con diferente historia agrícola del SEB. Los ambientes seleccionados están ubicados en las localidades de Maipú, General Madariaga, Balcarce, Miramar, Otamendi, Pieres y Lobería. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y los tratamientos evaluados fueron dosis de N, la cual varió desde 40 hasta 200 kg N ha^{-1} según el sitio experimental. Para que el fósforo (P) y el azufre (S) no sean limitantes se aplicó a la siembra una dosis de 25 y 20 kg ha^{-1} de P y S, respectivamente. El fertilizante nitrogenado se aplicó al voleo en dos o tres hojas del trigo o cebada bajo la forma de urea (46-0-0). El tamaño de la unidad experimental fue de 30 m^2 (3 m de ancho por 10 m de largo). Las malezas, insectos y enfermedades fueron controlados mediante el uso de plaguicidas.

A la siembra del cultivo se realizaron muestreos de suelo en superficie (0-20 cm) para determinar el contenido de MO, pH y Nan, y en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm) para N-nitrato. La concentración de N-nitrato se extrajo con KCl y se determinó por colorimetría (Keeney & Nelson, 1982). Para poder estimar la disponibilidad de N (kg ha^{-1}) en los primeros 60cm de profundidad se empleo una densidad promedio de 1,2 Mg m^{-3} (Fabrizzi *et al*., 2005). La MO se determinó por el método Walkley & Black (Nelson & Sommers, 1996) y el pH en relación 1:2,5 (suelo-agua). Además, el Nan se obtuvo por incubación de la muestra de suelo en anaerobiosis durante 7 días a 40°C (Echeverría *et al*., 2000).

A cosecha se determinó el rendimiento del cultivo mediante el corte de plantas de 9 surcos al azar de 1 m de longitud (1,8 m^2) y las espigas fueron desgranadas en una trilladora estacionaria. El rendimiento se expresó al 14%. Además, para cada sitio experimental se ajusto un modelo cuadrático para determinar la dosis de N que maximizó el rendimiento en grano (dosis = 1N). La RTA se determinó como la diferencia en rendimiento entre el tratamiento 1N y testigo (0N). La misma se expresó como incremento en porcentaje sobre el rendimiento del tratamiento 0N.

Se realizó análisis de regresión empleando el procedimiento PROC REG (SAS Institute, 1988). Se empleo el método de selección stepwise para determinar la mejor combinación de variables que expliquen el RT y RTA. Además, se realizó test de paralelismo y coincidencia para evaluar el efecto de cultivo. Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de significancia de 5 % (SAS Institute, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones registradas durante el ciclo de crecimiento de los cultivos variaron desde 295 mm hasta 508 mm según el sitio y año. No obstante, en el 70% de los casos el valor medio fue superior al requerimiento hídrico (400 mm). Este nivel de precipitaciones sumado al adecuado contenido de humedad a la siembra de los cultivos indica que la disponibilidad hídrica no habría limitado mayormente el rendimiento del cultivos para la mayoría de los sitios.

En la Tabla 1 se presentan los valores de MO, Nan y N-nitrato a la siembra de los cultivos siendo el rango para ambos cultivos desde 3,8 a 6,9 %; 40 a 113 mg kg^{-1} y 25,8 a 104 kg ha^{-1}, respectivamente. Estas variaciones pueden atribuirse, principalmente, al efecto de las diferentes historias agrícolas y de manejo de los suelos. En un relevamiento de suelos, Sainz Rozas *et al*. (2011) determinaron valores medios de MO en el estrato superficial de 55 y 88 g kg^{-1} para condiciones agrícolas y prístinas, respectivamente. Además, varios trabajos han determinado cambios en los contenidos totales o de alguna fracción del carbono del suelo por efecto del manejo (Fabrizzi *et al*., 2003; Eiza *et al*., 2005). Se destaca que los suelos empleados en este estudio abarcan un amplio rango de valores de Nan, coinciente con el rango

reportado por Reussi Calvo *et al*., (2014) y, por ende, representan situaciones con diferente potencial de mineralización de N.

Tabla 1. Variables de suelo y cultivo para los diferentes sitios experimentales. Valor promedio ± desvio estándar. MO = materia orgánica; 0N = testigo y 1N = dosis de N que permitió el máximo rendimiento.

Cultivo	n	MO	Nan	N-nitrato	Rendimieto 0N	Rendimiento 1N	Respuesta a N
		%	mg kg^{-1}	----------kg ha^{-1}----------			
Trigo	28	5,6 ± 0,7	64,5 ± 13,5	64,1 ± 16,5	5087,1 ± 1134,4	6516,7 ± 1333,2	1420,6 ± 728,6
Cebada	24	5,4 ± 0,9	66,5 ± 20,0	52,6 ± 20,4	4422,7 ± 978,4	6859,3 ± 857,5	2436,6 ± 1198,4

Se determinó débil asociación entre la concentración de Nan y la disponibilidad de N a la siembra de los cultivos (Figura 1). Esto se explicaría en parte ya que el N-nitrato no solo depende del tamaño del pool mineralizable sino también del balance entre las entradas y sálidas de N del sistema (Genovese *et al*., 2009; Divito *et al*., 2011). Los resultados del presente estudio coinciden con los informados en maíz por Orcellet *et al*. (2017) y trigo por Reussi Calvo *et al*. (2013), e indicarían que es factible el empleo conjunto del N-nitrato y Nan para el diagnóstico de N en cereales de invierno.

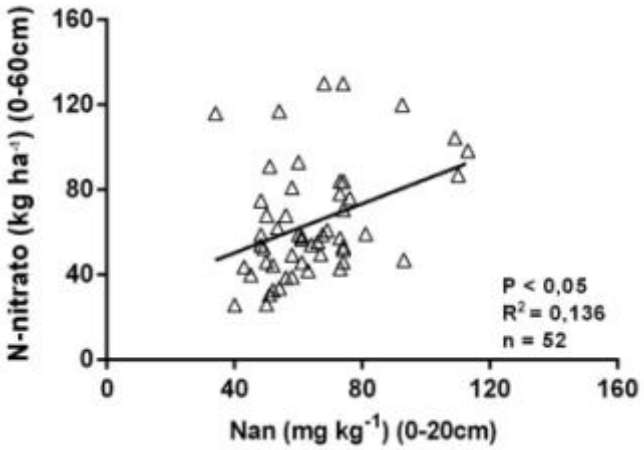


Figura 1. Relación entre la disponibilidad inicial de nitrógeno y el nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (Nan) en presiembra de cereales de invierno.

El valor promedio de rendimiento para el tratamiento 0N y 1N como así también la respuesta a la fertilización para ambos cereales se presenta en la Tabla 1. Para el 0N, el rango de rendimiento varió desde 3198 hasta 6942 kg ha^{-1} en trigo y desde 2900 hasta 5986 kg ha^{-1} para cebada. El desarrollo de modelos que permitan estimar dicho RT serían de gran utilidad para la definición de la dosis de N, dado que estarían integrando la oferta natural de N del suelo (Orcellet *et al*., 2017). Para el tratamiento 1N, el rango de redimiento varió desde 4190 hasta 9330 kg ha^{-1} en trigo y desde 4947 hasta 8620 kg ha^{-1} en cebada. Estos resultados evidencian el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la productividad de los cultivos en el SEB y la diferente potencialidad de los años bajo estudio. Por último, la respuesta promedio al agregado de N fueron de 1240 y 2436 kg ha^{-1} para trigo y cebada, respectivamente. Estas diferencias entre sitios pueden explicarse en parte por la diferente disponibilidad hídrica, de N, genotipo y tipo de suelo (Calviño & Sadras, 2002; Sadras, 2004).

Se ajustó un único modelo para ambos cultivos (efecto de cultivo P = 0,97), en el cual el contenido de N-nitrato explicó el 42% de la variabilidad en el RT, lo que pone de manifiesto ciertas limitaciones del empleo de esta única variable para el diagnóstico de N en cereales de invierno (Figura 2A). Además, se pudo definir un UC de disponibilidad de N a la siembra de 110 kg ha^{-1}. Este bajo UC se explicaría en parte por la mayor eficiencia de uso de N del tratamiento 0N y por ende menor requerimiento por tonelada de grano (Prystupa *et al*., 2008; Barbieri *et al*., 2009; Reussi Calvo *et al*., 2013). En la actualidad, la adopción generalizada de la SD y el incremento del cultivo de soja como antecesor de trigo y cebada generan situaciones con una baja y poco variable disponibilidad de N a la siembra, lo cual ayudaría a explicar los resultados del presente trabajo. Por otra parte, en la Figura 2B se presenta la relación entre el RT y la concentración de Nan en presiembra. Se ajustó un único modelo (efecto de cultivo P = 0.07) en el cual el Nan explico el 42% de la variación del RT, siendo el UC de 92,5 mg kg^{-1}. Sin embargo, dicha relación puede estar forzada en parte por los 3 sitios de cebada con alto Nan, por lo tanto, es necesario su validación futura. Trabajos previos en trigo (Reussi Calvo *et al*.,

2013) y maíz (Orcellet *et al*., 2017) reportaron adecuada relación entre dichas variables, no obtante, este es el primer registro de UC para Nan en cereales de invierno.

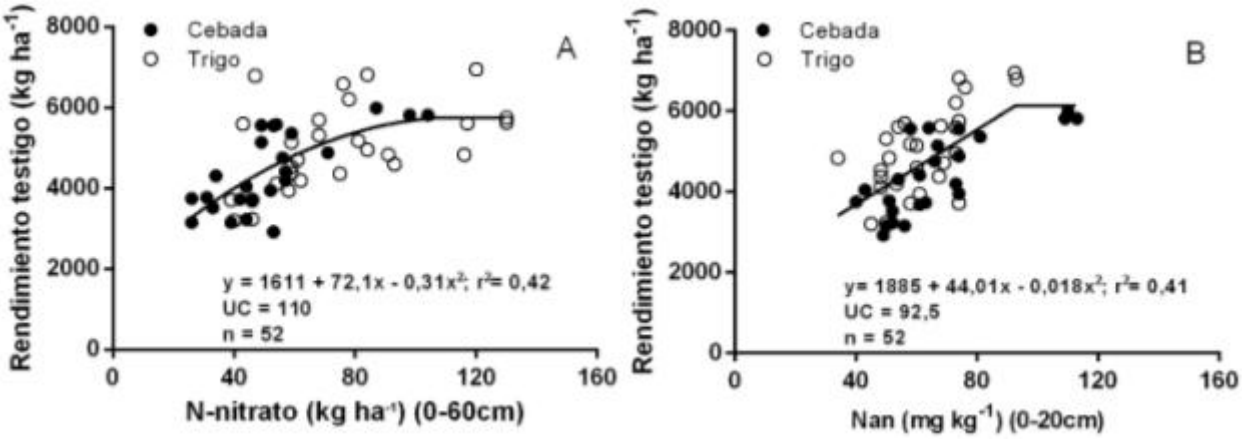


Figura 2. Rendimiento del testigo en función de A) la disponibilidad inicial de nitrógeno y B) el nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (Nan) en presiembra de cereales de invierno. UC = umbral crítico.

Cuando se integraron la disponibilidad N-nitrato y el Nan la capacidad predictiva del RT mejoró (Figura 3). Este modelo explicó el 58% de la variación en el RT, siendo la contribución del Nan significativa ($p<0,05$) y del 18%. No obstante, es válido mencionar que existen variaciones en rendimiento entre sitios por efecto de tipo de suelo y antecesor (Echeverría *et al*., 1992), y entre años por las precipitaciones (Calviño y Sadras, 2002). Por lo tanto, estos resultados indican que el contenido de N-nitrato inicial junto con la estimación del aporte por mineralización (Nan), deberían ser considerados en forma conjunta con el objetivo de cuantificar con mayor exactitud la disponibilidad de N para el cultivo. A modo de ejemplo, considerando la disponibilidad de N-nitrato y Nan promedio de los 52 sitios (Tabla 1) es posible estimar con el modelo de la Figura 3 un RT de 4646 kg ha^{-1}. Es válido mencionar que el RT promedio de los 52 sitios fue de 4740 kg ha^{-1} y, por ende, el modelo subestimó en solo un 2% dicho rendimiento.

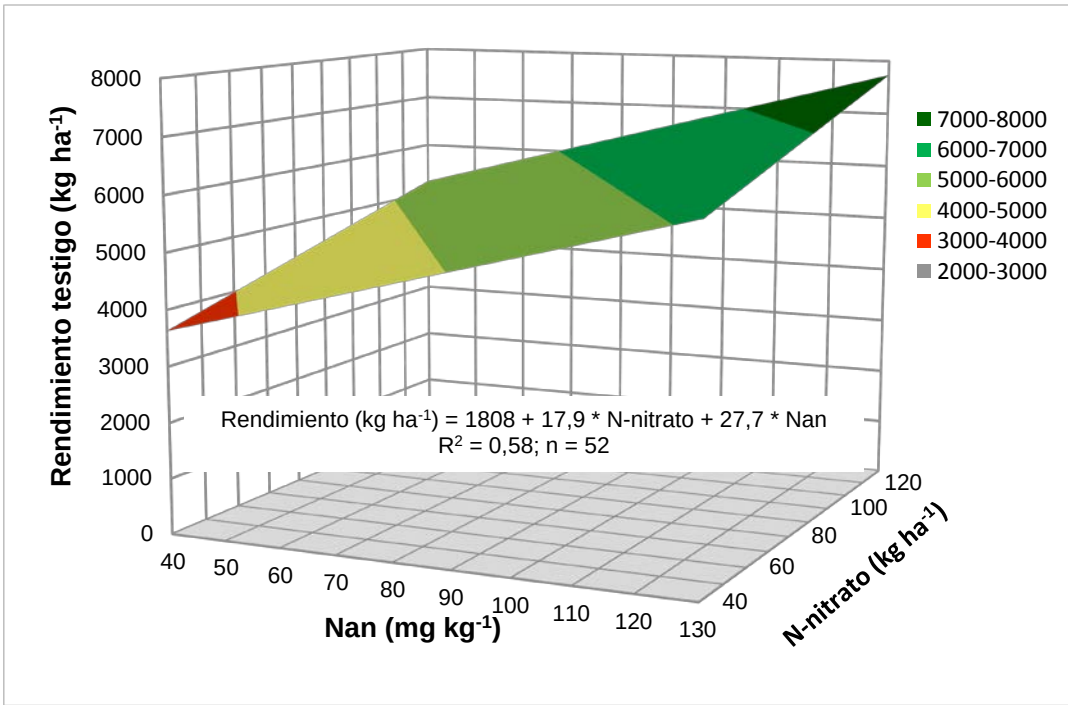


Figura 3. Modelo de regresión múltiple entre el rendimiento del cultivo trigo/cebada sin fertilizante y la disponibilidad inicial de nitrógeno y el nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (Nan) en presiembra.

Para finalizar, se obtuvo un modelo que permitió estimar la RTA en función del contenido de Nan y disponibilidad de N en presiembra del cultivo (Figura 4), siendo el ajuste del 46%. El valor del coeficiente de Nan y N-nitrato en dicho modelo fue negativo lo cual indica una menor respuesta a N en situaciones con mayor disponibilidad de dichos indicadores (Sainz Rozas *et al*., 2008; Reussi Calvo *et al*., 2013; Orcellet *et al*., 2017). Este tipo de modelo podría disminuir la incertidumbre si se incorporan otras variables como la temperatura media y precipitaciones, información que será considerada en futuros trabajos. En síntesis, con la información del presente trabajo es posible estimar con precisión la dosis de N para trigo y cebada considerando los siguientes pasos: 1) estimación del RT en función del Nan y N-nitrato en presiembra (modelo Figura 3); 2) estimación de la RTA; 3) cálculo de la respuesta en kg ha^{-1} como producto del RT * RTA y finalmente permitiría definir la dosis de N considerando un requerimiento de 30 kg N Mg^{-1} (Barbieri *et al*., 2012) y una eficiencia de recuperación de N en planta entre 50-60 % (Velasco *et al*., 2012). Es valido mencionar que esta dosis permitiría maximizar el rendimiento aunque no necesariamente la calidad del grano, para lo cual es fundamental emplear herramientas de monitoreo de N durante el ciclo del cultivo y/o modificar el requerimiento de N por tonelada de grano.

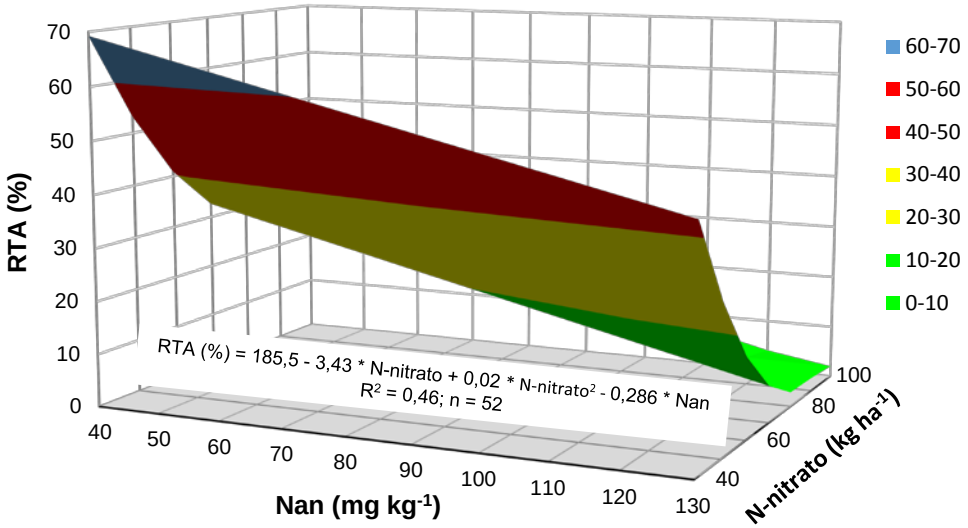


Figura 4. Modelo de regresión múltible entre la respuesta en rendimiento (RTA) de trigo/cebada y la disponibilidad inicial de nitrógeno y el nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (Nan) en presiembra.

CONCLUSIONES

Se ajusto un único modelo que integra ambos cereales de invierno y que permite estimar el rendimiento del testigo y la respuesta al agregado de N. La inclusión de un estimador de la mineralización como el Nan mejoró la capacidad predictiva de N-nitrato. En síntesis, el contenido de N-nitrato junto con la determinación de Nan deberían ser considerados al momento de realizar el diagnóstico de las necesidades de N para ambos cultivos. No obstante, la incorporación de otras variables edafo-climaticas podrían disminuir la incertidumbre de dichos modelos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con subsidios de FONCyT (Project PICT 2016-0304), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Project PNSUELO-1134024), laboratorio de suelos FERTILAB y Relación Suelo-Cultivo de EEA INTA Balcarce.

BIBLIOGRAFÍA

- Alzueta, I; LG Abeledoa; CM Mignone & DJ Miralles. 2012. Differences between wheat and barley in leaf and tillering coordination under contrasting nitrogen and sulfur conditions. Europ. J. Agronomy 41: 92-102.
- Barbieri, PA; HE Echeverría & HR Sainz Rozas. 2009. Dosis óptima económica de nitrógeno en trigo según momento de fertilización en el sudeste bonaerense. Ci. Suelo 27: 115-125.
- Barbieri, PA; HE Echeverría & HR Sainz Rozas. 2012. Alternatives for Nitrogen Diagnosis for Wheat with Different Yield Potentials in the Humid Pampas of Argentina. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 43: 1512-1522.
- Calviño, P & V Sadras. 2002. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south-eastern Pampas. Field Crops Res. 74:1-11.

- Cossani, CM; GA Slafer & R Savin. 2009. Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. Field Crops Res. 112: 205-213.
- Cossani, CM; GA Slafer & R Savin. 2012. Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia. Field Crops Res. 128: 109-118.
- Divito, GA; HR Sainz Rozas; HE Echeverría; GA Studdert & N Wyngaard. 2011. Long term nitrogen fertilization: Soil property changes in an Argentinean Pampas soil under no tillage. Soil Till. Res. 114: 117-126.
- Echeverría, HE, CA Navarro & FH Andrade.1992. Nitrogen nutrition of wheat following different crops. J. of Agric. Sci. Cambridge. 118: 157-163.
- Echeverría, H; R Bergonzi & J Ferrari. 1994. Un modelo para estimar la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Ci. Suelo. 12: 56-62.
- Echeverría, HE; N San Martin & R Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. Ci. Suelo. 18: 9-16.
- Eiza, MJ; N Fioriti; GA Studdert & HE Echeverría. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. Ci. Suelo. 23: 59-67.
- Ferraris, GN; F Mousegne; M Barraco; J Cavo; L Couretot; R Falconi; O Ferraris; E Lemos; M López de Sabando; G Magnone; A Martín; P Melill; A Paganini; G Pérez; R Pontoni; J Zanettini; C Scianca; R Solá; MG Tellería & L Ventimiglia. 2014. Rendimiento y respuesta comparada a fósforo y nitrógeno en trigo y cebada cervecera (2009, 2010, 2011, 2012 y 2013). En: XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca.
- Fabrizzi, KP; A Morón & FO García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 1831-1841.
- Fabrizzi, KP; FO García; JL Costa & LI Picone. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. Soil and Tillage Res. 81: 57-69.
- Genovese, F; HE Echeverría; GA Studdert & H Sainz Rozas. 2009. Nitrógeno de amino-azúcares en suelos: calibración y relación con el nitrógeno incubado anaeróbico. Ci. Suelo. 27: 225-236.
- Heitholt, JJ; LI Croy; NO Maness & HT Nguyen. 1990. Nitrogen partitioning in genotypes of winter wheat differing in grain N concentration. Field Crops Res. 23: 133-144.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page, A.L. *et al*. eds. Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 643-698.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, ed. D. L. Sparks, 961-1010. Madison, WI: ASA-SSSA.
- Orcellet, JM; NI Reussi Calvo; HE Echeverría & HR Sainz Rozas. 2015. Eficiencia de uso de nitrógeno en cebada en el sudeste bonaerense: efecto de aplicaciones divididas. Ci. Suelo. 33: 97-105.
- Orcellet, J; NI Reussi Calvo; HR Sainz Rozas; N Wyngaard & HE Echeverría. 2017. Anaerobically incubated nitrogen improved nitrogen diagnosis in corn. Agro J. 109: 291-298.
- Prystupa, P; G Ferraris; T Loewy; R Bergh; L Ventimiglia; FH Gutierrez Boem & L Coureot. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera cv. Scarlett: IV. Estimación de la respuesta del contenido proteico a la fertilización nitrogenada. En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. En CD.
- Reussi Calvo, NI; HR Sainz Rozas; HE Echeverría & A Berardo. 2013. Contribution of anaerobically incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. Agron J. 105: 321-328.
- Reussi Calvo, NI; GA Studdert; MB Calandroni; FN Cabria; NV Diovisalvi & A Berardo. 2014. Nitrógeno incubado en anaerobiosis y carbono orgánico en suelos agrícolas de buenos aires. Ci. Suelo 32: 189-196.
- Rice, CW & JL Havlin. 1994. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilizer nitrogen recommendations. In: Havlin, JL & JS Jacobsen (eds). Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations. SSSA Sp. Pub. 40. Soil Sci. Soc. Am., Madison Wisconsin, EEUU. pp. 1-13.
- Sadras, VO. 2004. Yield and water-use efficiency of water- and nitrogen-stressed wheat crops increase with degree of co-limitation. Europ. J. Agronomy 21: 455-464.
- Sainz Rozas, H; P Calviño; H Echeverría; M Redolatti & P Barbieri. 2008. Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to reliability of planting or presidedress soil nitrogen test in maize. Agron. J. 100:1020-1025.
- Sainz Rozas, H; HE Echeverria & H Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y ph en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. Ci. Suelo. 29: 29-37.
- SAS INSTITUTE INC.1988. SAS/STAT Users Guide. Version 6.03 Edition. Cary, NC.
- Velasco, JL; H Sainz Rozas; H Echeverría & P Barbieri. 2012. Optimizing fertilizer nitrogen use efficiency by intensively managed spring wheat in humid regions: Effect of split application. Can. J. Plant Science. 92: 1-10.

C3P68. ÍNDICE DE CALIDAD QUÍMICA DE CUATRO GRANDES GRUPOS DE SUELOS DEL DEPARTAMENTO MERCEDES, CORRIENTES

Rey Montoya Tania Soledad[1], Matteio Juan Pablo[2], Sanabria María Cristina[2]; Grancic Carla Eliana [3]; Garay Jorge Marcelo[3], Ybarra Diego Daniel[1] y Kurtz Ditmar Bernardo [2].

[1]Becaria de Formación INTA Corrientes. Correo electrónico: montoya.tania@inta.gob.ar.
[2] Investigadora INTA Corrientes
[3] Profesional externo INTA Corrientes
[1 ,2 y 3] Ruta 12, km 1008. 3416. El Sombrero (Corrientes, Argentina)

RESUMEN

Frente a la necesidad de producir más alimentos y productos derivados de la producción primaria y con vistas al objetivo planteado por el gobierno de Corrientes de "agriculturizar" la provincia, es que, el grupo de Recursos Naturales de INTA Corrientes a pedido del Ministerio de Producción ha realizado la cartografía del departamento Mercedes a escala 1:50000. Mercedes tiene una fuerte tradición de ganadería y escasa en agricultura, básicamente arroz. La sustentabilidad de los sistemas puede ser evaluada a través del estudio de la calidad del suelo. Esto requiere la medición de indicadores para evaluar las consecuencias de diferentes usos de los suelos. El objetivo de este trabajo fue calcular y comparar los índices de calidad de cuatro Grandes grupos de suelos, sin uso agrícola. Mercedes posee 22 Grandes Grupos de los cuales, los Argiudoles ocupan el 21,3%, los Epiacualfes 15,6%, los Argiacuoles 15,0% y los Albacualfes un 13,8% del total. Las muestras de suelo se analizaron en el Laboratorio de Suelos Aguas y Vegetales de INTA Corrientes. Para el cálculo del índice de calidad, se usaron las variables químicas del primer horizonte. Para seleccionar un Conjunto Mínimo de Indicadores (CMI) se realizó análisis de varianza univariado y prueba de comparaciones múltiples de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC), donde solamente aquellas variables con valor de $p<0,05$ y CV <40 fueron retenidas para el análisis multivariado posterior de componentes principales (CP). Luego se seleccionaron las CP 1 y 2. La primera explicó el 79% y la segunda el 18%. Dentro de CP1 quedaron seleccionadas materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), nitrógeno total (NT), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y saturación de bases (V) y de la CP2, la acidez intercambiable (H^+). Como en la CP1 más de una variable fue seleccionada, se utilizó el coeficiente de correlación para determinar si las variables fueron o no redundantes y entonces, eliminar una de ellas del CMI. Para ello se realizó el análisis de correlación de Pearson. Para el cálculo del índice, finalmente quedaron MO, CIC y V. Para normalizar los valores de los indicadores se utilizaron los modelos lineales (donde cada variable es normalizada usando el criterio de cuanto mayor mejor) hallándose los factores de ponderación (fp) para cada variable. De esta manera el índice de calidad química de suelo para cada Gran Grupo analizado quedó conformado como: índice de calidad= (MO *(fp)+CIC*(fp)+V*(fp))+(H^+*(fp)). A nivel de Gran Grupo los valores calculados con los índices anteriores dieron un resultado de 22,90; 22,06; 15,52 y 13,96 respectivamente los que quedan clasificados como de muy alta calidad química Argiudol y Argiacuol, de alta calidad el Epiacualf y de moderada calidad el Albacualf. Vale aclarar que éste índice de calidad de suelo fue determinado solamente con datos analíticos - químicos, sin tener en cuenta otras variables o limitantes del suelo, como rocosidad y riesgo de erosión. Los factores de ponderación obtenidos podrían utilizarse como línea de base para futuros monitoreos de sustentabilidad de sistemas productivos recurriendo a los resultados de los análisis químicos de suelos correspondientes para cada situación de manejo.

Palabras clave: Argiudol, Argiacuol, Epiacualf

C3P69. APORTE NUTRICIONAL DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE GRANOS DE TUCUMAN

Robledo Gonzalo E.[1], Morandini Miguel[1], Sanzano G. Agustín[1]; Rojas Quinteros Hugo C.[2], Devani Mario R.[3], Gamboa Daniel[3] y Daniel Facundo[3].

[1]Ings. Agrs., Sección Suelos y Nutrición Vegetal; [2]Lic. en Qca., Sección Suelos y Nutrición Vegetal; [3]Ings Agrs.; Sección Granos. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. William Cross 3150. Las Talitas. Tucumán, Argentina. gerobledo@eeaoc.org.ar

RESUMEN

En los últimos años se ha desarrollado el concepto de intensificación agrícola con la introducción de cultivos de cobertura entre dos cultivos de verano. Un cultivo de cobertura (CC) se define como una cubierta vegetal viva que cubre el suelo de manera temporal. No tiene un fin comercial, pero agrega valor al siguiente cultivo, que es el de principal interés económico. La finalidad de éstos es contribuir en el aporte de materia orgánica y nutrientes, disminuir la erosión hídrica y eólica, reducir la población de malezas, y en lo posible, conservar la humedad del suelo. Con el objetivo de evaluar el aporte de materia seca y nutrientes de la biomasa generada por parte de los CC en lotes comerciales de sistemas productivos de granos del NOA, se realizaron evaluaciones durante las campañas 2015/16 y 2016/17. Además, durante el verano, se instalaron ensayos de fertilización nitrogenada en maíces sembrados sobre distintos antecesores como CC, para evaluar la respuesta por parte del cultivo de interés económico al agregado de nitrógeno (N). Ambas campañas, a pesar de presentar diferentes registros pluviométricos, se caracterizaron por la obtención de altos rendimientos de materia seca en las distintas coberturas invernales. En cuanto a composición química se refiere, los CC leguminosas presentaron mayor % de N en sus tejidos. Razón por la cual, posiblemente, fueron los que aportaron mayor contenido de N orgánico al sistema para el cultivo de verano siguiente. Por otro lado, la relación C/N del rastrojo de las leguminosas fue más baja que el de las gramíneas, dejando en superficie un residuo de mayor velocidad de descomposición. Como regla general, para las condiciones donde se llevaron a cabo estos ensayos, se puede decir que un rastrojo de CC perteneciente a la familia de las leguminosas aportaron al sistema aproximadamente 22 kg/ha de N orgánico por cada tonelada de materia seca producida, con una relación C/N de 23. Mientras que un CC gramínea aportó 13 kg/ha de N por cada tonelada de materia seca, con una relación C/N de 40.

Palabras claves: Nitrógeno, Fertilización, Biomasa.

INTRODUCCION

En el NOA, los sistemas productivos de granos han evolucionando hacia secuencias de cultivos con fuerte predominio del cultivo de soja en detrimento del maíz (Fandos *et al.*, 2012). Esta falta de rotación de cultivos ha provocado la degradación física, química y biológica de los suelos, lo que se tradujo en importantes pérdidas de materia orgánica, fósforo, reducción progresiva del pH, aumento de la densidad aparente, disminución de la infiltración, y aumento del escurrimiento y la erosión hídrica (Dantur *et al*., 1989; Sánchez *et al*., 1998; Hernández *et al*., 2011). Los resultados agronómicos de la agricultura de secano están fuertemente determinados por la eficiencia en la captación del agua de lluvia y por la reducción de pérdidas por escurrimiento y evaporación. Desde ese punto de vista, manteniendo la cobertura con residuos de cosecha, aumenta la infiltración, disminuye las pérdidas por evaporación y permite un mejor control de malezas (Sanzano *et al.*, 2005).

En los últimos años se ha desarrollado el concepto de intensificación agrícola con la introducción de cultivos de cobertura entre dos cultivos de verano. Un cultivo de cobertura (CC) se define como una cubierta vegetal viva que cubre el suelo de manera temporal. No tiene un valor comercial, pero agrega valor al siguiente cultivo, que es el de principal interés económico. Los CC no se cultivan para cosechar, sino para llenar vacíos, sean de tiempo o espacio, que dejan las siembras comerciales (Altieri, 1999). Los residuos de los CC juegan un papel importante tanto como mulch, que favorece la conservación del suelo y el agua, así como un insumo para mantener la materia orgánica y restituir nutrientes al suelo (Schomberg *et al.*, 1994). Los cultivos de cobertura se realizan durante el período de barbecho, previo a la siembra de un cultivo destinado a la producción de granos, interrumpiendo su crecimiento a través de la aplicación de herbicidas (Caviglia *et al.*, 2008). La finalidad de éstos es contribuir en el aporte de materia orgánica y nutriente, disminuir la erosión hídrica y eólica, reducir la población de malezas, y en lo posible, conservar la humedad del suelo. Como

recomendación general para un esquema de rotación soja-maíz, se sugiere la implantación de una gramínea antes de la soja con el objetivo de lograr cobertura y absorber nitratos residuales de la fertilización del maíz. Antes del maíz, la inclusión de un cultivo de leguminosa como cobertura genera protección al suelo, reduce el requerimiento de fertilizante nitrogenado e incrementa el rendimiento potencial del cultivo principal.

Con el objetivo de evaluar el aporte de materia seca y nutrientes de la biomasa generada por parte de los CC, se realizó un seguimiento de los mismos durante el invierno en lotes comerciales. Además, durante el verano, se instalaron ensayos de fertilización nitrogenada en maíces sembrados sobre los distintos antecesores antes estudiados, y así evaluar la respuesta por parte del cultivo de verano al agregado de nitrógeno (N).

MATERIALES Y METODOS

Durante las campañas 2015-2016 y 2016-2017, en la localidad de Gob. Piedrabuena, perteneciente al Dpto. de Burruyacú, provincia de Tucumán, se llevaron a cabo ensayos de fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz, con distintos cultivos antecesores utilizados como cobertura invernal.

Durante el invierno de ambas campañas, se realizó el seguimiento de los cultivos antecesores utilizados como cobertura: Avena strigosa y Vicia villosa durante la primera campaña; y Trigo, Garbanzo y una mezcla de Trigo + Vicia villosa durante la segunda. La fecha de siembra de los cultivos invernales para la primera campaña de estudio fue en el mes de mayo, mientras que para la segunda en el mes de abril. En ambos casos se utilizaron 30 kg/ha de semilla de Vicia; 50 kg/ha de Avena strigosa y 70 kg/ha de Garbanzo. Todas las coberturas fueron sembradas en línea, una vez cosechado el cultivo del verano anterior, que fue soja en todos los casos. Para el caso de la mezcla Trigo + Vicia villosa, se sembró realizando pasadas intercaladas a 52 cm, de forma tal que la mezcla quedo en líneas con ambas especies a 26 cm de distanciamiento.

Durante el invierno, las determinaciones realizadas sobre los distintos CC, fueron: rendimiento de materia seca (kg/ha) y sus características químicas. Las muestras se tomaron sobre puntos georeferenciados dentro del lote comercial sembrado con los distintos CC, coincidentes con el lugar donde se llevaron a cabo ensayos de fertilización con dosis crecientes de N en el cultivo de maíz durante el verano siguiente. La metodología utilizada para la obtención de las mismas fue mediante un aro de superficie conocida. Cabe destacar que las muestras obtenidas fueron solamente de la parte aérea de las plantas. El muestreo de los distintos CC fue en floración, momento en el cual se realizó la aplicación de herbicidas para cortar el ciclo de los cultivos de invierno. Dichas muestras fueron secadas en estufa hasta peso constante a 60°C. Y por último, los pesos obtenidos fueron llevados a kg/ha, estimando así el rendimiento de materia seca por unidad de superficie. Por otro lado, en laboratorio, se determinó N total (%), por el método de Kjeldahl, y Carbono Orgánico Total (%), por método de Calcinación a cada una de las muestras obtenidas a campo. Las tablas 1 y 2 muestran los resultados de las distintas determinaciones realizadas en laboratorio para ambas campañas.

Tabla N°1: Rendimiento de materia seca (kg/ha) y características químicas de los CC. Gob. Piedrabuena. Campañas 15-16 y 16-17. Tucumán – Argentina.

Campañas	CC	M.S. (kg.ha^{-1})	N total (%)	C. Org. Total (%)	Relación C/N
15-16	Vicia villosa	3770	1.8	48.9	27.1
	Avena strigosa	2765	1.1	52.7	47.9
16-17	Trigo	3155	1.4	51.3	36.6
	Garbanzo	2654	2.7	50.7	18.8
	Vicia + Trigo	5604	1.3	49.9	38.4

Tabla N°2: Nitrógeno Total, Carbono Orgánico Total y Equivalente Urea (kg/ha) de los CC. Gob. Piedrabuena. Campañas 15-16 y 16-17. Tucumán – Argentina.

Campañas	CC	N total (kg.ha^{-1})	C. Org. Total (kg.ha^{-1})	Equivalente Urea (kg.ha^{-1})
15-16	Vicia villosa	67.9	1843	148
	Avena strigosa	30.4	1457	66
16-17	Trigo	44.2	1618	96
	Garbanzo	71.6	1345	155
	Vicia + Trigo	72.8	2797	158

Es muy importante aclarar que nuestra región se caracteriza por un régimen pluviométrico del tipo monzónico, ya que más del 80% de las precipitaciones anuales se dan durante el semestre cálido. Es decir, que el éxito de una buena implantación de un cultivo de invierno, depende en gran medida de la humedad de suelo remanente del verano anterior. La tabla N° 3 muestra las precipitaciones de ambas campañas en los sitios donde se llevaron a cabo los distintos ensayos.

Tabla N°3: Precipitaciones totales en los distintos años de evaluación. Gob. Piedrabuena. Tucumán – Argentina.

Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
2015	100	191	278	0	0	0	0	36	3	9	114	175	**906**
2016	265	108	71	0	0	0	0	10	0	23	87	85	**649**

Durante el verano, luego de la implantación de los CC, en el cultivo de maíz sembrado sobre los distintos antecesores, se instalaron ensayos de fertilización nitrogenada con dosis crecientes de N. Las dosis evaluadas en la primera campaña fueron: testigo absoluto (N0), 50 kg/ha de N (N50), 75 kg/ha de N (N75), 100 kg/ha de N (N100), 125 kg/ha de N (N125) y 150 kg/ha de N (N150), tanto con antecesor Vicia villosa como con antecesor barbecho invernal, mientras que para antecesor Avena strigosa solamente se evaluaron tres tratamientos: N0, N75 y N150. En la siguiente campaña de estudio se evaluaron: N0, N50, N100, N150 y N200 sobre tres antecesores distintos (Trigo, Garbanzo y una mezcla Vicia villosa+ Trigo). El fertilizante nitrogenado utilizado en ambos casos fue Urea (46-0-0), aplicado superficialmente y sin incorporar, cuando el maíz presentó seis hojas verdaderas (V6). Además, en el mismo momento, se determinó nitratos de suelo hasta los 90 cm de profundidad en cada uno de los sitios ensayados, antes de la aplicación del fertilizante nitrogenado. La tabla N°4 muestra los resultados de laboratorio de los contenidos de nitratos de suelo a distintas profundidades en cada uno de los sitios ensayados y en ambas campañas de estudio.

Tabla N°4: Nitratos de suelos en el cultivo de maíz en V6, sembrados sobre distintos antecesores como CC. Gob. Piedrabuena. Campañas 15-16 y 16-17. Tucumán – Argentina.

Campañas	CC	Nitratos de suelos en V6 (ppm)			
		0-30	**30-60**	**60-90**	**Total**
15-16	Vicia villosa	29.8	29.7	35.9	**95.4**
	Avena strigosa	18.6	20.0	31.7	**70.3**
	Barbecho	14.9	17.0	29.9	**61.8**
16-17	Trigo	52.2	35.3	36.6	**124.1**
	Garbanzo	75.7	73.7	55.1	**204.5**
	Trigo + Vicia	74.9	51.2	35.1	**161.2**

El diseño experimental utilizado para los ensayos de fertilización nitrogenada, fue en bloques completamente aleatorizados con 4 repeticiones. El análisis de la varianza de las medias de los rendimientos de granos (kg/ha) de cada tratamiento, fue realizado mediante LSD Fisher con una probabilidad de error del 95% (P>0.05). Cada parcela estuvo constituida por seis líneas sembradas a 52 cm, con un largo de 10 mts., sumando así una superficie por parcela de aproximadamente 31 m^2. Durante la madurez del cultivo, se cosecharon las espigas de las tres líneas centrales de cada parcela, en una longitud de 5 mts. De esta manera, se cosechó una superficie de 7,8 m^2 en cada una de las parcelas de estudio. Cada muestra se trillo en maquinas fijas, se realizo peso del grano y finalmente se estimó el rendimiento en kg/ha.

RESULTADOS Y DISCUSION

En ambas campañas, con diferentes registros pluviométricos, los CC se caracterizaron por finalizar con altos rendimientos de materia seca. En cuanto a composición química se refiere, los CC pertenecientes a la familia de las leguminosas presentaron mayor % de N en sus tejidos. Razón por la cual, posiblemente, aportaron mayor contenido de N orgánico al sistema para el cultivo de verano siguiente. Por otro lado, la relación C/N del rastrojo de las leguminosas es más baja que el de las gramíneas, dejando en superficie un residuo de mayor velocidad de descomposición (Paustian *et al.*, 1997).

Los rendimientos de granos en el cultivo de maíz obtenidos con cada uno de los tratamientos evaluados, para ambas campañas y sobre distintos antecesores, se pueden observar en las figuras 1 y 2.

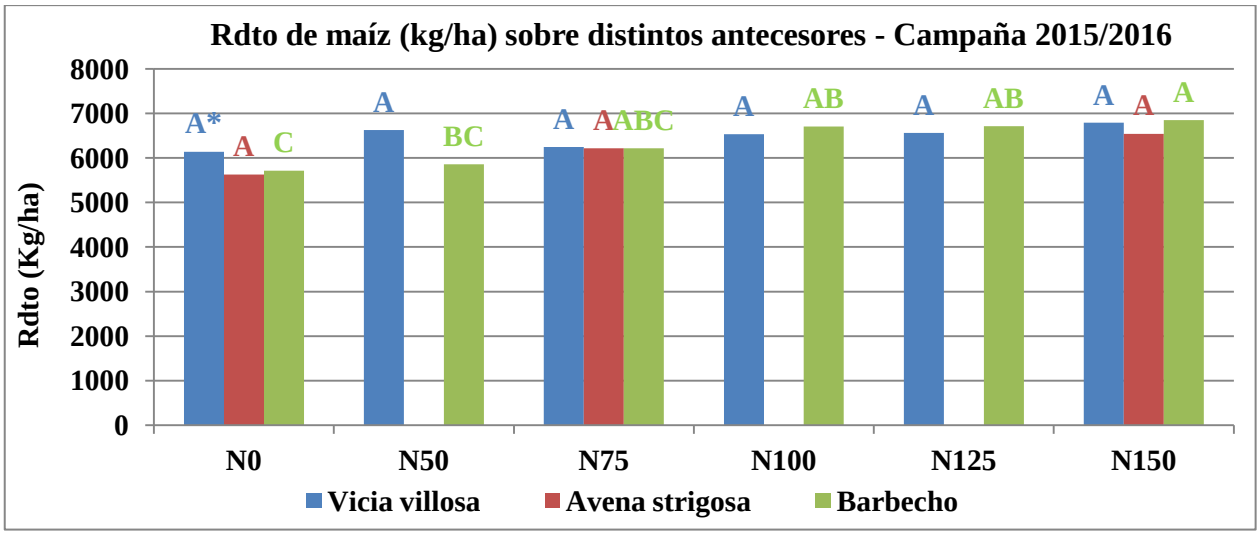


Figura 1: Rendimiento medio de maíz (Kg/ha) de cada tratamiento sobre distintos cultivos antecesores. Gob. Piedrabuena. Campaña 15-16. Tucumán – Argentina.

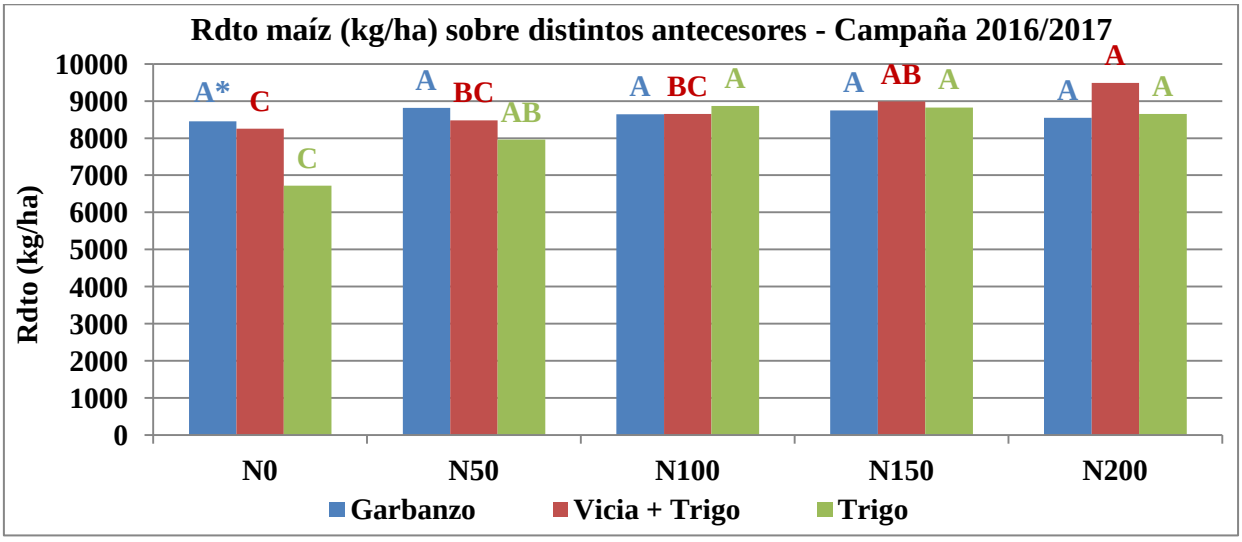


Figura 2: Rendimiento medio de maíz (kg.ha-1) de cada tratamiento sobre distintos cultivos antecesores. Gob. Piedrabuena. Campaña 16-17. Tucumán – Argentina.

*****Letras distintas indican diferencias significativas con test DLS, con una probabilidad de error del 5% (P>0.05).

Para la campaña 2015-2016, en el único ensayo donde se observó algún tratamiento con diferencia significativa con respecto al TA, fue cuando el maíz se sembró sobre barbecho de invierno como antecesor, y con una respuesta por parte del cultivo de verano a partir de los 100 kg/ha (aproximadamente 217 kg/ha de Urea). A su vez, cuando el antecesor fue un CC, sea leguminosa o gramínea, ningún tratamiento evaluado se diferenció del testigo sin fertilizar.

Durante la segunda campaña, el único ensayo en el que los tratamientos evaluados no tuvieron diferencias significativas con el TA fue cuando el antecesor se trató de garbanzo. Mientras que, cuando el antecesor fue la mezcla Vicia villosa + Trigo, el maíz respondió a partir de los 150 kg/ha de N (aproximadamente 325 kg/ha de Urea), y cuando el antecesor fue Trigo como CC, el cultivo de verano respondió a partir de los 50 kg/ha de N (aproximadamente 110 kg/ha de Urea).

Tomando los valores de las muestras de materia seca de la parte aérea de la planta en los distintos CC, para ambas campañas y para dicha localidad, el rastrojo de los CC de la familia leguminosa aportaron al sistema aproximadamente 22 kg/ha de N orgánico por cada tonelada de materia seca producida, con una relación C/N de 23. Mientras que para el caso de los CC gramíneas aportaron 13 kg/ha de N por cada tonelada de materia seca producida, con una relación C/N de 40.

Por otra parte, se pudo observar en los distintos ensayos la variación de nitratos de suelo hasta los 90 cm de profundidad, en función de los distintos CC que fueron antecesores. De esta manera, los mayores contenidos de nitratos de suelo en V6 (seis hojas verdaderas en el cultivo de maíz), se obtienen cuando el antecesor fue leguminosa como CC.

CONCLUSIONES

Se observó asociación entre los contenidos de nitratos de suelo en V6 (seis hojas verdaderas) en el cultivo de maíz y la respuesta de éste a la fertilización nitrogenada. Es decir, a mayor contenido de NO_3 de suelo en V6, las respuestas son nulas o a mayores dosis de N.

Las leguminosas como cultivo de cobertura hicieron un mayor aporte de nitratos para el cultivo de maíz. Además, por presentar una relación C/N baja, su residuo de rápida descomposición, deja los nutrientes disponibles más rápidamente para el siguiente cultivo. A la hora de fertilizar con N es muy importante tener en cuenta el cultivo antecesor.

A pesar de tener diferentes registros pluviométricos en ambas campañas de evaluación, no se observaron diferencias en los rendimientos de materia seca en los distintos CC. Posiblemente, la anticipación en la siembra de la segunda campaña haya sido muy importante para que no exista diferencia en cuanto a rendimientos de materia seca.

Si bien se trata del análisis de dos campañas solamente, la repetición de estas evaluaciones en los próximos años permitirá brindar mayor solidez a estas consideraciones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del laboratorio de la Sección Suelos y Nutrición Vegetal por las determinaciones realizadas a todas las muestras tomadas a campo, tanto foliares como de suelo.

También un especial agradecimiento al Ing. Agr. Antonio Izquierdo, encargado de la Estancia Santa Teresita, por permitir llevar a cabo estos ensayos en lotes comerciales de dicho establecimiento.

BIBLIOGRAFIA

- Fandos C.; P. Scandaliaris; J. Carreras Baldrés & F. Soria. 2012. Superficie cultivada con soja y maíz en Tucumán en la campaña 2011/2012 y comparación con campañas anteriores. Boletín Electrónico (En línea). Disponible en: www.eeaoc.org.ar
- Hernández, C.; F. Sosa; G. A. Sanzano; G. Robledo; D. E. Gamboa; C. Sotomayor; J. I. Romero; M. Morandini & H. Rojas Quinteros. 2011. Experiencia de fertilización en maíz. En: Gamboa, D.; Lane Wilde B.; Goizueta F. y M. R. Devani (eds.). El maíz en el NOA. Campaña 2011/2012. Publ. Espec. EEAOC (46): 91-98.
- Dantur, N. C.; C. F. Hernández; M. R. Casanova; V. Bustos & L. Guzmán. 1989. Evolución de las propiedades de los suelos de la Región Chaco-Pampeana de Tucumán bajo diferentes alternativas de producción. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 66 (1): 33-66.
- Sánchez, H. A.; J. R. García; M. R. Cáceres y R. D. Corbella. 1998. Labranzas en la Región Chacopampeana Subhúmeda de Tucumán. En: Panigatti, J. L.; H. Marelli; C. Buzchiazzo y R. Gil (eds.), Siembra Directa. INTA. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires, R. Argentina, pp. 245-256.
- Sanzano, G. A.; R. D. Corbella; J. R. García & G. S. Fadda. 2005. Degradación física y química de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. Ci Suelo (Argentina) 23 (1): 93-100.
- Caviglia O. P.; N. V. Van Opstal; V. C. Gregoratti; R. J. M. Melchiori & E. Blanzaco. 2008. El invierno: estación clave para intensificación sustentable de la agricultura. Agricultura sustentable. Actualización técnica. INTA Paraná. Septiembre de 2008. Pp: 7-13.
- Altieri, M. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Ed. Nordan-Comunidad.
- Schomberg, H. H., Ford, P. B., Hargrove, W. L. 1994. Influence of crop residues on nutrient cycling and soli chemical properties. In Managing Agricultural Residues. Ed. P. Unger. Chapter 6 pp 100-116.
- Paustian, K., Collinns, H. & Paul, E., 1997. Managements Controls on Soil Carbon, in Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems, En CRC Press Inc.

C3P70. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CAL AGRICOLA SOBRE EL PH, ALUMINIO Y FÓSFORO EN UN ULTISOL

Rojas Cáceres, A.; Lares Cuevas, Derlis Hernán; Rolón Paredes, Gustavo A., González Cáceres, Eugenio; Rasche Álvarez, Jimmy W.; Duarte Monzón, Alder D.; Quiñonez Vera, Laura R.y Rheinhermer dos Santos, Danilo

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Avenida Mcal. López 2160. San Lorenzo, Paraguay. gonzalezeugenio21@gmail.com

RESUMEN

La acidez del suelo es un factor esencial para el crecimiento de las plantas. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de dosis de cal agrícola sobre en pH, aluminio intercambiable (Al^{+3}+H^{+}) y la dinámica de fósforo en un suelo franco arcillo arenoso. El experimento se realizó en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo. Se utilizó un diseño completamente al azar, los tratamientos estudiados fueron diez dosis de cal agrícola (0, 500, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, 12.000 y 14.000 kg ha^{-1}, respectivamente) con tres repeticiones. El suelo era proveniente del distrito de Cnel. Bogado (Itapúa). Una vez secado y tamizado el suelo se cargó dos kilos en macetas de polietileno y se aplicó el carbonato de calcio, se incubó por 60 días. Posteriormente se realizaron la determinación del pH_{agua} (relación 1:1) y Al^{+3} + H^{+} por titulación. A las muestras previamente incubadas con carbonato de calcio se le aplicó una dosis única de 43,7 kg ha^{-1} de P. Se volvió a incubar la misma por 30 días. Después de la incubación, las muestras de suelo fueron sometidas a fraccionamiento de P. El pH del suelo aumentó significativamente de 4,19 en el testigo a 6,57 con la dosis más alta de cal aplicada. El Al^{+3}+H^{+} disminuyó significativamente de 2,70 en el testigo y llegando a valores 0 (cero) a partir de la dosis 8000 kg ha^{-1} en adelante. En relación a la dinámica del P en el suelo no se verificó diferencias significativas por efecto de la aplicación de dosis única de 43,7 kg ha^{-1} de fósforo con dosis crecientes de carbonato de calcio. La aplicación de la cal agrícola aumenta el pH del suelo y disminuye el contenido de aluminio intercambiable del suelo.

Palabras claves: carbonato de calcio, aluminio intercambiable, fraccionamiento de fósforo.

INTRODUCCIÓN

El proceso de acidificación de los suelos en el Paraguay se da cuando el promedio de precipitación anual es mayor al promedio de evapotranspiración anual, lo que provoca un proceso de lixiviación de las bases del suelo. Asimismo la extracción por las cosechas sucesivas, el exceso de mecanización, el uso indiscriminado de fertilizantes químicos y la escasa utilización de enmienda o cal agrícola, contribuyen para acentuar este proceso (Fatecha, 2004).

La producción en suelos ácidos es muy limitada debido a la deficiencia de fósforo lábil. La acidez incide directamente en la fertilidad de los suelos y la solubilidad de los nutrientes para las plantas, afectando de este modo el rendimiento de los cultivos. Además, la acidez incide en otros fenómenos fisicoquímicos, como la capacidad de intercambio catiónico y la absorción de elementos (Zapata Hernández, 2002; Sequera &Ramírez, 2003). El efecto del encalado sobre la disponibilidad del fósforo depende del tipo de suelo y generalmente está relacionado con los compuestos cristalinos de Fe y Al (Fernández *et al.*, 1995).

El fósforo es considerado como uno de los nutrientes más limitantes para la producción de las plantas, debido a la acidez del suelo y la alta reactividad del fosfato con hierro y sesquióxidos de aluminio, se acumula principalmente en el suelo y más del 99% se encuentra en forma no disponible o poco disponible (López & Hernández, 2011). Según Beltrán Pineda (2014), el fósforo soluble es absorbido por la planta, lo cual mejora su crecimiento y productividad. Al utilizar esas reservas de fósforo presentes en los suelos, se disminuye la aplicación de fertilizantes químicos que, por una parte, pueden nuevamente ser fijados por iones Ca, Al o Fe volviéndolos insolubles e incrementando los costos de producción.

Los mecanismos de fijación de P en los suelos altamente meteorizados de los trópicos (Ultisoles y Oxisoles dominados por óxidos e hidróxidos de Al y Fe y caolinita) son diferentes que los de zonas templadas o menos interperizados. La capacidad de fijación en la mayoría de estos suelos está relacionada con la alta reactividad y afinidad por P de las superficies de las arcillas presentes en estos suelos. Los iones ortofosfato (H_2PO_4 y HPO_4) son atraídos a la superficie de las arcillas por reacciones covalentes de alta energía que fijan fuertemente el P a los minerales arcillosos. Este proceso retiene apreciables cantidades de P en un rango de pH de 5,0 a 7,0 (Fixen, 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el laboratorio del Área de Suelo y Ordenamiento Territorial, de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), Universidad Nacional de Asunción (UNA), Campus Universitario de San Lorenzo, Paraguay, ubicado a 25º 21´ de LS, 37º 27´ de LO. Se utilizó un diseño completamente al azar, con diez dosis de cal agrícola y tres repeticiones. Las diez dosis de carbonato de calcio ($CaCO_3$) fueron: (0, 500, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, 12.000 y 14.000 kg ha^{-1}). Se colectaron suelos de la capa superficial de un Ultisol franco arcillo arenoso de Cnel. Bogado (Itapúa). Inicialmente fue colectado un metro cuadrado de suelo en la profundidad de 0 a 0,20 m, colocado en bolsa de aspillera y transportada a la FCA-UNA. Posteriormente el suelo fue extendido sobre lona plástica y secado a sombra de tal manera a tener una homogeneidad, luego se procedió al tamizado con una malla de tamiz de 2 mm, donde fueron separados las impurezas y restos de la vegetación.

En el momento de la colecta de suelo también se realizó el muestreo de suelo con anillos de 100 mL de volumen, para determinar la densidad aparente del suelo, posteriormente con estos datos se procedió a calcular el peso de una hectárea de suelo. Con la misma se procedió a calcular la cantidad de carbonato de calcio, para dos kilos de suelo, de acuerdo a los tratamientos utilizados en el trabajo, los que se detallan a continuación.Se procedió a cargar dos kilos de suelo en macetas de polietileno, así mismo se aplicó el carbonato de calcio correspondiente a los tratamientos mencionados en la tabla 1, con tres repeticiones. Una vez aplicado los tratamientos se procedió a incubar por espacio de 60 días en invernadero, durante el mismo se mantuvo las muestras a 70% de la capacidad de campo y se dejó una apertura que permita el intercambio gaseoso y también se mezclaba el suelo manualmente una vez a la semana, de manera a facilitar la reacción de carbonato de calcio en el suelo.

A los 60 días de la aplicación de la carbonato de calcio se procedió a extraer 50 g de las muestras de suelo de cada tratamiento, de las cuales se realizaron la determinación del pH_{agua} (relación 1:1) y Al^{+3} + H^+ por titulación. A las muestras previamente incubadas con carbonato de calcio se le aplicó una dosis única de 43,7 kg ha^{-1} de P (100 kg ha^{-1} de P_2O_5). Se volvió a incubar la misma por 30 días, bajo las mismas condiciones que la incubación con cal. Después de la incubación, las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas en tamiz de 2 mm, luego fueron sometidas al fraccionamiento de P descrito por Hedley *et al.* (1982) con las modificaciones propuestas por Rheinheimer (2000).

Todos los extractores permanecieron en contacto con las muestras (1 g de sedimento) durante 16 horas en agitador tipo “end over” (33 rpm) con posterior centrifugación a 2510 g por 20 minutos. En los extractos alcalinos de la solución de $NaHCO_3$ e NaOH fue determinada el P disponible por el método de Dick & Tabatabai (1977), modificado por He & Honeycutt (2005), y fue determinada el P total de cada fracción, realizando la extracción por digestión con persulfato de amonio y H_2SO_4 en autoclave a 121°C y posteriormente determinado por Murphy & Riley (1977). Después el residuo fue secado, molido y fue extraído el P residual (P_{res}) por el método de H_2SO_4 + H_2O_2 + $MgCl_2$ (Olsen & Sommers, 1982). Las determinaciones de fósforo extraídas fueron estimadas por el método de Murphy & Riley (1977).

Posteriormente fueron agrupadas las extracciones por el fraccionamiento de Hedley en P lábil compuesta por el P extraído con P_{MIA} + P_{NaHCO3} que se encuentran ligadas a la superficie de los coloides del suelo de manera intercambiable; como moderadamente lábil correspondientes a las formas inorgánicas ligadas a Fe y Al (Pi-NaOH) y las inorgánicas asociadas a los compuestos húmicos (Po-NaOH), fueron extraídas con NaOH (0,1 e 0,5 mol L^{-1}); P P_{HCl} como poco lábil y P_{res} como no lábil. P_{NaOH01} + P_{NaOH05}. El fósforo total de la muestra fue estimado por la sumatoria de todas las extracciones. Una vez obtenido los resultados relacionados a la disponibilidad de fósforo se realizaron los análisis estadísticos (ANOVA) para determinar si hubo diferencias significativas entre los tratamientos, así mismo se realizó la comparación de medias por el test de Tukey al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según el análisis de varianza existe una diferencia estadística significativa en los valores de pH y acidez intercambiable (Al^{+3}+H^+), Figura 1. El suelo del testigo posee pH de 4,19 y Al^{+3}+H^+ de 2,70, interpretando estos como un suelo extremadamente ácido y con alta toxicidad de aluminio. En la figura 1 también se observa que el valor más alto de pH (6,57) fue obtenida con la adición de 14.000 kg ha^{-1} de cal agrícola y que recién con 10.000 kg ha^{-1} de cal agrícola fue obtenido un valor de pH superior a 6,0.

Con esto se puede constatar que el suelo utilizado para el experimento presentó poder tampón alto, es decir que el suelo resiste a los cambios de pH, pudiendo atribuir este comportamiento a las reservas de cationes acidificantes en las sedes de intercambio del suelo, denominadas como acidez potencial por Meuer, (2004). Consultando Porta, (1994) se puede asumir que el poder tampón o buffer de los suelos depende de la cantidad y mineralogía de la arcilla que poseen los mismos, entonces se puede inferir que los Ultisoles con textura franco arcillo arenosa de Cnel. Bogado, presentan una mineralogía de arcilla rica en cationes acidificantes, por lo que dichos suelos resisten a los cambios de pH. Al calcular la

cantidad de cal agrícola a aplicar al Ultisol de Cnel. Bogado, por el método de la acidez intercambiable (Al^{+3}+H^{+}), donde Mg ha^{-1} $CaCO_3$ = 2,0 x (Al^{+3}+ H^{+}), Fatecha (2004); da como resultado 5,4 Mg ha^{-1}, se puede ver que no coincide con la obtenida en este experimento, ya que recién con la aplicación de 8,0 Mg ha^{-1} de cal agrícola se neutraliza la acidez intercambiable, con pH igual a 5,84.

Esta comparación muestra que en el Ultisol franco arcillo arenoso de Cnel. Bogado, con la utilización del método de acidez intercambiable para calcular la cantidad de cal agrícola a aplicar, no se neutraliza toda la acidez cambiable, pudiendo esta interferir con el desarrollo de cualquier cultivo. Esta situación muestra la necesidad de estudiar y comparar los métodos para calcular las dosis de cal agrícola, con mayor detalle en los diferentes suelos de la Región Oriental del Paraguay.

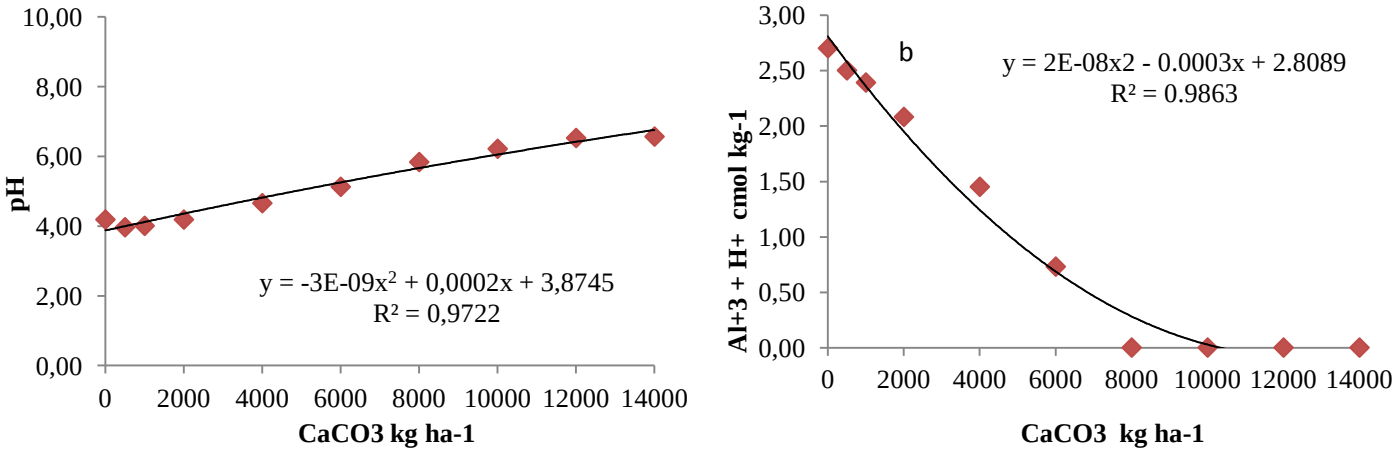


Figura 1 a) Línea de tendencia del pH y 1b) acidez intercambiable (Al^{+3}+H^{+}), en un Ultisol franco arcillo arenoso de Cnel. Bogado, en relación a las dosis de cal agrícola $CaCO_3$.

Las figuras 1a y 3b muestran la línea de tendencia del pH y de la acidez intercambiable (Al^{+3}+H^{+}) del suelo, en relación a las dosis de cal agrícola ($CaCO_3$), con R^2 que demuestra una alta correlación para el pH y la acidez intercambiable (Al^{+3}+H^{+}). La misma muestra una baja respuesta en el pH y acidez intercambiable, donde por cada 1.000 kg ha^{-1} se espera el pH aumente 0,2 puntos y la acidez intercambiable se neutralice 0,3 cmolc kg^{-1}.

Tabla 1. Niveles de fósforo lábil, fósforo moderadamente lábil y de fósforo no lábil por efecto de la aplicación de dosis única de fósforo con dosis crecientes de carbonato de calcio, en un suelo de Itapuá, Paraguay 2017.

Dosis de $CaCO_3$ (Kg ha^{-1})	Fósforo lábil	Fósforo moderadamente lábil	Fósforo no lábil
	……..mg kg^{-1}……		
0	11,60 a	50,73 a	122,40 a
500	10,80 a	36,50 a	137,47 a
1000	9,67 a	37,73 a	134,60 a
2000	9,73 a	41,50 a	129,83 a
4000	10,63 a	39,13 a	125,50 a
6000	10,13 a	40,47 a	124,90 a
8000	9,40 a	41,97 a	118,67 a
10000	10,20 a	44,27 a	108,57 a
12000	10,10 a	50,33 a	103,93 a
14000	11,07 a	39,20 a	103,80 a
CV %	**9,85**	**17,88**	**22,75**

CV: Coeficiente de variación. Medias seguidas por diferentes letras en la columna difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En relación al P lábil, fósforo moderadamente lábil y de fósforo no lábil no se verificó diferencias significativas a nivel estadística por efecto de la aplicación de dosis única de 43,7 kg ha^{-1} de fósforo con dosis crecientes de carbonato de calcio en el suelo estudiado (Tabla 1). A pesar de que el pH y en aluminio intercambiable respondieron significativamente a las dosis de carbonato de calcio, no afecto en las formas de fósforo en el suelo.

Estos resultados pueden ser explicados por la dosis baja de 44 kg ha^{-1} de P aplicado en el suelo. Los valores del P lábil varían de 11,6 mg kg^{-1} para el testigo y 9,40 mg kg^{-1} para el T7, para el P moderadamente lábil de 50,73 mg kg^{-1} obtenido con el tratamiento testigo y 36,5 mg kg^{-1} donde fue aplicada 1000 Kg ha^{-1} de cal agrícola. En el P no lábil los valores variaron de 103,80 a 137,47 mg kg^{-1} obtenidos con el T10 y T2 respectivamente.

CONCLUSIONES

La aplicación de las dosis de carbonato de calcio aumentó significativamente los niveles de pH, como así también, redujo significativamente el contenido de aluminio intercambiable del suelo estudiado.

Las formas de Fosforo lábil, fosforo moderadamente lábil y fósforo no lábil se mantuvo sin alteraciones significativas con las dosis de carbonato de calcio aplicados.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por la financiación del Proyecto PINV15-317 “Dinámica del fósforo en suelos ácidos cuando encalados y fertilizados con fósforo”

BIBLIOGRAFÍA

- Beltrán Pineda, ME. 2014. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu. 15(1) 101-113
- Dick, WA & MA Tabatabai. 1977. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. Journal of Environmental Quality, 6:82-85.
- He, Z & CW Honeycutt. 2005. A Modified Molybdenum Blue Method for Orthophosphate Determination Suitable for Investigating Enzymatic Hydrolysis of Organic Phosphates. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36:1373–1383.
- Hedley, MJ; JWB Stewart & BS Chauhan. 1982. Changes in the inorganic and organic phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubation. Soil Sci Soc Am J., 46:970-976.
- Murphy, J & JP Riley. 1977. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, 27:31-36.
- Olsen, SR & LE Sommers. 1982. Phosphorus. In: PAGE, A L.; Miller, R H.; Keeney, Q R. (Eds.) Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2. ed. SSSA. Madison, p. 403-430.
- Rheinheimer, DS. 2000. Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos. Tesis (Doctorado en Ciencia del suelo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 210 p.
- López, D & I Hernández. 2011. P cycling and biogeochemistry in well drained and flooded venezuelan savannas. Caracas, VE. Nova Science Publishers Inc. 26 p.
- Fatecha Fois, D. 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay. Tesis de Grado. San Lorenzo, PY. FCA-UNA. 82p
- Fernández, MJ; E Álvarez & E García. 1995. Efecto del encalado sobre ciertas propiedades de la solución del suelo, la fracción coloidal y la disponibilidad de fósforo. Revista de la Sociedad Española de la Ciencia de Suelo. no.1:119 - 127.
- Fixen P. 2014. Dinámica del fósforo en el suelo y en el cultivo en relación al manejo de los fertilizantes fosfatados. 10 p.
- Meurer, J. 2004. Fundamentos de química do solo. 2 º Edicao. Genesis. Porto Alegre. BR. 281 p.
- Porta, J; M López & C Roquero. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundiprensa. Madrid. ES. 799 p.
- Sequera, O & R Ramírez. 2003. Fósforo, calcio y azufre disponibles de la roca fosfórica acidulada con ácido sulfúrico y tiosulfato de amonio. INCI v.28 n.10 Caracas. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442003001000010&script=sci_arttext. Fecha de consulta 10 febrero 2018
- Zapata Hernández, RD. 2002. Química de la acidez del suelo. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/1735/. Fecha de consulta 07 febrero 2018

C3P71. SORCIÓN DE P DE LOS MOLISOLES FRANCO LIMOSOS DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA (ARGENTINA)

Rollán, Adriana A.; Bachmeier, Omar A.y Moreno, Mario A.

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Ing. Agr. Félix Aldo Marrone 746, Córdoba, Argentina. arollan@agro.unc.edu.ar

RESUMEN

El fósforo, a diferencia de lo que sucede con el nitrógeno, no presenta importantes vías naturales o biológicas de reposición. La práctica de la fertilización es la única alternativa para el mantenimiento y la conservación del nivel de P en los suelos agrícolas. La fertilización fosforada afecta la capacidad máxima de retención del nutriente y la energía con que es retenido por la fase sólida. Sin embrago, los criterios diagnósticos actuales no contemplan este efecto. Nuevas tecnologías y cambios en los sistemas de producción hacen que aspectos que parecían solucionados hace tiempo deban revaluarse. El diagnóstico de requerimiento de fertilización fosforada basado en la determinación del P extractable (Pe) de 0 a 20 cm de profundidad al momento de la siembra genera incertidumbres. La fertilización como herramienta tecnológica, demanda de indicadores edáficos más específicos que contemplen el proceso sorción del P. El grado de adsorción de P determina que sólo una proporción marginal del P aplicado esté luego presente en la solución del suelo. A fin de predecir cuánto del P aportado es adsorbido por la matriz del suelo, se planteó como objetivo de este trabajo cuantificar los parámetros de adsorción de P utilizando un modelo de isoterma simple a fin de evaluar a futuro su inclusión analítica con fines diagnóstico. Los experimentos de sorción de P se llevaron a cabo a valor de pH del suelo, en muestras compuestas de 0 a 5 cm de profundidad provenientes de lotes de cultivo (SD) y de áreas colindantes no cultivadas (NC), ubicadas sobre Haplustoles típicos y énticos. En todos los casos se verificó la similitud textural de las muestras y se cuantificaron sus propiedades químicas contrastantes. Para la estimación de la capacidad máxima de retención de P (Qmax) y su energía de retención *(k)*, se utilizó el modelo de Langmuir para un rango de concentraciones entre 0 y 40 mg $P*L^{-1}$ usando KCl 0,1 M como electrolito soporte con un tiempo de incubación de 96 horas. El máximo de concentración utilizada se fijó considerando las dosis de P que comúnmente se aplican en la zona (8-10 kg $P*ha^{-1}$). En el rango de concentraciones entre 0 y 10 $mg*L^{-1}$ P se observó una disminución de la sorción total de P en las muestras NC en relación con el P-adsorbido en las muestras de SD. En la condición de SD la concentración de P en la solución de equilibrio (Ceq) disminuyó consecuencia de la retención de P. Los suelos con mayor retención fueron los de mayor contenido de materia orgánica (MOS> 30 $mg*kg^{-1}$). En promedio. el 40% del P aplicado fue adsorbido por la matriz del suelo. En todos los casos los bajos valores de k (<<1) indican que la biodisponibilidad de P no es limitada por la matriz del suelo. Por el contrario, en este tipo de suelos franco-limosos con contenidos de MOS entre a 25 y 40 mg/kg, de 0 a 5 cm, es posible esperar un efecto residual del P aplicado.

Palabras clave: Isotermas, fertilización, Haplustoles.

C3P72. EXTRACCIÓN Y BALANCE DE MACRONUTRIENTES EN CAÑA DE AZÚCAR CON RIEGO POR GOTEO Y EN SECANO

Romero, Juan Ignacio; Sanzano, Agustín y Romero, Eduardo R.
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Tucumán. Argentina. jiromero@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El cultivo de caña de azúcar y la actividad sucro-alcoholera tienen un alto impacto económico, social y ambiental en Tucumán y todo el NOA. Su importancia en la región podría incluso incrementarse por su potencial como cultivo energético además de alimenticio. Para la sustentabilidad del sistema, el mantenimiento de la capacidad productiva de los suelos resulta fundamental. Un dato clave para evaluar dicha sustentabilidad surge del balance de nutrientes. El riego por goteo permite mayores producciones de biomasa y así mayor extracción de nutrientes. El objetivo de este trabajo fue determinar la extracción de nutrientes y estimar el balance de los mismos de la variedad LCP 85-384 en condiciones de secano y con riego por goteo en la localidad de Overo Pozo, Dpto Cruz Alta-Tucumán-Argentina. Se estableció un ensayo con 5 repeticiones en un diseño totalmente aleatorizado en franjas. Los rendimientos promedio fueron 112,3 t/ha y 82,3 t/ha para riego y secano respectivamente. La extracción de nutrientes promedio fue de 100, 15, 283, 19 y 14 kg/ha y 79, 11, 202, 13 y 10 kg/ha*año de N, P, K, Ca y Mg para riego por goteo y secano respectivamente. Con una única aplicación de 97 kg/ha de P_2O_5 y considerando 4 aplicaciones de 90 kg N/ha se estimó el balance de nutrientes para un ciclo de 5 años para riego y secano, en base a datos reales medidos durante las socas 1, 2 y 3. Los balances de nutrientes estimados para un ciclo completo de 5 años fueron negativos para ambos tratamientos. Las pérdidas fueron marcadamente superiores en el riego por goteo. Dichos balances resultaron en -98, -25,5, -1286, -83 y -67, y -16, -14,5; -967, -65 y -48,05 kg/ha de N, P, K, Ca y Mg para riego por goteo y secano respectivamente.

Palabras claves: sustentabilidad, pérdida de fertilidad, fertilización

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es el cultivo sacarífero más importante del mundo. Es un cultivo de zonas tropicales y subtropicales, por lo cual su producción en Argentina se concentra en tres zonas: Tucumán, el Norte (Salta y Jujuy) y el Litoral (Santa Fe y Misiones). Tucumán concentra el 60-65% de la producción nacional de azúcar, el Norte un 35% y el Litoral un 1%. En el área cañera de Tucumán se cultivan alrededor de 274.180 ha (Soria *et al.*, 2017) con una superficie potencial de 300.000 ha. Esta actividad sucro-alcoholera tiene un alto impacto económico, social y ambiental en todo el NOA. Su importancia en la región podría incluso incrementarse en los próximos años con el desarrollo energético sustentado en el aprovechamiento integral del cultivo para la producción de alimentos, biocombustibles, bioenergía eléctrica y variados bioproductos.

El uso agrícola continuado de la tierra sin una estrategia de fertilización de reposición de los nutrientes extraídos conlleva al empobrecimiento y desbalance nutricional de los suelos y a la paulatina pérdida de su capacidad productiva. Un primer paso en la búsqueda de estrategias para al menos limitar esta realidad es cuantificar el balance de nutrientes del suelo. Dicho balance se estima como la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y salen de un sistema definido en el espacio y en el tiempo. En general, estos balances se consideran para la capa de suelo explorada por las raíces en períodos anuales. Los egresos de nutrientes pueden ser estimados a partir de las concentraciones promedio de los mismos en los órganos cosechados o extraídos del sistema (García, 2003). A nivel local, sin embargo, prácticamente no existen datos sobre el requerimiento y la extracción de nutrientes de la caña de azúcar.

Por otro lado, en los últimos años se produjo la adopción de la tecnología de riego por goteo en algunas explotaciones cañeras (aproximadamente 3.000-3.500 ha). Las mayores biomasas producidas con el aporte de esta tecnología (Romero *et al.*, 2003; Sosa *et al.*, 2011) implican mayores requerimientos y extracciones de nutrientes, lo que podría acelerar la degradación o empobrecimiento de los suelos. Con el objetivo de hacer un aporte de información básica inexistente a nivel local que permita avanzar hacia un manejo más sustentable de suelos en la producción de caña de azúcar local, en la campaña 2013-2014 se inició un experimento en el campo experimental de Overo Pozo de la EEAOC para caracterizar la dinámica de absorción, partición y la extracción de macronutrientes de la variedad LCP 85-384 en condición de secano y bajo riego por goteo en la edad de soca, en localidad de Overo Pozo, Dpto Cruz Alta-Tucumán-Argentina. En este trabajo en particular se publican datos de extracción de nutrientes obtenidos y se calculan balances aparentes de nutrientes para cañaverales con riego por goteo y en condición de secano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo está ubicado en la finca Overa Pozo, Cruz Alta, Tucumán en un lote de la variedad LCP85-384 (cultivar que ocupa alrededor del 80% del área cañera tucumana) plantada en surcos anchos distanciados a 1,8 m (55,5 surcos/ha). Se evalúan dos tratamientos (riego por goteo vs secano) con 5 repeticiones en un diseño totalmente aleatorizado en franjas. Durante el ciclo de caña planta, todas las parcelas fueron regadas por goteo para asegurar un óptimo establecimiento y recién luego del primer corte se establecieron los tratamientos (riego y secano). Cada unidad experimental constó de 6 surcos por 46 m de largo dentro de los cuales se marcó una subparcela de 10 m de largo para la evaluación de la población de tallos y para la realización del muestreo destructivo a cosecha destinado a determinar la producción anual, la biomasa aérea y su partición, como la concentración de nutrientes de los diferentes órganos.

La producción cultural fue determinada en la caña planta y las 4 socas siguientes. La estimación del rendimiento cultural se realizó a partir del nº de tallos molibles por metro lineal de surco (media de tres conteos de 10 m por réplica) y del peso fresco medio de los tallos a cosecha. El mismo se obtuvo de una muestra de 20 tallos consecutivos completos por réplica, la cual se separó en hojas verdes, hojas secas, tallo molible y despunte para la determinación de los pesos frescos respectivo. Una submuestra de cada fracción fue secada en estufa (65°C) para la determinación de materia seca y del contenido de N, P y K en el laboratorio de Suelos, y de Ca y Mg en el laboratorio de Química, ambos de la EEAOC.

El N se extrajo por digestión sulfúrica, y se determinó por digestión-destilación (Kjendhal). Los demás nutrientes se extrajeron por calcinación y se determinaron los contenidos de P por colorimetría en cenizas totales, de K por fotometría en cenizas totales, y de Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica.

La cantidad de nutrientes absorbidos por la planta se cuantificó sumando el producto de la materia seca por el tenor de nutrientes de cada fracción de la biomasa aérea.

Los valores de extracción de N, P, K, Ca y Mg presentados en este trabajo corresponden a las determinaciones efectuadas en las socas 1, 2 y 3.

El sitio del ensayo presenta un suelo Haplustol típico de textura franca y franco limosa en las profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm respectivamente. El contenido de materia orgánica en los 0-30 cm es inferior al 2%. El pH del suelo es neutro, no es salino ni presenta contenido de carbonatos que puedan afectar el cultivo.

Debido a que el contenido de fósforo disponible se encontraba dentro del rango de respuesta probable a la fertilización (21,6 ppm - Bray Kurtz II), se fertilizó todo el ensayo con Súper fosfato triple aplicando 97 kg de P2O5/ha para todo el ciclo productivo del cañaveral (normalmente 5 años), según la tabla de recomendación vigente.

La caña planta fue regada y no se fertilizó con nitrógeno considerando la falta de respuesta característica de esa edad del cañaveral. Su rendimiento cultural fue 71,3 t/ha. Las 4 socas siguientes se fertilizaron con una dosis de 90 kg N/ha.año, tanto las parcelas regadas (fertirriego) como en secano. En las parcelas fertirrigadas, la dosis se dividió en 3 momentos de aplicación dentro del período recomendado (octubre-noviembre). En las parcelas en secano se hizo una sola aplicación. Para el cálculo del balance de nutrientes de las 3 socas, se consideró como ingreso de nutrientes las fertilizaciones fosfatadas y nitrogenadas en las dosis y oportunidades descriptas previamente, y como salidas la cantidad de nutrientes contenida en los tallos cosechados (extracción) cada año. El resto del material vegetal aéreo permaneció en el campo luego de la cosecha (cosecha en verde), contribuyendo al reciclaje de nutrientes al sistema y por lo tanto no se los considera en el cálculo del balance.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimientos

El rendimiento de la caña planta fue de 71,3 t/ha (con riego) y la producción media de las 4 socas para ambos tratamientos fue de 112,3 t/ha y 83,3 t/ha para riego y secano respectivamente. El riego por goteo produjo un incremento medio de 29 t/ha.año en el rendimiento cultural (35% de incremento promedio). La producción acumulada en el ciclo económico del cañaveral (c. planta y 4 socas) fue de 520,5 t/ha y 404,5 t/ha para riego y secano respectivamente.

Extracción de nutrientes

Los datos medios de extracción de nutrientes de las socas 1,2 y 3 se encuentran resumidos en la Tabla 1.

Según las cantidades extraídas, tanto para riego como secano, podemos ordenar los nutrientes de la siguiente manera: K>N>Ca>P>Mg. Las extracciones fueron mayores en el riego que en el secano. El tratamiento regado extrajo menor cantidad de N por tonelada de caña cosechada.

Tabla 1: Extracción media de nutrientes de la variedad LCP 85-384 en condición de riego por goteo y de secano en O. Pozo, Tucumán. Valores promedios del contenido de nutrientes determinados en tallos molibles de las socas 1, 2 y 3.

LCP 85-384 - Promedio 3 Socas		Extracción de nutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg
Riego por goteo	kg/ha	100,4	15,1	282,6	18,6	14,4
	Kg/t caña	0,88	0,13	2,47	0,16	0,13
Secano	kg/ha	79,0	11,5	202,1	13,3	10,3
	Kg/t caña	0,93	0,14	2,39	0,16	0,12

Los valores medios de extracción de N, P y K resultaron similares a los determinados por Leite *et al.* (2016) en 3 sitios del estado de San Pablo en Brasil, con 3 variedades diferentes en la edad de soca 1, que resultaron de 90, 19 y 266 kg/ha para N, P y K respectivamente. Por otro lado, Almeida de Oliveira *et al.* (2011) trabajando con 11 variedades diferentes, encontraron valores de extracción medios de N, P y K también similares a los de este trabajo.

Balance de Nutrientes

El balance de nutrientes para ambos tratamientos hídricos, considerando las 3 edades de caña soca evaluadas se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2: Balance de nutrientes en caña de azúcar con riego por goteo y en secano para el período Soca1-3, var. LCP 85-384 en Finca Overo Pozo-Tucumán.

Promedio Soca 1, 2 y 3	Kg/ha				
RIEGO	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**
ENTRADAS	270	42,17	0	0	0
SALIDAS	301	45	848	56	43
Balance (kg/ha)	**-31**	**-3**	**-848**	**-56**	**-43**
SECANO	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**
ENTRADAS	270	42,17	0	0	0
SALIDAS	237	35	606	40	31
Balance (kg/ha)	**+33**	**+8**	**-606**	**-40**	**-31**

La tabla señala que los balances aparentes de nutrientes de los tratamientos de riego por goteo son negativos para todos los nutrientes analizados, mientras que en las parcelas a secano los balances de N y P (aportados en parte como fertilizantes) son positivos al cabo de las tres campañas.

Un balance positivo implica que agregamos más nutriente del que se exportó en la cosecha, lo que implicaría un aumento en la reserva de dicho nutriente en el suelo. Sin embargo, debemos recordar que en el caso de un nutriente móvil en el suelo y de muy escaso efecto residual como el nitrógeno, el agregado en exceso suele traducirse en mayores pérdidas por lixiviación, desnitrificación o volatilización, perdiéndose del sistema. En el caso del secano, si consideráramos una alta eficiencia de uso del N del fertilizante, esos +33 kg N/ha del mismo que no fueron exportados en el tallo, podrían encontrarse en otros órganos del cultivo y permanecer en el residuo agronómico de cosecha, adquiriendo cierta residualidad. Sin embargo, la caña de azúcar en general presenta una baja eficiencia de uso del N del fertilizante. Vallis *et al.* (1996) determinó que la urea proveyó solo el 20-40% del N absorbido por la caña en una campaña, por lo que se presume que la mitad o más del N absorbido por la caña de azúcar es provista por la mineralización de la materia orgánica del suelo (Vallis & Keating 1996). Esto significa que una buena parte del fertilizante no es absorbida por el cultivo por diferentes motivos y esa fracción del N agregado no absorbida por el cultivo puede perderse del sistema aún cuando el balance de N diera negativo. Sin embargo, el N del fertilizante juega un rol clave en los estadíos fenológicos iniciales del cañaveral, constituyendo del 40-70% del N total acumulado previo al período de gran crecimiento en la biomasa aérea de la caña de azúcar. Luego, su concentración se diluye y a cosecha representa del 10 al 35% del N

contenido en la parte aérea del cultivo (Franco *et al.*, 2010). Si bien, el fertirriego (riego por goteo) permitiría un mayor aprovechamiento del fertilizante, también incrementa la biomasa, el requerimiento y la extracción de nitrógeno, con lo cuál el aporte de N del suelo seguiría cubriendo al menos el 50% de lo absorbido por el cultivo.

Otro aporte de N para el cultivo es el proveniente de la mineralización de los residuos de cosecha (RAC). Chapman *et al.* (1992) encontró que el 5% del N en el RAC marcado con N15 fue asimilado con la caña de azúcar y Ng Kee Kwong (1987) determinó absorciones del 11-14% del N contenido en el RAC luego de permanecer 18 meses en condiciones de campo. Esta cantidad representaba menos del 10% del total absorbido por la planta.

El aporte del fertilizante debería ser solamente el necesario para abastecer al cultivo durante los primeros meses de crecimiento (primavera seca) cuando todavía el aporte del suelo es deficitario. Dosificaciones superiores podrían derivar en pérdidas significativas de N por lixiviación o por volatilización y una menor eficiencia agronómica de la fertilización. Los balances de N como el aquí calculado, presentan serias limitaciones como herramienta para la toma de decisiones en el manejo de la fertilización. No tienen en cuenta el escaso aprovechamiento del fertilizante por el cultivo y la baja residualidad en el suelo del producto no absorbido, sobreestimando las “entradas”.

En el caso del fósforo, nutriente poco móvil y residual en el suelo, un balance positivo significa un enriquecimiento o reconstrucción progresiva de la reserva del suelo. Sin embargo, recordemos que la dosis que se agregó de SFT de acuerdo a las recomendaciones en vigencia, suponía ser suficiente para 5 cosechas y puede observarse que en 3 años sucesivos ya el balance es prácticamente neutro.

Los balances de K, Ca y Mg son negativos ya que no se agregan mediante fertilización al no ser nutrientes usualmente limitantes de los rendimientos de la caña en Tucumán. El balance de potasio es el más negativo en ambos tratamientos y es el nutriente normalmente absorbido en mayores cantidades por la caña de azúcar. Extracciones de potasio citadas en la bibliografía varían entre 53 y 343 kg K/ha (Miles, 2012). La predominancia de la arcilla “illita”, rica en potasio, en los suelos de Tucumán hace que la fertilización potásica no sea una práctica habitual debido a los altos niveles de disponibilidad del nutriente. Sin embargo, en algunos suelos con texturas gruesas de la zona pedemontana, los contenidos de potasio intercambiables pueden resultar críticos (Romero *et al.*, 2009). En estos casos, repetidos balances negativos de potasio, luego de décadas de producción de caña de azúcar sin fertilización, podrían causar en algún momento una disminución progresiva de la capacidad productiva de dichos lotes.

A modo de ejercicio se propuso estimar el balance de nutrientes para un ciclo completo de un cañaveral (5años), considerando como ingreso de nutrientes la fertilización fosfatada y las 4 fertilizaciones nitrogenadas (misma dosis), considerando que no se fertilizó la caña planta. Las salidas de nutrientes del sistema se estimaron para cada tratamiento tomando la producción acumulada de los 5 años por la extracción media de cada nutriente por tonelada de caña cosechada (Tabla 1). Los resultados de dicho ejercicio se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Balance de nutrientes estimado para un ciclo económico (C. planta y 4 socas) de un cañaveral de LCP 85-384 con riego por goteo y en secano en Finca Overo Pozo, Tucumán.

Caña planta - 4 socas			**Kg/ha**		
RIEGO	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**
ENTRADAS	360	42,17	0	0	0
SALIDAS	456	67,7	1285,6	83,3	67,6
Balance Ap (kg/ha)	**-98**	**-25,5**	**-1285,6**	**-83,3**	**-67,6**
SECANO	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**
ENTRADAS	360	42,17	0	0	0
SALIDAS	376,2	56,6	966,7	64,7	48,5
Balance Ap (kg/ha)	**-16,2**	**-14,5**	**-966,7**	**-64,7**	**-48,5**

Como puede observarse los balances estimados son negativos para todos los nutrientes evaluados y en ambos tratamientos hídricos, aunque cuando se uso el riego por goteo los niveles resultaron más negativos con salidas de nutrientes mayores en 6; 1,7; 1,3;1,3 y 1,4 veces que el secano para N, P, K, Ca y Mg respectivamente.

De acuerdo al balance, las parcelas con riego perdieron 6 veces más nitrógeno en el ciclo que los secanos. A pesar de mostrar una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno (fertirriego), asociado a la mayor biomasa producida, las extracciones fueron mayores. En el caso del N en secano, el balance resulta ligeramente negativo al computarse 5 cosechas pero solo 4 fertilizaciones (no se fertiliza la caña planta). Si se considerara una fertilización con media dosis

para la caña planta, el balance aparente sería neutro a positivo. Sin embargo, independientemente, deben recordarse las consideraciones hechas para este nutriente.

El balance de **P** para los 5 años, resultó negativo en ambos manejos hídricos. Aunque más evidente en el regado, la fertilización inicial de base resultó insuficiente para mantener un balance neutro luego de 5 cosechas. Por lo tanto, si quisiéramos mantener los niveles de P en el suelo o mejorarlos, probablemente la dosis de fertilizante debiera incrementarse.

Es importante remarcar que estos datos de extracción y los balances efectuados provienen de cañaverales cosechados en verde, permaneciendo sobre el suelo todo el residuo de cosecha, contribuyendo al reciclaje de nutrientes al sistema y por lo tanto no considerados en el cálculo del balance.

Información derivada de este estudio, que aquí no se presenta, señala que en la biomasa residual a la cosecha (RAC) se encontraba el 48%, 33%; 35%, 72% y 50% del total del N, P, K, Ca y Mg cuantificados en la biomasa aérea. Por lo tanto, de efectuar la quema del cañaveral previo a la cosecha, o la de los rastrojos luego de ésta (prácticas usadas frecuentemente hasta no hace mucho tiempo) o la extracción total o parcial del RAC con fines de aprovechamiento energético, implicaría que las salidas de nutrientes del sistema serían significativamente mayores a las consideradas en este trabajo, generando balances mucho más negativos a los aquí estimados, a lo que debería agregarse la pérdida de C orgánico y el no aprovechamiento de todas las ventajas agronómicas que brinda la cobertura del suelo.

Una agricultura sustentable debería considerar el balance de nutrientes de los lotes. En situaciones de alta disponibilidad de nutrientes en los suelos, estos balances podrán ser negativos por determinado tiempo, pero debe monitorearse periódicamente la disponibilidad en los suelos y analizar cómo impactan. En la medida en que nos acercamos a niveles de disponibilidad críticos para los cultivos, los balances deberán ser neutros o positivos (Ciampitti *et al.*, 2008). Los nutrientes aplicados que no son absorbidos por el cultivo en una campaña (balance positivo), no son necesariamente perdidos del sistema sino que podrán ser utilizados por los cultivos en la campaña siguiente (residualidad). Esto ocurre especialmente con el P y el K pero en algunas situaciones también se han observado residualidades de N, inmovilizado en la materia orgánica y posteriormente liberado con el transcurso del tiempo. Los balances positivos de nutrientes con residualidad permitirán recuperar situaciones de baja disponibilidad de los mismos. La residualidad de los nutrientes depende fuertemente de la dinámica que tienen en el sistema suelo-planta y de las condiciones edafo-climáticas, por lo que estos factores deben ser evaluados cuidadosamente al considerar posibles efectos residuales de las aplicaciones de fertilizantes(García *et al.*, 2013).

CONCLUSIONES

La extracción de nutrientes de la variedad LCP 85-384 con riego por goteo y en secano fue de 100, 15, 283, 19 y 14 kg/ha y de 79, 11, 202, 13, y 10 kg/ha de N, P, K, Ca y Mg respectivamente.

Los balances de nutrientes estimados para un ciclo completo de 5 años fueron negativos para ambos tratamientos pero la magnitud de las pérdidas fue marcadamente superior en el tratamiento con riego por goteo.

El conocimiento de las dinámicas de absorción, los requerimientos y las extracciones de las diferentes variedades de caña de azúcar utilizadas en la región y los balances de nutrientes son un paso importante en el avance hacia una nutrición balanceada y una producción de caña más sustentable, que permita mantener o incrementar la producción con una mayor eficiencia en el uso de los recursos y manteniendo la fertilidad de los suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida de Oliveira, EC; F Freire; RI de Oliveira; A Campelo de Oliveira & MB Galvao dos Santos Freire. 2011. “Acúmulo e alocacao de nutrientes em cana de acucar.” Revista Ciencia Agronómica, v 42, n. 3, p. 579-588.
- Champan, LS; MBC Haysom & PG Saffigna. 1992. N cycling in cane fields from ^{15}N labelled trash and residual fertiliser. Aust. Soc. Sug. Cane Technol. 14: 84-89.
- Ciampitti, I & F García. 2018. Balance y eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agrícolas. Revista Horizonte A. Año IV, Nº 18: 22-28. Buenos Aires, Argentina.
- Franco, HCJ; PCO Trivelin; R Otto; CE Faroni; AC Vitti & ECA Oliveira. 2010. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. Vol. 27.
- García, F. 2003. Balance de nutrientes en la rotación: impacto en rendimientos y calidad de suelo. Segundo Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa organizado por AAPRESID, Fertilizar e INPOFOS Cono Sur. Rosario, Santa Fe, Argentina. 26-29.

- García, F & M Gonzalez Sanjuan. 2013. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica IAH 9. International Plant Nutrition Institute. www.ipni.net
- Kee Kwong, NF; J Deville; PC Cavalot & V Riviere. 1987. Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane. Plant and Soil 102: 79-83.
- Leite, JM; IA Ciampitti; E Mariano; M Vieira-Megda & P Trivelin. 2016. Nutrient Partioning and Stochiometry in Unburnt Sugarcane Ratoon at Varying Yield Levels. Frontiers in Plant Science. Volume 7. Article 466 (www.frontiersin.org).
- Miles, N. 2012. Potassium requirements and soil acidity management for sugarcane. FSSA Journal: 39-45.
- Romero, ER, J Scandaliaris, L Sotomayor & L Alonso. 2003. Resultados de la primera experiencia de riego por goteo en caña de azúcar en Tucumán, Argentina. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán. 80 (1-2): 5-9.
- Romero, ER; L Alonzo; S Casen; MF Leggio; J Tonatto; J Scandaliaris; P Digonzelli; J Giardina; J Fernandez de Ulivarri. 2009. En Fertilización de la caña de azúcar. Editores: Romero, E.R.; Digonzelli, P.y Scandaliaris, J. Manual del Cañero. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Tucumán, Argentina.
- Soria, F; C Fandos; P Scandaliaris & Javier Carreras Baldrés. 2017. Relevamiento satelital de los principales cultivos de la provincial de Tucumán. Campaña 2015/2016. www.eeaoc.org.ar.
- Vallis, I; VR Catchpoole, RM Hughes, RJK Myers, DR Ridge & KL Weier. 1996. Recovery in plants and soils of 15N applies as subsurface bands of urea to sugarcane. Aust. J. Agric. Res. 47(3) 355-370.
- Vallis I & BA Keating. 1996. Uptake and loss of fertilizer and soil nitrogen in sugarcane crops. Sugar cane 2: 12-16.

C3P73. PARTICIÓN DE BIOMASA Y NUTRIENTES EN CAÑA DE AZÚCAR CON RIEGO POR GOTEO Y SECANO

Romero, Juan Ignacio; Sanzano, Agustín y Romero, Eduardo Raúl.
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Tucumán. Argentina. jiromero@eeaoc.org.ar

RESUMEN

La caña de azúcar tiene gran capacidad de producción de biomasa, alcanzando en Tucumán rendimientos de 100-150 t/ha en secano y con riego por goteo respectivamente. El patrón de partición de biomasa entre el tallo molible, las hojas y el despunte varía según el nivel productivo, la variedad, época de cosecha y manejo agronómico. El residuo vegetal resultante de la cosecha sin quema (RAC) cumple un rol clave en la sustentabilidad del sistema. En términos de ciclado de nutrientes, el principal interés radica en la distribución de nutrientes en la planta. La partición final de nutrientes tiene un rol importante ya que define la exportación (tallo molible) y el reciclado de los mismos (RAC). El riego por goteo permite incrementos en la biomasa y absorción de nutrientes y probablemente modifique su patrón de partición. El objetivo de este trabajo fue determinar la partición final de biomasa y nutrientes en la variedad LCP 85-384 en condición de secano y con riego por goteo. La biomasa aérea producida con riego por goteo fue 42% superior a la producida en secano. La partición de biomasa fue 67,2 y 60,8% a tallo molible, 10,4 y 15% a despunte y 22,4 y 24,3% a hojas del tallo, para riego y secano respectivamente. En orden decreciente, el requerimiento de nutrientes de la parte aérea fue K>N>Ca>Mg>P, mientras que la extracción (tallo molible) fue K>N>Ca>P≥Mg. La partición de nutrientes al tallo molible fue 52% del N y 66% del P, valores repetidos en los dos tratamientos, mientras que para los otros nutrientes fue 66 y 62,8% del K, 30 y 26% del Ca, y 54 y 45% del Mg, para riego y secano respectivamente. El riego por goteo incrementó la cantidad de nutrientes absorbidos y exportados, sin modificar sustancialmente la partición de los nutrientes evaluados, la cual estuvo asociada a la movilidad de los mismos.

Palabras clave: reciclaje de nutrientes, extracción de nutrientes, sustentabilidad.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es una especie C4 con gran capacidad de producción de biomasa, alcanzando en Tucumán producciones de 100 y 150 toneladas de caña/ha en condiciones de secano y con riego por goteo respectivamente (Romero *et al.*, 2017). El patrón de partición de la biomasa aérea (tallo molible, hojas, despunte) puede variar en función del nivel productivo del cañaveral, la variedad, la época de cosecha y el manejo agronómico. Bibliografía local e internacional cita valores de partición al tallo molible que varían entre 55% a 80% de la biomasa aérea (Romero *et al.* 1995; Inman-Bamber, 2002). El residuo vegetal resultante de la cosecha sin quema (residuo agronómico de cosecha o RAC) cumple un rol clave en la sustentabilidad del sistema. El RAC, que para las condiciones de Tucumán ha sido estimada entre 7 t y 16 t de materia seca/ha (Romero *et al.*, 2009), puede quedar esparcido sobre el campo como cobertura, ser incorporado en los primeros centímetros del perfil o retirarse total o parcialmente utilizando, por ejemplo, máquinas enfardadoras. Mantener los residuos de la cosecha sobre el suelo produce efectos benéficos como los siguientes: aumenta el contenido de materia orgánica y la estabilidad estructural del suelo, favorece la conservación de la humedad edáfica, reduce la erosión, disminuye la temperatura del suelo en los primeros centímetros de profundidad, aumenta la población de microorganismos benéficos, disminuye la infestación de malezas, permite reducir las labores culturales y permite el reciclado de una considerable cantidad de nutrientes (Medina *et al.*, 2016).

La partición de los nutrientes no necesariamente sigue el mismo patrón que la biomasa. En términos de ciclado de nutrientes, el principal interés radica en la distribución de nutrientes dentro de la planta, más que el de la biomasa. El patrón final de partición de nutrientes tiene un rol importante ya que define la exportación (cantidad alojada en el órgano cosechado) y el reciclado de los mismos (Rubio *et al.*, 2007).

A nivel nacional y local, son muy escasos los estudios de requerimiento y partición de nutrientes en el cultivo, aspectos claves para poder avanzar hacia un manejo más sustentable del suelo y el agroecosistema cañero.

Recientemente se inició la adopción de la tecnología de riego por goteo en algunas explotaciones cañeras de Tucumán, la cual permite alcanzar mayores rendimientos y mejorar la eficiencia en el uso de los nutrientes (Romero *et al.*, 2017). Resulta importante corroborar y cuantificar dichos cambios para, por ejemplo, estimar variaciones en el balance de nutrientes y poder ajustar la fertilización.

Existen evidencias científicas de las distintas variedades de caña de azúcar, ante iguales condiciones edafoclimáticas, presentan diferencias en la cantidad de nutrientes requeridas y exportadas (Almeida de Olveira, 2011). El

conocimiento de estas diferencias permitiría adaptar las demandas nutricionales de los cultivares a las ofertas de nutrientes de los diferentes suelos y así contribuir a la sustentabilidad de los sistemas productivos.

El objetivo de este trabajo fue determinar la partición de biomasa y nutrientes en la variedad de caña de azúcar LCP 85-384 en condición de secano y con riego por goteo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo está ubicado en la finca Overa Pozo sobre una Soca 1 de la variedad LCP85-384, plantada a 1,8 m entre surcos (55,5 surcos/ha). Esta variedad ocupa hoy alrededor del 80% del área cañera tucumana (Ostengo *et al.*, 2015). Se evalúan dos tratamientos (riego por goteo vs secano) con 5 repeticiones en un diseño totalmente aleatorizado en franjas. Durante el ciclo de caña planta, todas las parcelas fueron regadas por goteo y recién luego del primer corte fueron establecidas las parcelas de secano. Las parcelas individuales son de 6 surcos de frente por 46 m de largo dentro de los se marcó una subparcela de 10 m para la evaluación de la población de tallos y los muestreos destructivos en cada cosecha para determinación de los rendimientos culturales y de la materia seca y concentración de nutrientes de los diferentes órganos aéreos del cultivo.

El sitio del ensayo presenta un suelo de textura franca y franco limosa en las profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm respectivamente. El contenido de materia orgánica en los 0-30 cm era inferior al 2%. El pH del suelo es neutro, no es salino ni presenta contenido de carbonatos que puedan afectar el cultivo. El contenido de fósforo disponible fue 21,6 ppm (Bray Kurtz II), por lo que se fertilizó todo el ensayo con Súper fosfato triple aplicando 97 kg de P2O5/ha para todo el ciclo productivo del cañaveral (normalmente 5 años), según la tabla de recomendación vigente.

Las cañas socas (1, 2, 3) se fertilizaron con una dosis de 90 kg N/ha*año, tanto las parcelas regadas (fertirriego) como en secano. En las parcelas con fertirriego dicha dosis se dividió en 3 momentos de aplicación dentro del período recomendado. En las parcelas en secano se hizo una sola aplicación.

La estimación del rendimiento cultural se realiza a partir del nº de tallos molibles por metro lineal de surco (promedio de tres conteos de 10 m por parcela) por el peso fresco promedio de los tallos producto de los muestreos destructivos. Cada muestra destructiva consiste de 20 tallos consecutivos. A cosecha, se toma una muestra de cada parcela, y se procedió a su separación en hojas verdes, hojas secas, tallo molible y despunte con la determinación del peso fresco de cada uno. El despunte se separa tomando como criterio el punto de quiebre natural. El mismo se separa en su componente foliar y caulinar (tallos inmaduros). El tallo molible es la fracción de tallo remanente una vez separado el despunte. A su vez, las hojas del tallo molible también se separan en verdes y secas. Luego, una submuestra de cada una de las anteriores se seca en estufa (65°C) para su posterior determinación de materia seca y contenido total de N, P y K en el laboratorio de Suelos y de Ca y Mg en el laboratorio de Química de la EEAOC.

El nitrógeno (N) se extrajo por digestión sulfúrica, y se determinó por digestión-destilación (Kjendhal). Los demás nutrientes se extrajeron por calcinación y se determinaron los contenidos de fósforo (P) por colorimetría en cenizas totales, de potasio (K) por fotometría en cenizas totales, y de calcio (Ca) y magnesio (Mg) por espectrofotometría de absorción atómica. La cantidad de nutrientes absorbidos por la planta se cuantifica multiplicando la materia seca por el tenor de nutriente determinados en cada parte de la planta.

Los valores de biomasa, rendimientos y contenido de N, P, K, Ca y Mg presentados en este trabajo surgen del análisis de muestras extraídas durante las socas 1, 2 y 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento promedio de las 3 socas sucesivas, para ambos tratamientos fue de 114,3 t/ha y 84,5 t/ha para riego y secano respectivamente. El riego por goteo produjo un incremento promedio de 30 t/ha del rendimiento cultural (35% de incremento promedio), siendo similar a los resultados de Romero (2017).

La biomasa aérea producida (Tabla 1) en el tratamiento con riego por goteo fue en promedio 42% superior a la producida en el tratamiento en secano. El tratamiento con riego particionó el 67,2% de la biomasa hacia los tallos molibles; 10,4% al despunte y un 22,4% entre hojas verdes y secas. El tratamiento en secano destinó el 60,8% a tallo molible; 15% a despunte y 24,3% entre hojas verdes y secas.

Tabla 1: Partición de biomasa aérea de la variedad LCP85-384 con riego por goteo y en secano.

Promedio Soca 1-2-3	Órgano	Biomasa (t/Ha)	Biomasa (%PS)
Riego	**Tallos molibles**	**31,1**	**67,2**
	Tallos inmaduros	**1,6**	**3,5**
114,3 t/ha	Hojas Despunte	**3,2**	**6,9**
	Hojas Verdes	**4,3**	**9,3**
	Hojas Secas	**6,1**	**13,1**
	Total Parte Aérea	**46,3**	**100,0**
Secano	**Tallos molibles**	**19,8**	**60,8**
	Tallos inmaduros	**2,8**	**8,6**
84,5 t/ha	Hojas despunte	**2,1**	**6,4**
	Hojas Verdes	**3,3**	**10,3**
	Hojas Secas	**4,6**	**14,0**
	Total Parte Aérea	**32,6**	**100,0**

Se observa cómo la mejor condición hídrica del cultivo con riego permitió construir una mayor biomasa aérea y además optimizar su partición hacia los tallos molibles (índices de cosecha de 67% y 61% para riego y secano respectivamente). Los valores de partición de biomasa al tallo molible se encuentran dentro del rango citado por la bibliografía (Romero, 1995; Inman-Bamber, 2002).

Asociado a lo anterior, se observa una partición diferencial de biomasa hacia los tallos inmaduros del despunte, donde el tratamiento en secano superó al regado en un 5% de la biomasa aérea total.

Podemos observar que la partición a material foliar fue similar entre los tratamientos de riego y secano. La separación de la fracción inmadura de los tallos sigue un criterio técnico-económico de no procesar caña con bajo contenido de sacarosa y alto de azucares reductores o no azucares que dificultan la recuperación de azúcar. Las mejores condiciones hídricas desde inicios del ciclo, generaron un mayor ritmo de crecimiento y un adelanto fenológico, que permitió construir mayor biomasa y una mayor cantidad (t/ha) y proporción (%) de entrenudos maduros por tallo al momento de la cosecha.

Luego de la cosecha (sin quema), los residuos vegetales (RAC: hojas y despuntes) fueron aproximadamente 15,2 t/ha y 12,8 t/ha para los tratamientos con riego por goteo y en secano respectivamente. El aporte fue un 19% mayor en el tratamiento regado.

En la Tabla 2 se muestra la cantidad de nutrientes determinados en los componentes de la biomasa aérea de la variedad LCP 85-384. Valores medios de 3 socas.

Tabla 2: Partición de nutrientes en los diferentes componentes de la biomasa aérea de la var. LCP 85-384. Valores promedio de las determinaciones realizadas al momento de cosecha de las socas 1, 2 y 3 para N, P, K, Ca y Mg.

		Cantidad de nutriente absorbida (Kg/Ha)					Porcentaje sobre el total absorbido				
Promedio Soca 1-2-3	**Órgano**	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**N%**	**P%**	**K%**	**Ca%**	**Mg%**
Riego	**Tallo molible**	**100,4**	**15,1**	**282,6**	**18,6**	**14,4**	**52,2**	**66,4**	**66,3**	**30,2**	**53,6**
	Tallos inmad	**3,3**	**0,8**	**11,0**	**1,0**	**0,9**	**1,7**	**3,5**	**2,6**	**1,6**	**3,5**
	Hojas despunte	**39,9**	**3,4**	**67,0**	**8,5**	**3,5**	**20,8**	**14,9**	**15,7**	**13,7**	**12,8**
	Hojas Verdes	**23,5**	**1,8**	**35,5**	**9,9**	**2,6**	**12,2**	**8,0**	**8,3**	**16,0**	**9,7**
	Hojas Secas	**25,2**	**1,6**	**30,4**	**23,7**	**5,5**	**13,1**	**7,1**	**7,1**	**38,4**	**20,4**
	Tot Parte Aérea	**192,3**	**22,7**	**426,6**	**61,7**	**27,0**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Secano	**Tallo molible**	**79,0**	**11,5**	**202,1**	**13,3**	**10,3**	**52,4**	**66,5**	**62,8**	**26,1**	**45,5**
	Tallos inmad	**3,1**	**0,4**	**9,7**	**1,0**	**1,2**	**2,1**	**2,1**	**3,0**	**2,0**	**5,3**
	Hojas despunte	**31,0**	**2,6**	**53,0**	**7,2**	**3,1**	**20,6**	**14,9**	**16,5**	**14,2**	**13,9**
	Hojas Verdes	**17,7**	**1,3**	**24,5**	**7,6**	**2,3**	**11,8**	**7,6**	**7,6**	**14,9**	**10,1**
	Hojas Secas	**19,9**	**1,5**	**32,4**	**21,8**	**5,7**	**13,2**	**8,9**	**10,1**	**42,8**	**25,2**
	Tot Parte Aérea	**150,8**	**17,3**	**321,7**	**50,9**	**22,6**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

En la Tabla 2 puede observarse por un lado, que tanto las cantidades de nutrientes absorbidas como las extraídas en los tallos fueron mayores en el cultivo regado respecto al cultivo en secano. Sin embargo, en general, el patrón de partición de nutrientes en los diferentes órganos fue similar para ambos tratamientos.

En el caso del N, el tratamiento con riego extrajo en los tallos un 27% más de este nutriente que el secano. Si recordamos lo observado en la Tabla 1, la partición de biomasa para tallo molible fue de 67% y 61% para riego y secano respectivamente, sin embargo la partición de N para este destino fue prácticamente la misma (52%) para ambos regímenes hídricos.

En el caso del P la situación es similar. La cantidad absorbida fue un 31% mayor en el regado pero la proporción de P destinada a los tallos molibles fue la misma en ambos tratamientos (66%).

El K y el Mg, presentaron también una importante partición hacia el tallo molible, concentrando en el mismo, en ambos tratamientos hídricos, alrededor del 65% y 50% del total acumulado en la parte aérea.

En contraste con los anteriores, solamente el 26-30% del Ca de la parte aérea se concentró en el tallo molible. Su mayor acumulación (alrededor del 40%) se determinó en las hojas secas.

Este comportamiento está directamente asociado a la movilidad de los nutrientes en la planta, donde N, P, K y Mg son nutrientes móviles (con capacidad de ser retranslocados) mientras que el Ca es altamente inmóvil.

Si ordenamos los nutrientes en orden decreciente en función de las cantidades en que son absorbidos por el cultivo tenemos que K>N>Ca>Mg>P; mientras que si hacemos lo mismo para la extracción de nutrientes (tallo molible) tenemos K>N>Ca>P≥Mg. El cambio de orden entre P y Mg se debe a un mayor índice de cosecha (IC) del fósforo. Vinicius da Silva y col. (2018), trabajó con 4 variedades y observó el mismo orden de requerimiento de estos nutrientes en las dos primeras socas.

Leite *et al.* (2016), trabando a la edad de soca 1 con 3 variedades en tres sitios, reportó valores promedio de 197, 32 y 469 kg/ha y 90, 19 y 266 kg/ha para N, P y K en biomasa aérea y en tallo molible respectivamente. Almeida de Oliveira (2011), reportó para caña con riego contenidos de 179, 25 y 325 kg/ha de N, P y K respectivamente en la biomasa aérea.

Un dato importante de destacar es que en el RAC de LCP 85-384 se encuentra el 47,8 % del N, el 33,5% del P, del 34 al 37% del K, del 70 al 74% del Ca y del 45 al 54% del Mg del total absorbido por el cultivo tanto para riego como en secano. Dentro de los componentes del RAC, los mayores contenidos de nutrientes (kg/ha) se encuentran en las hojas del despunte, para N, P y K, y en las hojas secas para Mg y especialmente Ca. Claramente el mantenimiento de ese residuo, ya sea en superficie (que genera además otros beneficios) o incorporado en el suelo, tendrá un impacto más que considerable en el balance de nutrientes, en el balance de carbono y así en la sustentabilidad del sistema.

La eliminación de la práctica de la quema asociada a la cosecha de la caña de azúcar es sin duda un paso muy importante en el avance hacia un sistema de producción de caña sustentable, con un menor impacto ambiental y más amigable con las poblaciones vecinas.

CONCLUSIONES

El riego por goteo aumentó la biomasa construida y modificó su partición al incrementar la proporción de tallos molibles minimizando la incidencia de porciones inmaduras de tallo. El riego, por lo tanto, incrementó el índice de cosecha.

El riego por goteo incrementó la cantidad de nutrientes absorbidos y exportados pero sin modificar sustancialmente la distribución o partición de los 5 nutrientes evaluados. La partición de N y P presentó valores muy similares en ambos tratamientos, mientras que la de los restantes nutrientes evaluados se vió ligeramente modificada por efecto del riego, observándose mayores particiones de K (+3,5%), Ca (+4,1%) y Mg (+8,1%) hacia los tallos molibles en el tratamiento regado.

La partición de nutrientes analizados estuvo asociada a la movilidad de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida de Oliveira, EC; JF Freire; RI Oliveira; AC Oliveira & MB Galvao dos Santos Freire. 2011. Acúmulo e alocacao de nutrientes em cana de acucar. Revista Ciencia Agronómica 42 (3): 579-588.
- Da Silva, VSG; MW de Oliveira; VM Ferreira; TBA Oliveira; E Galvao; AF da Silva & PAS Machado. 2018. Nutritional Requirement of Sugarcane Cultivars. J. Agric. Sci. 10 (4): 361-369.
- Inman-Bamber. 2002. Aspects of dry matter partitioning in sugarcane. Proc S Afr Sug Technol Ass. 76: 235-239.
- Leite, J.M; IA Ciampitti; E Mariano; M Vieira-Megda & PCO Trivelin. 2016. Nutrient Partitioning and stoichiometry in unburnt sugarcane ratoon at varying yield levels. Front. Plant Sci. 7 (466): 1-14.
- Medina, M; J Fernandez de Ulivarri; FA Sosa; P Digonzelli; AA Criado; FJ Pérez Alabarse & LM Romero. 2016. Resultados preliminares sobre el efecto del residuo agrícola de cosecha en verde de la caña de azúcar (RAC) sobre los componentes del rendimiento cultural y la producción de caña bajo riego. Libro de resúmenes XX Reunión Técnica Nacional de Caña de Azúcar (SATCA). Área Agrícola. Tucumán, Argentina. Trabajo Nº43: 6-8.
- Ostengo, S, MA Espinosa; JV Díaz; ER Chavanne; DD Costilla & MI Cuenya. 2015. Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas al cultivo de la caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2013/2014. Gacetilla Agroindustrial 78: 3-17.
- Romero, ER; I Olea & J Scandaliaris. 1995. Evaluación de diferentes factores que afectan el contenido porcentual de hojas y despunte de la caña de azúcar. Rev. Ind. y Agric. de Tucumán 72 (1-2): 5-9.
- Romero, ER; J Scandaliaris; PA Digonzelli; LG Alonso; F Leggio; JA Giardina; SD Casem; MJ Tonatto & J Fernandez de Ulivarri. 2009. Effect of variety and cane yield on sugarcane potential trash. Rev. Ind. y Agric. de Tucumán 86 (1): 9-13.
- Romero ER; A Sanchez Ducca; J Giardina; P Digonzelli; F Leggio; J Ullivarri; J Tonatto; JI Romero; F Sosa. 2017. Capacidad productiva de diferentes diseños de plantación en condiciones de riego por goteo y secano de caña de azúcar en Tucumán, Argentina. MEMORIAS XIV Congreso Internacional de azúcar y derivados, Diversificación 2017 y el XXIII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM). La Habana, Cuba.
- Rubio, G; J Scheiner; M Taboada & R Lavado. 2007. Distribución de nitrógeno, fosforo y azufre en un cultivo de colza: efectos sobre el ciclado de nutrientes. Ciencia del Suelo 25 (2): 189-194.

C3P74. USO DEL CLOROFILÓMETRO PARA DETERMINAR LA DOSIS OPTIMA ECONÓMICA DE NITRÓGENO EN MAÍZ

Sainz Rozas, Hernán [1,2*]; Reussi Calvo, Nahuel I.[1,2,3] y Barbieri, Pablo[1,2]

[1]Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Ruta Nac. 226 km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. [2]CONICET. [3]Fertilab, Ruta 226, km 73,5, (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
*Autor de contacto: sainzrozas.hernan@inta.gob.ar . Unidad Integrada Balcarce. Ruta Nac. 226 km 73,5. Balcarce. Argentina.

RESUMEN

En la actualidad los modelos de diagnóstico de nitrógeno (N) en maíz no contemplan la incidencia de la relación insumo:producto. El objetivo fue evaluar la utilidad del clorofilómetro SPAD 502 para monitorear el estatus nitrogenado del maíz y definir la dosis óptima económica (DOE) en diferentes momentos del ciclo. Se realizaron 14 experimentos de fertilización nitrogenada en el sudeste bonaerense (SEB). Se determinó el índice de verdor con el SPAD 502 (SPAD) en los estadios de 6 y 10 hojas completamente expandidas (V6 y V10). Para ambos momentos se calculó el ISN como el cociente entre un determinado valor y el valor promedio de la máxima dosis de N. El déficit o exceso de N respecto de la DOE (dDOE) se calculó como la DOE menos la dosis de N aplicada. El rendimiento varió entre 4160 y 14035 kg*ha^{-1} según experimento y dosis de N. Se determinó relación significativa entre ISN y dDOE en V6 y V10, siendo el r^2 mayor para V10 (0,28 vs 0,67). El valor de ISN asociado a una dDOE=0 fue de 0,97 y 0,98 (para V6 y V10, respectivamente). Esta información permite realizar el monitoreo del estatus nitrogenado del cultivo y eventualmente refertilizar para complementar aplicaciones tempranas e insuficientes de N, justo en el momento en que la demanda del cultivo es elevada. Esto minimiza las pérdidas de este nutriente disminuyendo el impacto ambiental de la fertilización e incrementa el retorno económico de la misma.

Palabras claves: diagnóstico, planta, índice de suficiencia.

INTRODUCCIÓN

Para el cultivo de maíz se ha propuesto el análisis de nitrato en suelo al momento de la siembra o de V6 (Ritchie & Hanway, 1982) junto con un índice de mineralización (N-NH_4^+ producido en incubaciones anaeróbias de 7 días, i.e, Nan) como metodología para evaluar la disponibilidad de nitrógeno (N). Sin embargo, en el SEB, dicha metodología de diagnóstico explica una proporción variable (r^2 0,26-0,69) del rendimiento de cultivos de maíz sin N, y/o de la respuesta al agregado del mismo (Orcellet *et al*., 2016). Esto podría ser debido al efecto que tienen las variables edafoclimáticas y de manejo sobre procesos que regulan la demanda de N del cultivo y las pérdidas y ganancias del mismo desde el sistema suelo (lavado, desnitrificación y mineralización e inmovilización). En este sentido, los suelos del SEB tienen elevados contenidos de materia orgánica (Sainz Rozas *et al*., 2011) y potencial de mineralización (Orcellet *et al*., 2016), pero las temperaturas son subóptimas para dicho proceso durante las etapas iniciales del cultivo (Orcellet *et al*., 2016). Por otra parte, en esta zona en general se registran excesos hídricos al comienzo del ciclo cultivo que pueden generar pérdidas del N edáfico o del fertilizante (Sainz Rozas *et al*., 2004). Además, también es frecuente que se produzcan deficiencias hídricas durante el período crítico de fijación de granos (mes de enero), las cuales, dependiendo de su magnitud y duración, afectan el rendimiento y la demanda de N (Calviño & Monzon, 2009). En este sentido, Pagani *et al*. (2008) informaron que el r^2 de la relación entre rendimiento y N disponible (suelo+fertilizante) mejoró cuando el conjunto de datos fue segregado según disponibilidad hídrica (años promedio, por debajo y por encima del mismo). Dichos autores también concluyeron que el efecto año fue más importante sobre la dosis optima económica (DOE) que la relación insumo producto.

Este panorama determina la necesidad de contar con metodologías de diagnósticos no destructivas basadas en el análisis de planta que permitan corregir aplicaciones tempranas de N, ya que la planta es un mejor integrador de los procesos que regulan la oferta y demanda de N. Al mismo tiempo, si el diagnóstico puede realizarse en estadíos más cercanos al período crítico del cultivo, el mismo tendría la ventaja de permitir una mejor evaluación de la conveniencia o no de refertilizar con N según el contenido de agua en el suelo y el pronóstico de lluvias a corto plazo.

Existe una amplia gama de sensores de transmitancia y refractancia que permiten caracterizar, de forma rápida y no destructiva el estatus nitrogenado del cultivo, siendo éstos una alternativa superadora y/o complementaria a los métodos de diagnóstico basados en determinaciones de suelo. Uno de los más difundidos es el medidor de clorofila Minolta SPAD® 502. Este se basa en la estrecha relación que existe entre la intensidad del color verde de la hoja o índice

de verdor (IV) y el contenido de clorofila y, entre ambos y la concentración de N en hoja (Waskom, 1996). No obstante, el IV presenta el inconveniente de estar afectado por numerosos factores tales como el genotipo, el estado de crecimiento del cultivo, las enfermedades, la disponibilidad hídrica, otros nutrientes, etc. (Blackmer & Schepers, 1995; Hawkins, *et al*., 2007). Por lo tanto, para minimizar los errores ocasionados por dichos factores se recomienda relativizar las mediciones de SPAD con áreas de referencia sin limitaciones de N (Hawkins, *et al*., 2007; Barker & Sawyer, 2010; Reussi Calvo *et al*., 2015). A partir de las lecturas de SPAD en las áreas de referencia se determina un índice de suficiencia de N (ISN), que surge del cociente entre el IV del lote y el IV del área sin limitaciones nutricionales.

Para el cultivo de maíz se ha informado que el medidor de clorofila permite un adecuado diagnóstico del estatus nitrogenado del cultivo, particularmente luego de V6 (Sainz Rozas & Echeverría, 1998; Barbieri *et al*., 2013). Si bien el análisis de muestras de suelo en presiembra o al estadío de V6 permite realizar una primera aproximación a la estimación de la dosis a aplicar (Orcellet *et al*., 2016), el uso del medidor de clorofila durante estadíos reproductivos tempranos permite el monitoreo del estatus nitrogenado del cultivo, posibilitando aplicaciones correctivas de N en un momento en que la demanda del mismo es elevada y las pérdidas de N son bajas, lo cual incrementaría la eficiencia de uso de N (EUN). En este sentido, Bonelli *et al*. (2017) y Mueller *et al*. (2017) informaron respuesta a la fertilización nitrogenada y EUN similares o superiores para aplicaciones de N en V10 o divididas entre siembra y V12, respecto a aplicaciones completas de N al momento de la siembra o al estadio de V6.

Para el SEB no existe información respecto a la capacidad del ISN para definir la dosis óptima económica (DOE) de N para un set de datos que incluya años, variabilidad en la disponibilidad de N edáfico y condiciones de manejo (riego-secano). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la utilidad del SPAD para monitorear el estatus nitrogenado del maíz y definir la DOE para diferentes momentos del ciclo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre las campañas 1995/96 y 2012/13 se realizaron 14 experimentos de fertilización nitrogenada en maíz bajo siembra directa en el SEB (partidos de Gral. Alvarado, Lobería y Balcarce). En todos los experimentos el diseño fue en bloques completos aleatorizados con 3 a 4 repeticiones y la dosis aplicada varió con el sitio. La fuente de N utilizada fue urea (46-0-0) y se aplicó al voleo en cobertura total a la siembra o en una hoja. El tamaño de la unidad experimental fue de 4 m de ancho por 12 a15 m de largo. Se aplicó a la siembra una dosis de 20 kg ha^{-1} de fósforo y 20 kg ha^{-1} de azufre para que no limiten el crecimiento. Se sembraron híbridos de ciclo intermedio adaptados a la zona y las fechas de siembras fueron entre el 15/10 y el 10/11. Las densidades de siembra variaron entre 70.000 y 80.000 plantas ha^{-1} y se controlaron malezas con herbicidas recomendados. En ningún experimento se realizó aplicación de fungicidas. En algunos experimentos (1, 2, 3, 5 y 9) se aplicó riego suplementario durante el período crítico y la lámina de riego varió de 100 a 220 mm.

A la siembra del cultivo se realizaron muestreos de suelo en superficie (0-20 cm) para determinar el contenido de materia orgánica (MO), pH y $N\text{-}NH_4^+$ producido en anaerobiosis (Nan), y en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm) para $N\text{-}NO_3^-$. La concentración de N- $N\text{-}NO_3^-$ se extrajo con KCl y se determinó por colorimetría (Keeney & Nelson, 1982). La MO se determinó por el método Walkley & Black (1933) y el pH en relación 1:2,5 (suelo-agua). El Nan se determinó según la metodología descripta por Echeverría *et al*. (2000). Los datos de estas variable por experimento son mostrados en la Tabla 1.

Se realizaron mediciones con SPAD en los estadíos de V6 y V10, tomando la lectura de 20 plantas por parcela a la mitad de la distancia entre la base y el ápice, y a la mitad de la distancia entre el borde y el nervio medio de la hoja. Para cada momento, se calculó el ISN como el cociente entre IV de un determinado tratamiento y el IV promedio del tratamiento sin limitaciones de N (máxima dosis de cada experimento). En madurez fisiológica se cosecharon las parcelas de forma manual y se trillaron empleando una trilladora estacionaria. Se determinó el rendimiento (expresado al 14,5% de humedad).

Las diferencias entre tratamientos sobre las variables rendimiento fueron evaluadas mediante análisis de la varianza (ANOVA) con el paquete estadístico R. Las diferencias entre medias de tratamiento se evaluaron usando el Test de Tukey ($P<0,05$). Además, algunas variables fueron evaluadas por regresión. En cada experimento se ajustó el modelo de respuesta a N que presentó el mayor valor de r^2 y el menor cuadrado medio del error. Cuando el r^2 fue similar entre dos modelos de respuesta se optó por el cuadrático-plateau (CP), dado que es el más racional desde el punto de vista agronómico (Pagani *et al*., 2008; Barker & Sawyer, 2010). Se determinó la DOE para cada sitio empleando la relación insumo:producto histórica de 10:1 (Pagani *et al*., 2008). Para sitios sin respuesta al agregado de N la DOE fue igual a 0. El déficit o exceso de N respecto de la DOE (dDOE) se calculó como la diferencia entre DOE y la dosis de N aplicada (Hawking *et al*., 2007; Reussi Calvo *et al*., 2015). Valores de dDOE negativos indican deficiencia y positivos excesos de N.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores promedio de pH, MO, Nan en el estrato superficial (0-20 cm) y N-NO_3^- (0-60 cm) se ubicaron dentro de los rangos reportados para la zona por Sainz Rozas *et al*. 2011 y Reussi Calvo *et al*. 2014 (Tabla 1). La variación del contenido inicial de N-NO_3^- y de Nan (potencial de mineralización) sugieren que la DOE presentaría variabilidad entre experimentos, ya que se ha informado que ambas variables edáficas se asocian con el rendimiento de cultivos de maíz sin N y/o con la respuesta al mismo (Orcellet *et al*., 2016). Las precipitaciones y los riegos realizados en general no limitaron el rendimiento del cultivo y la respuesta a N, salvo en los experimentos 4 y 14 (Tabla 2).

Tabla 1. Algunas características del suelo de los sitios experimentales en presiembra.

	pH	P-Extractable* (0-20 cm)	MO# (0-20 cm)	Nan¶ (0-20 cm)	N-NO_3^-‡ (0-60 cm)
Sitios		mg kg^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	kg ha^{-1}
1	5,8	21	56	41	31
2	5,8	23	56	41	31
3	5,7	22	56	41	54
4	5,4	9	55	74	73
5	5,6	16	49	71	72
6	5,9	26	57	63	57
7	5,7	12	56	59	43
8	5,6	12	52	76	88
9	5,8	13	56	71	53
10	6,1	9	50	107	84
11	6,1	17	54	43	80
12	5,7	15	65	71	108
13	5,6	13	56	49	130
14	5,6	10	46	44	108
Prom	5,7	16	55	61	72
SD	0,2	5	4	19	30
Min	5,4	9	46	41	31
Max	6,1	26	65	107	130

* (Bray & Kurtz, 1945); # Materia orgánica (Walkey & Black, 1933).

N-NH_4^+ producido en anaerobiosis (Echeverría *et al*., 2000); ‡ Keney & Nelson (1982).

El rendimiento varió entre 4160 y 14035 kg*ha^{-1} según experimento y dosis de N. El experimento 4 fue el único en el que no se determinó respuesta a N debido al severo estrés hídrico (Tabla 2). La eficiencia agronómica (EA, kg grano* kg N aplicado^{-1}), varió desde -6 hasta un máximo de 50 kg*kg^{-1}, con un valor promedio de 13 kg*kg^{-1}. Salvo en los experimentos 4, 6, 10 y 13, la EA fue mayor a 10 kg*kg N^{-1} (relación insumo:producto histórica) aún en las dosis más altas de N (datos no mostrados), lo cual evidencia el beneficio de la práctica de fertilización.

Tabla 2. Efecto de la dosis de N sobre rendimiento en grano del maíz en sitios del sudeste bonaerense.

	Dosis de N (kg ha^{-1})												
Experimento	0	35	40	60	70	80	120	140	160	180	200	210	240
1	6904d	8623c			10385b			12955a				14035a	
2	6747c				9315b			9840b				10971a	
3	7298b					10707a		10822a		11802a			
4	6214a			5995a			4464a			5969a			5463a
5	8358c			9351bc			10906ba			11847a			11960a
6	8200b			9138ab			9610a			9941a			10105a
7	6460c			8096cb			9393ab			10656a			10791a
8	6460c			8096bc			9394ab			10791a			11171a
9	6422c			8049bc			9339ab			10594a			10728a
10	13261a			14460a			13020ª			12917a			13611a
11	6410b		7068ab	8252ab		9278ab	9335ab			9685a			
12	6101d		6397d			7942cd	9446ab		9696ab		10734a		
13	9964a		9726a			10131a	10829ª		10762a		10383a		
14	4160c		4851c			6734b	7365b		8831a		8880a		

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas (P < 0,05) entre dosis de N según el test de Tukey.

En V6 el ISN se relacionó con el ND (N-NO_3^- en suelo+dosis de N) y, en V10, con el ND y el Nan, siendo el ajuste del modelo mayor para este último estadío (Tabla 3). Esto indica que en el estadío V10 la planta fue capaz de captar la variación en la disponibilidad de N generada por el nitrato inicial, dosis de N y potencial de mineralización. El menor ajuste en V6 se explica principalmente por los bajos requerimientos de N que presenta el cultivo hasta dicho estadío. Por otra parte, el menor aporte del Nan al ISN respecto al ND (Tabla 3), se explicaría por la baja temperatura media la cual limita el proceso de mineralización. En el SEB la temperatura media desde siembra hasta R1 (aproximadamente 4 semanas después de V10) es de 19°C (Orcellet *et al*., 2016), la cual es menor a las consideradas óptimas para dicho proceso (30 a 35°C).

Tabla 3. Modelos para estimar el índice de suficiencia de N en los estadíos de V6 (ISN_{V6}) y en V10 (ISN_{V10}) del maíz.

Modelo	Variable	Valor Parámetro	P valor	R^2 parcial	Raj^2
ISN_{V6}	Intercepto	0,88			0,33
	ND	4,93 e^{-4}	0,008	0,33	
	ND^2	4,97 e^{-7}	0,136		
	Nan	6,37 e^{-5}	0,587		
ISN_{V10}	Intercepto	0,74			0,67
	ND	1,88 e^{-3}	0,001	0,48	
	ND^2	3,68 e^{-6}	0,001	0,15	
	Nan	3,66 e^{-4}	0,010	0,04	

ND= nitrógeno disponible a la siembra (N-NO_3^- kg ha^{-1} hasta 60 cm más dosis de N).
Nan= N-NH_4^+ producido en anaerobiosis (mg kg^{-1}, 0-20 cm).

Se ajustó un modelo CP entre el IV, tanto en valores SPAD como ISN, y la dDOE para cada momento de muestreo. Similares relaciones han sido determinadas en trigo por Reussi Calvo *et al*. (2015) y en maíz por Barker & Sawyer (2010). El uso del ISN mejoró el ajuste del modelo (Fig. 1), tal como fue informado por otros autores para maíz y trigo (Scharf *et al*., 2006; Hawkins *et al*., 2007; Reussi Calvo *et al*., 2015). Por otra parte, el ajuste del modelo y la pendiente fueron mayores para V10 que para V6 (Fig. 1), indicando que el estrés de N se incrementó con el avance del ciclo del cultivo. Similares resultados han sido informados por otros autores (Scharf *et al*., 2006; Hawkins *et al*., 2007; Varvel *et al*., 2007). Esto indica que el ISN tiene escasa potencialidad para predecir la dDOE en estadíos tempranos. Sin embargo, Ma *et al*. (2005) trabajando en suelos de Canadá, informaron que el clorofilómetro fue capaz de detectar diferencias en IV generadas por dosis crecientes de N aplicadas a la siembra. Este comportamiento podría explicarse por la menor disponibilidad inicial de N de los suelos utilizados por dichos autores. Es para destacar que el buen ajuste entre el ISN y la dDOE en V10 ocurrió a pesar de que en algunos sitios la respuesta a N estuvo limitada por agua. En dichos sitios el IV fue elevado y la dDOE fue mínima o cero. Esto podría deberse a los menores requerimientos de N de cultivos

bajo estrés hídrico (Sainz Rozas *et al*., 2000) y no a un efecto directo del mismo sobre el IV, ya que al respecto se han informado resultados contradictorios en trigo y maíz (Schepers *et al*., 1997; Barraclough & Kyte, 2001).

El ISN varió de 0,69-0,70, en las condiciones de severo estrés de N, a 0,99 (Plateau), mientras que las dDOE asociadas a dichos valores fueron desde -250 a 18 kg*ha^{-1}, respectivamente. El ISN asociado a la dDOE = 0 fue de 0,98 (Fig. 1). Sainz Rozas *et al*. (2004) y Ma *et al*. (2005) informaron que en regiones con excesos hídricos al comienzo del ciclo del cultivo, la aplicación de dosis elevadas de N a la siembra conlleva el riesgo de elevadas pérdidas de este nutriente. Dichos autores reportaron valores de eficiencias de recuperación en planta menores para aplicaciones a la siembra respecto a aplicaciones en V6 (23 a 55%). Esto podría explicar las altas dDOE determinadas en este estudio para condiciones de severo estrés de N.

Para el SEB se han ajustado modelos que relacionan el rendimiento de cultivos de maíz sin N, o la respuesta de los mismos al agregado de este nutriente, con el nitrato inicial y el Nan (Orcellet *et al*., 2016). Por lo tanto, una estrategia para incrementar la EUN sería la determinación de la dosis de N según estos modelos y la aplicación de la misma en V4-V6 con posterior chequeo y eventual refertilización en V10 según el ISN.

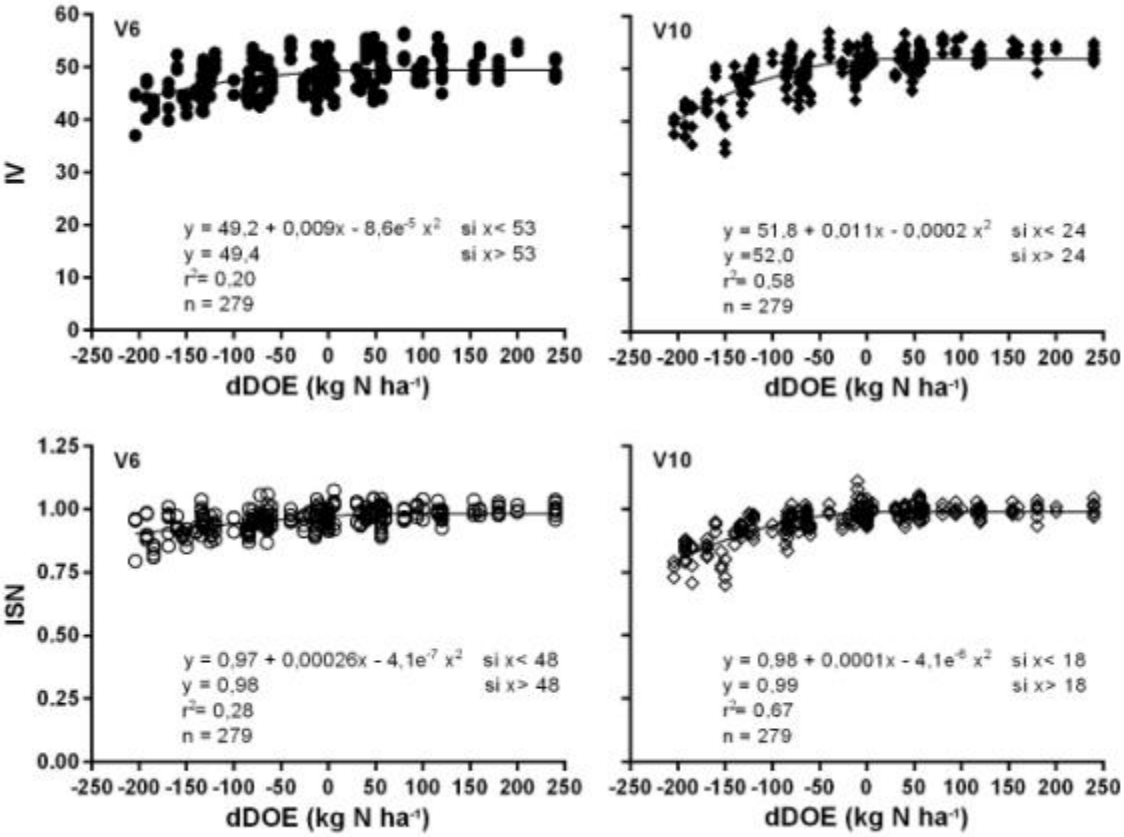


Figura 1. Valores absolutos SPAD (IV) e Índice de suficiencia de N (ISN) en función de la diferencia de N a dosis óptima económica (dDOE) en maíz. Valores de dDOE negativos indican deficiencia y positivos excesos de N. V6= estadío de 6 hojas expandidas, V10= estadío de 10 hojas expandidas.

CONCLUSIONES

La determinación del ISN en V6 no resultó una herramienta promisoria para el monitoreo de las necesidades de N dado que se asoció de forma débil con la variación de la disponibilidad de N edáfico y con la dDOE. Sin embargo, la determinación del ISN en V10 reflejó de manera adecuada la disponibilidad de N edáfico y se asoció de forma estrecha con la dDOE. Por lo tanto, la determinación del ISN y la eventual refertilización en V10 permitirían maximizar la productividad del cultivo y la EUN, reduciendo el impacto ambiental de la fertilización nitrogenada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con subsidios del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Proyecto PNSUELO-1134024), FONCyT (Projecto PICT 2016-0304), del laboratorio de suelos del grupo relación Suelo-Cultivo de la EEA INTA Balcarce y del laboratorio de suelos FERTILAB.

BIBLIOGRAFÍA

- Barker, D.W. & J.E. Sawyer. 2010. Using Active Canopy Sensors to Quantify Corn Nitrogen Stress and Nitrogen Application Rate. Agron. J. 102:964-971.
- Barraclough P.B. & J. Kyte. 2001. Effect of water stress on chlorophyll meter readings in winter wheat. In: Horst W.J. *et al*. (eds) Plant Nutrition. Developments in Plant and Soil Sciences, vol 92. Springer, Dordrecht.
- Blackmer, T.M. & J.S. Schepers. 1995. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. J. Prod. Agric. 8:56–60.
- Calviño, P. & Monzon, J.P. 2009. Farming systems of Argentina: yield constraints and risk management. In: Sadras, V.O., Calderini, D. (Eds.), Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy. Academic Press, Elsevier, pp. 55–67.
- Echeverría H.E., N. San Martin & R. Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. Cien. Suelo 18:9-16.
- Hawkins, J.A.; J.E. Sawyer; D.W. Barker; & J.P. Lundvall. 2007. Using relative chlorophyll meter values to determine nitrogen application rates for corn. Agron. J. 99:1034–1040.
- Keeney, D.R. & D.W. Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page, A.L. *et al*. eds. Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 643-698.
- Ma, B.; Subedi, K.D. & C. Costa. 2005. Comparison of crop-based indicators with soil nitrate test for corn nitrogen requirement. Agron. J. 97:462-471.
- Mueller, S.M.; Camberato, J.J.; Messina, C.; Shanahan, J.; Zhang, H. & and T.J. Vyn. 2017. Late-split nitrogen applications increased maize plant nitrogen recovery but not yield under moderate to high nitrogen rates. Agron. J. 109:2689-2699.
- Orcellet, J.; Reussi Calvo, N.I.; Sainz Rozas, H.R.; Wyngaard, N. & H.E. Echeverría. 2016. Anaerobically Incubated nitrogen improved nitrogen diagnosis in Corn. Agron. J. 109:1-8.
- Pagani, A.; Echeverría, H.E.; Sainz Rozas, H. & P.A. Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 26(2):183-193.
- Reussi Calvo, N.I.; H.R. Sainz Rozas; H.E. Echeverria; N. Diovisalvi. 2015. Using canopy indices to quantify the economic optimum nitrogen rate in spring wheat. Agronomy Journal, 107 (2): 459–465.
- Reussi Calvo, N.I; Echeverría, H.E.; Sainz Rozas, H.; Berardo, A. & Diovisalvi, N. 2014. Contribución de la mineralización al diagnóstico de nitrógeno en los cultivos. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas" Bahía Blanca.
- Ritchie, S.W., & J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Iowa, EEUU. Special Report Nº48. pp. 24
- Sainz Rozas, H.R.; Echeverría, H.E. & P.A. Barbieri. 2004. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. Agron. J. 96: 1622-1631.
- Sainz Rozas, H.; Echeverria, H.E. & H.P. Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana Argentina. Ciencia del Suelo. 29: 29-37.
- Scharf, P.C.; S.M. Brouder & R.G. Hoeft .2006. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the North- Central USA. Agron. J. 98:655–665.
- Schepers, J.S.; Blackmer, T.M.; Wilhelm, W.W. & M. Resende. 1997. Transmittance and Reflectance Measurements of Corn Leaves from Plants with Different Nitrogen and Water Supply. J. Plant Physiol. 148: 523-529.
- Varvel, G.E.; Wilhelm, W.W.; Shanahan, J.F. & J. S. Schepers. 2007. An Algorithm for Corn Nitrogen Recommendations Using a Chlorophyll Meter Based Sufficiency Index. Agron. J. 99:701-706.
- Walkley, A., Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Sci. 63: 251-263.21.
- Waskom, R. M. 1996. A review of use of chlorophyll meters to assess crop N status in the Great Plains. Proceedings Great Plains Soil Fertility Conference. J. Havlin (ed.). Kansas State University, Manhattan, KS, EEUU. pp. 36 - 43.

C3P75. PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DEL CULTIVO DE TRIGO: EFECTO DEL AMBIENTE Y LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y AZUFRADA

Saks, M.[1]; Alvarez, C.[2]; Scherger, E.[3] y Peinetti, Néstor[4]

[1] Bunge Argentina S.A
[2] Agencia de Extensión General Pico, INTA.
[3] Estación Experimental Agropecuaria Anguil, INTA.
[4] Productor agropecuario

RESUMEN

La necesidad de agua y nutrientes en regiones semiáridas para lograr niveles de producción elevados y altas concentraciones de proteína y gluten, hacen necesario conocer y cuantificar los contenidos de ambos al momento de la siembra. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del Nitrógeno (N) y Azufre (S) sobre la productividad y calidad de grano del cultivo de trigo en diferentes ambientes de la región semiárida Pampeana. Se llevaron a cabo dos ensayos de respuesta a dosis creciente de N y S (0, 40, 80 y 120 kg de N/ha) y (0 y 15 kg de S/ha) en ambientes limitados por tosca. Se registraron diferencias significativas al agregado creciente de N y S en ambos ambientes entre el 94 y 20% respecto al testigo. En tanto que, la eficiencia en el uso del agua (kg grano.ha^{-1}.mm^{-1}) mejoró en un 88 y 36% en EC y EM respectivamente. Los niveles de proteína y gluten variaron principalmente en función del rendimiento y en segundo lugar por efecto N y S.

Palabras claves: eficiencia uso de agua, proteína, gluten húmedo

INTRODUCCIÓN

La necesidad de incrementar la productividad del trigo (Triticum aestivum L.) manteniendo o mejorando la calidad comercial e industrial del grano, hace de la fertilización una técnica fundamental en la producción triguera. El agua, el nitrógeno (N) y en menor grado el azufre (S) condicionan con mayor frecuencia la obtención de contenidos adecuados de gluten y de proteína en los granos de trigo (Wooding etal., 2000). El factor agua adquiere mayor relevancia en las regiones semiáridas y subhúmedas donde el manejo del agua previo a la siembra del cultivo, asociado con una adecuada capacidad de retención (CRA) por parte de los suelos (mayor a 120 mm de agua útil), resulta clave para compensar los requerimientos de agua que normalmente no son cubiertos por las precipitaciones (Quiroga et al. 2010). Es por ello que en Hapludoles y Haplustoles del Noroeste de Bs As y Este de La Pampa se observó una estrecha relación entre el agua almacenada y los rendimientos del cultivo Barraco et al., (¿?)16 y Quiroga & Paccapelo 1990; Fontana et al., 2006). Sadras & Rodríguez (2007) reportaron la importancia de la cantidad y distribución de las precipitaciones sobre el rendimiento del trigo y sobre la eficiencia en el uso del agua (EUA). La EUA de un cultivo puede ser definida en distintas escalas, sin embargo, en condiciones de secano se la define como el rendimiento o producción de biomasa por unidad de agua consumida (Micucci & Alvarez, 2002). En la región semiárida, Bono & Álvarez (2009) desarrollaron un modelo que explica el 48% de la variabilidad de los rendimientos de trigo, en base a una red de fertilización llevada a cabo entre las campañas 1996-2004. Este modelo contempla la disponibilidad de agua en el suelo, disponibilidad de N (N orgánico y de nitratos), textura, profundidad de suelo y el sistema de labranza y permite establecer una secuencia de decisiones de la práctica. La eficiencia de uso de N de la red es baja (menor a 8,5 kg grano kg N aplicado-1). Sobre 2 campañas y 2 ambientes contrastantes del norte de La Pampa, Bagnato et al., (2016) encontraron que la respuesta a la aplicación de N se asoció con el valor de IMO menores a 4,5 establecido por Quiroga et al. (2006). El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de N y S sobre la productividad y calidad del cultivo de trigo en diferentes ambientes de la región semiárida Pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña 2017 se seleccionaron dos sitios de la región semiárida, ubicados en Embajador Martini (EM) y Eduardo Castex (EC) Pcia. De La Pampa, con predominio de suelos Haplustoles. Los suelos se caracterizan por presencia de tosca a profundidades variables entre 80 y 120 cm de profundidad, respectivamente para EM y EC (INTA, 1980). En cada ambiente se realizó un ensayo en franjas apareadas y parcela dividida con cuatro repeticiones, tomando como factor

principal las dosis de N (0, 40, 80 y 120 N ha^{-1}) y como factores secundarios los tratamientos de fertilización con S (0 y 15 kg S ha^{-1}). En cada uno de los ambientes se determinaron 4 puntos de muestreo para las variables de los cultivos, en transectas equidistantes a 5 m y paralelas a las líneas de siembra. Para las variables de suelo se tomaron las muestras en 4 puntos a lo largo de transectas equidistantes cada 2 m. En cada punto se tomaron muestras de todos los horizontes hasta una profundidad de la tosca cm. Al momento de la siembra, floración y madurez se realizaron muestreo de humedad en capas de 20 cm de profundidad hasta la tosca. y se determinaron los niveles de nitrato y azufre de los primeros 60 cm. A cosecha se evaluó producción de granos y los componentes del rendimiento [número de granos por unidad de superficie (NG) y peso individual de los granos (PG)]. Sobre los mismos se determinó niveles de proteína y gluten húmedo. Se calculó la eficiencia agronómica de uso del nitrógeno: EA = $(R-R_0)/F$; en donde R es el rendimiento del tratamiento fertilizado, R_0 es el rendimiento del tratamiento testigo y F es la cantidad de nutriente aplicado respectivamente. Para estudiar la diferencias de medios se utilizó el software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La productividad del cultivo de trigo vario entre ambientes (2608 a 5069 kg ha^{-1}) y (1946 a 2554 kg ha^{-1}) en EC y EM respectivamente. Observando respuestas significativas al agregado creciente de N y S en ambos ambientes ($p<0,05$). Cuando se analizó el rendimiento y la EUA, no se encontró interacción entre ambiente y fertilización ($p<0,05$). En cada ambiente la fertilización con N permitió mejorar la productividad variando la respuesta a distintas dosis (T80 EC y T40 EM), registrando diferencias significativas ($p<0,05$) e incremento en la productividad en ambos sitios asociado a N del 90% al 34% en EC y EM, respectivamente (Tabla 1). Los tratamientos fertilizados presentaron mayor EUA (9,1 a 11,5 kg/ha.mm y de 7,6 a 9,0 kg/ha.mm) en EC y EM, respectivamente. Por otra parte, se diferenciaron significativamente en ambos sitios respecto al testigo ($p<0,05$) (Tabla 1), resultados similares fueron registrados por Gaggioli *et al.* (2015).

Tabla 1: Rendimiento del cultivo de trigo y eficiencia de uso de agua (EUA) de trigo en Embajador Martini (EM) y Eduardo Castex (EC) . Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre tratamiento de N y S. ($p<0,05$).

Tratamientos	R(kg ha^{-1}) EC	R(kg ha^{-1}) EM	EUA (kg $ha^{-1}.mm^{-1}$) EC	EUA (kg $ha^{-1}.mm^{-1}$) EM
0 N	2608 a	2072 a	6,1 a	6,6 a
0 N+S	2945 a	1946 a	6,8 a	6,2 a
40 N	3842 b	2141 ab	8,7 b	7,6 ab
40 N+S	4032 bc	2336 b	9,1 b	8,3 b
80 N	4539 c	2336 b	10,3 c	8,3 b
80 N+S	4661 cd	2554 c	10,6 c	9,0 b
120 N	4802 d	2436 bc	10,9 cd	8,6 b
120N +S	5069 d	2503 c	11,5 d	8,8 b

La eficiencia agronómica en el uso del Nitrógeno (EUN) varió entre sitios y dosis de aplicación de nitrógeno (Figura 1). En EM la EUN varío entre 7,5 y 0 kg de grano/kg de N para la dosis de 40 y 120 kgs de N respectivamente. En el sitio EC, el rango de variación de EUN fue mayor, variando entre 32,8 y 9,8 kg de grano/kg de N aplicado para los tratamientos 40 y 120.

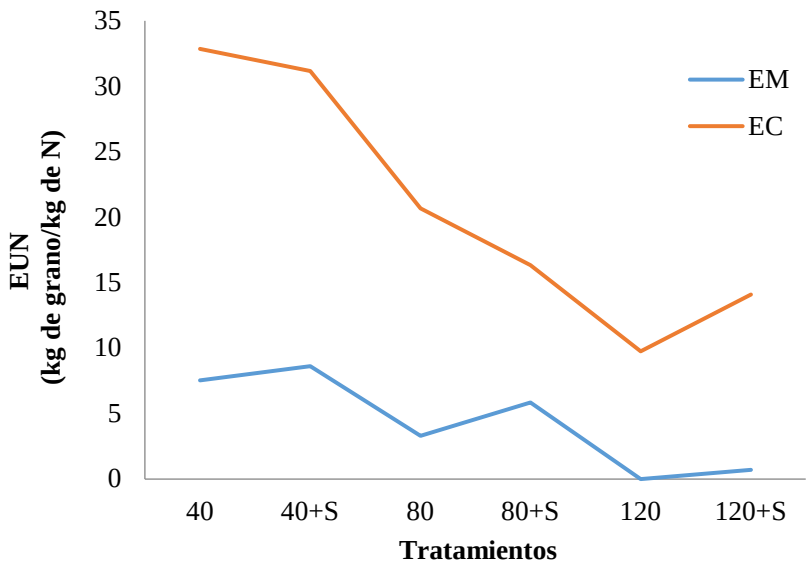


Figura 1. Eficiencia agronómica en el uso del Nitrógeno (kg de grano/kg de N) en función de la dosis de Nitrógeno y Nitrógeno + Azufre para los sitios de Embajador Martini (EM) y Eduardo Castex (EC).

Los contenidos de proteína variaron entre sitios y dosis de N (8,4 y 10,5 vs 10 y 13,7%) ($p<0,05$) para EC y EM respectivamente (Tabla 2). Similares resultados fueron encontrados por Martínez *et al.* (2015); Loewy (1990b); López-Bellido *et al.* (2000); Garrido-Lestache *et al.* (2004); Dupont *et al.* (2006), comprobando que existe efecto de dilución del N absorbido ocasionado por el aumento de rendimiento en EC. En tanto que, en EM los menores rendimientos permitieron niveles de proteínas mayores respecto a EC para cada nivel de N aplicado. Los contenido de Gluten húmedo fueron aceptable en EM, mientras que en la dosis de N y S incrementaron el nivel de gluten pero no alcanzaron los valores standeres (<28%). Estos valores están muy influenciados por el nivel de producción en ambos sitios.

Tabla 2: contenido de proteína y gluten húmedo (%) efecto de la fertilización N y S en Eduardo Castex y Embajador Martini (LP). Letra distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre tratamiento de N y S para ambos ambientes ($p<0,05$).

Tratamientos	EC		EM	
	Proteína (%)	Gluten (%)	Proteína (%)	Gluten (%)
0 N	8,4 a	17 a	10 a	23,8 a
0N +S	8,4 a	17,8 a	10,5 a	24,2 a
40 N	8,6 ab	19,4 b	11,9 b	29,8 b
40 N+S	8,9 b	19,4 b	12,3 bc	30,9 b
80 N	9,5 c	23,6 c	12,1 bc	30,1 b
80 N+S	9,6 cd	24 c	12,7 bc	30,9 b
120 N	10,1 cd	24,4 c	13,2 c	32,5 bc
120 N+S	10,5 d	25 d	13,7 c	35,6 c

CONCLUSIONES

La productividad de trigo estuvo influenciada principalmente por el ambiente (profundidad de tosca). La misma se vio incrementada en un 89% y 34% en EC y EM respectivamente.

La calidad del grano de trigo varío por efecto del sitio, del rendimiento, y uso de la tecnología (fertilización con N y S).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los productores Peinetti y Scherger por la disponibilidad y predisposición de realizar los ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bono, A & R Alvarez. 2009. Rendimiento de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. Un modelo predictivo de la respuesta a la fertilización nitrogenada. Informaciones Agronómicas 41:18-21.
- Fontana F, M Paturlane, M Saks & A Quiroga. Efecto del suelo sobre propiedades edáficas y rendimiento de trigo en la región semiárida pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Dupont, F.M.; W.J. Hurkman, W.H. Vensel, C. Tanaka, K.M. Kothari, O.K. Chung and S.B. Altenbach, 2006. Protein accumulation and composition in wheat grains: effects of mineral nutrients and high temperature. Eur. J. Agron. 25(2):96-107.
- Gaggioli C; E, Noellemeyer y A Quiroga. 2015. Productividad y eficiencia de uso de agua de cereales invernales en dos suelos contrastantes de la región semiárida pampeana. Jornadas Nacionales de Manejo de Suelo. Bahia Blanca.CD.
- Garrido-Lestache, E.; R.J. López-Bellido and L. López-Bellido, 2004. Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. Field Crops Res. 85(2):213-236.
- Loewy, T. 1990b. Efecto simple y combinado del N sobre el trigo, en tres épocas de aplicación. Ciencia del Suelo 8:181-186.
- López-Bellido, L.; R.J. López-Bellido, J.E. Castillo and F.J. López-Bellido, 2000. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Me-diterranean conditions. Agron. J. 92:1054-1063.
- Martínez, J.M.; M.R. Landriscini, J.A. Galantini y M. Duval, 2012. Eficiencias de nitrógeno para trigo en la región semiárida de buenos aires (Argentina): efecto de la dosis y momento. AGRISCIENTIA, VOL. 32 (1): 15-27.
- Quiroga, A & H. Paccapelo. 1990. Evaluación de algunos aspectos de las relaciones hídricas en trigo, en la Región semiárida Pampena. Revista de la Facultad de Agronomía. UNLPam. Vol 5 (2): 109-115.
- Quiroga, A.; Fernández, R.; Ormeño, O. & Frasier, I. 2010. Consideraciones sobre el manejo del agua y la nutrición en trigo. En Publicación Técnica N° 79, EEA INTA Anguil, pp 41-46.
- Sadras, VO & D Rodriguez. 2007. The limit to wheat water useefficiency in eastern Australia. II. Influence of rainfall patterns. Aust. J. Agric. Res.58: 657-669.
- Wooding, AR; S Kavale; F MacRitchie; L Stoddard & A Wallace. 2000. Effects of nitrogen and sulfur fertilizer on protein composition, mixing requirements, and dough strength of four wheat cultivars. Cereal Chem. 77(6): 798-807.

C3P76. FUENTES DE FÓSFORO CON PROMOTORES DE CRECIMIENTO EN MAÍZ CHIPA (*Zea mays* L. subsp. amylacea (Sturtev))

Salvador, Luis S.; Duarte, Alder D.; González, Eugenio; Quiñonez, Laura R.; Enciso, Derlis y Rasche, Jimmy W.

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Avenida Mcal. López 2160. San Lorenzo, Paraguay. alderdelosantos@hotmail.com

RESUMEN

La limitada disponibilidad de P en los suelos de la Región Oriental restringe la productividad del maíz chipa. La fertilización con fosfatos solubles es una de las alternativas para compensar ese déficit nutricional del cultivo. El ensayo tuvo lugar en Ybyrarobaná, Canindeyú, Paraguay, con el objetivo de evaluar el efecto de fuentes de fósforo con promotores de crecimiento (PGPR) en el cultivo de maíz chipa. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial en parcelas subdivididas. Los factores fueron fuentes de fósforo (5 niveles) y PGPR (2 niveles: con y sin), dando lugar a 10 tratamientos con 4 bloques. Las fuentes de fosfato utilizados fueron el superfosfato triple (SFT), superfosfato simple (SFS), fosfato termomagnesiano (TFM) y roca molida (RM), aplicados a dosis de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5. Los PGPR fueron aplicados a dosis de 3 mL kg^{-1} de semilla. Las variables evaluadas fueron: altura de planta y de inserción de mazorca, peso mil granos y rendimiento del cultivo. No se encontró diferencia significativa respecto a la utilización de PGPR, pero si entre fuentes fosfatadas, todos los parámetros estudiados, excepto en peso de mil granos. Se obtuvo mejores resultados con las fuentes de P más solubles (SFT y SFS), donde medias más altas se obtuvieron con el SFT, con rendimiento de 3.870 kg ha^{-1}. Existe una efectividad diferenciada para las diferentes fuentes de P, donde SFT>SFS>TFM>RM.

Palabras claves: Fertilización, PGPR, cereales

INTRODUCCIÓN

La producción del maíz chipa (*Zea mays* L. subsp. amylacea (Sturtev)) es practicada principalmente en las pequeñas propiedades, que en la mayoría de los casos están ubicadas en zonas con suelos de baja fertilidad, dado en muchas situaciones por el limitado contenido de nutrientes o bien por su limitada disponibilidad, particularidad observada con el fósforo, que se encuentra en altas concentraciones en suelos del país, sin embargo en muchos suelos de la Región Oriental, solo una porción muy pequeña del elemento está disponible para las plantas. El fósforo cumple un papel sumamente importante en el maíz y su disponibilidad insuficiente genera bajo rendimiento, provocando consecuentemente insatisfacción de los productores. Para potenciar la tarea productiva y de esta forma mejorar la producción y rentabilidad se buscan estrategias que puedan generar un proceso productivo eficaz.

Boschetti *et al*. (2003) señalan que los valores absolutos de fósforo total variarán desde un promedio de 125 mg de P kg^{-1} de suelo en los Entisoles e Inceptisoles hasta alrededor de 700 mg de P kg^{-1} en Oxisoles y Ultisoles. Además mencionan que la distribución del fósforo en las formas disponibles y estables, como así también en las formas orgánicas e inorgánicas, dependió de la génesis y del estado de evolución de los suelos. Rheinheimer & Anghinoni (2001) observaron que en la camada de 0-2,5 cm, en un suelo bajo siembra directa el tenor de fósforo total es superior a un suelo trabajado convencionalmente; lo opuesto ocurre a profundidad de 7,5-17,5 cm. Cubilla *et al*. (2012) mencionan que en un sistema de siembra directa hay una gran variabilidad vertical de fósforo en el suelo relacionadas a la forma de aplicación de los fertilizantes, deposición de los residuos de cosechas y la baja movilidad de este nutriente en el perfil.

Por medio de los avances en la biología de suelos es posible poner en práctica y hacer uso de los microorganismos benéficos. Entre ellos se destacan las bacterias y los hongos. Según Loredo *et al*. (2004) y Cano (2011) aquellos microorganismos que habitan la rizósfera poseen mecanismos como la fijación de nitrógeno, solubilización de nutrientes, control de fitopatógenos, etc., que tienen la capacidad de estimular el crecimiento de las plantas.

El objetivo de este trabajo consistió en evaluar el efecto de diferentes fuentes de fertilizantes fosfatados y promotores de crecimiento sobre la producción de maíz chipa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en Ybyrarobaná, Canindeyú, Paraguay. Para el estudio se utilizó el diseño en bloques completamente al azar, dispuestas en parcelas subdivididas, evaluando dos factores. El primer factor fue el uso de promotores de crecimiento (PGPR) (Factor A) que se ubicó en las parcelas, y el factor fuentes de fósforo (Factor B) que se ubicó en las subparcelas, donde las fuentes de fertilizantes fueron Superfosfato triple (SFT), Superfosfato simple (SFS), Fosfato termomagnesiano (FTM), Roca molida, dispuesto en cuatro bloques, totalizando 40 unidades experimentales. El PGPR utilizado consistió en un tribacterial compuesto por colonias de *Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum brasilense y Pseudomonas fluorescens*. Los fertilizantes fosfatados fueron aplicados a dosis de 80 kg de P_2O_5 ha^{-1} y los PGPR a 3 mL kg^{-1} de semilla.

Cada unidad experimental estuvo representada por un área de 17,5 m^2 (5 m x 3,5 m), siendo el total del área utilizada para el experimento de 700 m^2. Las variables evaluadas fueron altura de planta, altura de inserción de espigas, peso de mil granos y rendimiento del cultivo. Se realizó análisis de varianza y comparación de medias con el Test de Tukey (5%), utilizando el programa estadístico InfoStat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medias obtenidas con uso del inoculante en cuanto a altura de planta e inserción de mazorca no difieren estadísticamente (Tabla 1). Los resultados difieren a lo observado por López *et al.* (2008), quienes encontraron que la altura de plantas de maíz tuvo respuesta efectiva al realizar inoculaciones con bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo. Así mismo, Oliveira *et al.* (2012) observaron que tanto la altura de plantas como inserción de mazorcas se vieron afectados de manera positiva al inocularlas con rizobacterias.

Con la aplicación de las diferentes fuentes fosfatadas fue posible detectar una variación de 2,17 a 2,43 m entre las medias de altura de las plantas. Observándose en los tratamientos con SFS y SFT valores más altos y lo contrario se observa con la RM, este último arrojó valores similares al tratamiento Control, cuyo promedio también fue de 2,17 m. El TFM presentó valores de altura de planta (2,33 m) estadísticamente iguales a los demás tratamientos (Tabla 1). En relación a la altura de inserción de mazorca como respuesta a la aplicación de los diferentes fertilizantes fosfatados, se observa diferencia significativa, obteniéndose el valor más alto usando SFT con promedio 1,15 m, seguido del SFS con 1,14 m. El TFM generó un promedio de 1,1 m, mientras que el menor valor se verificó con la RM de 0,98 m, igual que el tratamiento Control (Tabla 1). Respecto a lo observado, Quinto (2015) también encontró resultados estadísticamente semejantes en cuanto a inserción de mazorca al utilizar dos fuentes de fósforo de alta solubilidad.

Tabla 1. Promedio de altura de planta, inserción de mazorca, peso de mil granos y rendimiento del cultivo por efecto de la aplicación de promotores de crecimiento (PGPR) y de fuentes de fósforo, Súper fosfato triple (SFT), Súper fosfato simples (SFS) Fosfato termomagnesiano (TFM) y Roca molida (RM).Ybyrarobaná, Canindeyú, Paraguay, 2016.

Factor	Tratamientos	Altura de planta (m)	Altura inserción de mazorca (m)	Peso de mil granos (g)	Rendimiento (kg ha^{-1})
PGPR	Sin	2,31a	1,07a	175,6a	3.008a
	Con	2,30a	1,07a	176,6a	3.044a
FUENTES	Control	2,17b	0,98b	166,8a	2.367b
	SFT	2,43a	1,15a	178,1a	3.870a
	SFS	2,43a	1,14a	182,5a	3.690a
	TFM	2,33ab	1,11ab	183,2a	2.827b
	RM	2,17b	0,98b	169,6a	2.376b
CV (%)		5,00	10,01	11,2	16,92
DMS PGPR		0,07	0,06	12,8	332
DMS FUENTES		0,16	0,13	29,0	747

CV: Coeficiente de Variación; DMS: Diferencia media significativa. Medias con una letra común no son significativamente diferentes. Test de Tukey (5%).

En los resultados obtenidos de peso de mil granos y rendimiento del cultivo, no se observó respuesta significativa para el empleo de los PGPR, por otro lado, el peso de mil granos tampoco se vio favorecida con el uso de los fosfatos, sin embargo, se puede apreciar que en el rendimiento existe diferencia estadística entre los promedios obtenidos con las fuentes de fósforo utilizadas (Tabla 1).

El peso de mil granos en función a la inoculación con PGPR generó una media de 176,6 g, valor similar a lo obtenido sin el uso del tribacterial (175,6 g). Lo mismo se observa con el rendimiento, obteniéndose medias de 3.008 kg* ha^{-1} sin la inoculación y 3.044 kg ha^{-1} con el uso del mismo. Respecto a esto, Chaves *et al.* (2013) al realizar

inoculaciones con *P. fluorescens* en semillas de maíz no observaron incrementos en la peso de granos, tampoco aumento en el rendimiento. Observaciones similares tuvieron Rangel *et al.* (2014) al estudiar el efecto de la biofertilización con *Azospirillum* sp., verificando que el rendimiento de granos de maíz no fue afectado significativamente por el uso de estos microorganismos. Y con la combinación de *P. fluorescens* y *Azospirillum brasilense* Faggioli *et al.* (2008) encontraron un incremento del 7% en el rendimiento de granos.

En cuanto al uso de fuentes de fósforo, se observa que las medias obtenidas en peso de mil granos son similares entre sí, inclusive con el control. Valdez & Gray (2014) tampoco encontraron diferencias significativas al estudiar el peso de mil granos con el uso diferenciado de fuentes fosfatados solubles. La media más alta fue de 183 g y el promedio general de 177 g, valores bastante por debajo a la media registrada para esta variedad, siendo que en el Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria – IPTA (2015) se observó que el peso promedio de mil granos ronda los 253 g.

En el rendimiento existe diferencia en las medias obtenidas con el uso de las diferentes fuentes de P, observándose el promedio más alto con el SFT con 3.870 kg ha^{-1}, media similar se obtuvo con SFS (3.690 kg ha^{-1}), esta última junto con el SFT presentan promedios que difieren significativamente en relación a los fosfatos naturales (TFM y la RM), así también con el Control, tratamiento en el cual fue registrado el menor resultado de apenas 2.367 kg ha^{-1}. Britos & Emategui (2015) estudiando varias fuentes de P observaron que estas generan rendimientos que difieren significativamente entre sí, constatando además que el SFT refleja superioridad en producción ante un fosfato natural. Respecto a los fosfatos insolubles, Hanisch *et al.* (2011) utilizando polvo de roca, independientemente de la dosis aplicada (2 hasta 12 Mg ha^{-1}) no encontraron diferencia estadística en el rendimiento de maíz, verificando un incremento promedio de solo 11%. El rendimiento promedio del maíz chipa obtenido en el ensayo fue de 3.026 kg ha^{-1}, con el SFT se logró el pico más alto en producción con 3.870 kg ha^{-1}. Los resultados son inferiores a los obtenidos por IPTA (2015) de 5.200 kg ha^{-1}, y Duarte (2016), de 4.407 kg ha^{-1} con una dosis de 80 kg de P_2O_5 a base de SFT, ambos autores estudiaron la misma variedad utilizada en el experimento.

La baja disponibilidad de P en el suelo permitió expresar una amplia respuesta a la fertilización fosfatada, incrementando el desarrollo y productividad del maíz. Los parámetros evaluados permiten observar que el uso de fuentes solubles de P (SFT y SFS) generaron mayor efectividad respecto a las fuentes de menor solubilidad (TFM y RM), debido a que el nivel de P disponible en el suelo fue bastante bajo y tanto el SFT como el SFS disponibilizaron el nutriente de forma casi inmediata al cultivo, no así los fosfatos menos solubles que dependen de las condiciones circundantes del medio y de su composición misma para ir liberando el P en el suelo y estar disponible para las plantas. Tanto Parra *et al.* (2011) como Planet *et al.* (2000), señalan que deficiencias de P en la etapa inicial del cultivo repercuten de forma negativa tanto en el crecimiento como en la productividad del maíz.

En cuanto al fosfato natural, su solubilidad es mayor en condiciones de pH ácido, puesto que su disolución resulta en la liberación de iones hidroxilos en la solución y la neutralización de estos es posible gracias a la acidez del suelo, donde los iones de hidrogeno reaccionan con los hidroxilos y dan continuidad al proceso (Zapata & Roy, 2007). Estas reacciones posiblemente se vieron limitadas durante el experimento debido a que fue aplicado una enmienda calcítica para adecuar el pH del suelo a los niveles requeridos por el cultivo de maíz, lo que habría contribuido a una menor respuesta de los fosfatos pocos solubles utilizados.

Respecto a los resultados obtenidos con los promotores de crecimiento, hubo ausencia de respuesta a la inoculación con el tribacterial podría estar relacionada a las condiciones del medio donde se efectuó el ensayo, puesto que la supervivencia de estos microorganismos esta favorecida por elevados contenidos de materia orgánica en el suelo (Perotti *et al.* 2005) y un pH cercano a la neutralidad es determinante para lograr elevada actividad microbiana (Ramos & Zúñiga, 2008).

CONCLUSIONES

El uso de los promotores de crecimiento no genera efecto significativo en las variables evaluadas, las fuentes de P influyen en la altura de planta y de inserción de mazorca y rendimiento del cultivo. Con respecto al peso de mil granos no se vio influenciada por ambos factores.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por financiar parte del trabajo dentro del marco del Proyecto 14-INV-130 “Manejo sostenible de la fertilidad de suelos para la producción de alimentos”.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción por el apoyo, mediante la utilización de infraestructura y equipos necesarios para el trabajo a campo y laboratorio.

Al Sr. Alejandro Duarte por facilitar la infraestructura y el terreno para la realización del experimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Boschetti, NG; CE Quintero; RA Benavidez & P Giuffre. 2003. Cuantificación de las fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo en suelos de la Mesopotamia Argentina. Rev. Cie. del Sue. 21(1):1-8
- Britos, EM & VE Emategui. 2015. Diferentes formulaciones fosfatadas en la fertilización del maíz. In: I Congreso Paraguayo de Ciencia del Suelo. IV Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. San Lorenzo, PY.134 – 137 p.
- Cano, M. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. una revisión. Rev. U.D.C.A Actualidad y divulgación científica, 14(2):15-31
- Chaves, DP; C Zucareli & JA Oliveira. 2013. Fontes de fósforo associadas à inoculação com Pseudomonas fluorescens no desenvolvimento e produtividade do milho. Rev. Ciê, Agr. 34(1):57-72.
- Cubilla, MM; A Wendling; FL Eltz; TJ Amado & J Mielniczuk. 2012. Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay. Asunción, PY. 86 p.
- Duarte, AD. 2016. Fertilización fosfatada con enmiendas orgánica e inorgánica en maíz chipa (*Zea mays* var. amiláceo L.). Tesis de grado. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, PY. 68 p.
- Faggioli, VS; CR Cazorla; A Vigna & MF Berti. 2008. Fertilizantes biológicos en maíz. Ensayo de inoculación con cepas de *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas fluorescens*. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Marcos Suárez. Argentina. 4 p.
- Hanisch, AL; JA Fonseca; GA Vogt; AA Balbinot & E Spagnollo. 2011. Desempenho da cultura do milho em diferentes doses de pó de basalto, com e sem fertilização. Disponible en: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/911648/desempenh o-da-cultura-do-milho-em-diferentes-doses-de-po-de-basalto-com-e-sem-fertilizacao. Consultado 10 nov 2016
- IPTA (Instituto Paraguayo de Tecnología Agrícola, PY). 2015. Programa de investigación de maíz, sorgo y girasol. IPTA - INBIO. Capitán Miranda, PY. 2 p.
- López, M; R Martínez; M Brossard; A Bolívar; N Afonso; A Alba & H Pereira. 2008. Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de maíz en dos suelos contrastantes venezolanos. Rev. Agr. Tro. 58(4): 391-401
- Loredo, C; L López & D Espinosa. 2004. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas. Rev. Terr. Lat. 2(2): 225-239
- Oliveira, MA; C Zucareli; LT Spolaor; AR Domingues & AS Ferreira. 2012. Desempenho agronômico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobacterias. Rev. Bras. de Eng. Agr. e Amb., 16(10):1040-1046
- Parra JC; R Ramirez; D Lobo; N Subero & O Sequera. 2011. Respuesta del maíz (Zea mays L.) en la etapa temprana a las formas de aplicación de fósforo. Fac Agron (UCV). 37(2): 86-92
- Perotti, EBR; LT Menéndez; OE Gaia & A Pidello. 2005. Supervivencia de *Pseudomonas fluorescens* en suelos con diferente contenido de materia orgánica. Rev. Arg. Mic. 37(2):102-105
- Planet, D; S Etchebest; A Mollier & S Pellerin. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphororus. Plant and Soil. 233:119-132
- Quinto, BE. 2015. Estudio sobre dos fuentes de fertilizantes con base en nitrógeno y fósforo en dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de grado.. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, EC. 82 p.
- Ramos, E & D Zúñiga. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. Rev. Eco. Apl. 7(1,2): 123-130
- Rangel, JA; RM Ramírez; F Cervantes; M Mendoza; E Garcia & JG Rivera. 2014. Biofertilización de *Azospirillum spp*. y rendimiento de grano de maíz, sorgo y trigo. Rev. FCA UNCUYO. 46(2):231-238.
- Rheinheimer, DS & I Anghinoni. 2001. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. Pesq. Agr. Bra. 36(1):151-160
- Valdez, AS & MG Gray. 2014. Fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados en maíz. In: III Congreso Nacional de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, PY. 295 – 297 p. Disponible en: http://www.agr.una.py/descargas/tapas/IIICNCA2014.pdf. Consultado 25 de oct 2016
- Zapata, F; Roy, RN. 2007. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. FAO, Roma. 177 p.

C3P77. REQUERIMIENTOS DE NUTRIENTES EN SOJA: CURVAS DE DILUCION Y ACUMULACION E INDICE DE COSECHA

Salvagiotti, Fernando; Barbagelata Pedro; Barraco, Mirian; Condori, Alicia; Di Mauro, Guido; Enrico, Juan; Echeverría, Hernán; Ferrari, Manuel; García, Fernando; Gudelj, Vicente; Ortez, Osler; Rotundo, Jose e Ignacio Ciampitti

Departamento Agronomía, EEA Oliveros INTA. Ruta 11 km 353 - 2206 - Oliveros - Santa Fe - Argentina. salvagiotti.fernando@inta.gob.ar

RESUMEN

La cuantificación de los requerimientos nutricionales de los cultivos es clave para la recomendación de fertilización y para elaborar balances de nutrientes en los sistemas productivos. En relación a este último aspecto, el índice de cosecha de los nutrientes indican no solo la exportación, sino también la cantidad de nutriente remanente en los residuos y que serán luego reciclados en el sistema. El requerimiento promedio de un nutriente puede calcularse a través de la inversa de la pendiente de la regresión entre el rendimiento y la absorción de nutrientes. Esta relación tiene una distribución de tipo "envelope", donde las líneas de regresión de los cuantiles 1 y 99 (máxima acumulación y dilución, respectivamente) determinan los límites biológicos de la relación entre consumo de nutrientes y producción. Los objetivos del presente trabajo fueron cuantificar: (i) los requerimientos de macro y micronutrientes, y curvas de acumulación y dilución; y (ii) el índice de cosecha de macro y micronutrientes en soja en distintas condiciones ambientales. Experimentos desarrollados en distintas condiciones ambientales en Argentina y USA fueron incluidos. En madurez fisiológica (estadio R7) se determinó la biomasa aérea acumulada en estructuras vegetativas y semilla. En cada estructura se determinó la concentración de N a través de método Kjeldhal y de P, K, S, Ca, Mg, Zn, B y Mn a través de plasma. Se realizaron regresiones por los cuantiles 1, 50, y 99 (curva de acumulación, eficiencia media y dilución, respectivamente) entre el rendimiento (ajustado al 13% de humedad) y los contenidos de nutrientes (base seca). La inversa de la pendiente de esta regresión indica el requerimiento de nutriente por kg de semilla producida. El índice de cosecha de cada nutriente se estimó como el cociente entre la acumulación en semilla y el total absorbido por la planta. Los rendimientos oscilaron entre 955 a 6.525 kg ha^{-1}, con un promedio de 3.811 kg ha^{-1}. La biomasa aérea en R7 fue en promedio de 8.592 kg ha^{-1}, con un mínimo de 1.990 y un máximo de 16.237 kg MS ha^{-1}. La inversa de la pendiente correspondiente a la máxima acumulación, eficiencia media y máxima dilución fueron respectivamente de 99, 68 y 51 kg de N kg semilla $^{-1}$; 12, 6,8 y 3,6 kg de P kg semilla $^{-1}$; 77, 40 y 14 kg de K kg semilla $^{-1}$; 8,3, 4,2 y 2,5 kg de S kg semilla $^{-1}$; 76, 21 y 8,5 kg de Ca kg semilla $^{-1}$ y 19, 7,6 y 4,5 kg de Mg kg semilla $^{-1}$. Los valores observados de estos parámetros para B, Zn y Mn fueron 421, 147 y 62 g de B kg semilla $^{-1}$; 164, 62 y 22 g de Zn kg semilla $^{-1}$ y 373, 144 y 47 g de Mn kg semilla $^{-1}$. Los índices de cosecha de los nutrientes fueron en promedio de 73, 68, 43, 59, 16, 31, 38, 59, y 29 % para N, P, K, S, Ca, Mg, B, Zn y Mn, respectivamente. Estos resultados indican que las relaciones N:P:K:S:Ca:Mg promedio seria 9:0.89: 5.3:0.55: 2.7:1 y en el caso de los micronutrientes la relación B:Mn:Zn seria 2.37:2.33:1.

Palabras claves: soja, requerimientos nutricionales, macronutrientes, micronutrientes.

C3P78. PROMOTORES DE CRECIMIENTO EN COMBINACION CON DOSIS DE NITROGENO EN MAIZ DULCE IRRIGADO

Servían Rojas, José Jeremías; Quiñónez Vera, Laura Raquel; Rasche Álvarez, JimmyWalter; Fatecha Fois, Diego Augusto, González Cáceres, Eugenio; Duarte Monzón, Alder Duarte, Enciso Santacruz, Derlis

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Avenida Mcal. López 2160. San Lorenzo, Paraguay. lauryqv@gmail.com

RESUMEN

El maíz dulce es un cereal que requiere de altos niveles de nitrógeno para su producción, una alternativa para la disminución del uso de fertlizantes nitrogenados es la utilización de bacterias promotoras de crecimiento vegetal PGPR, ya que estas bacterias cumplen funciones importantes como la fijación biológica de Nitrogeno. El ensayo tuvo lugar en el Departamento Central, Distrito de Itaugua. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la combinación de inoculantes con diferentes niveles de nitrógeno en el rendimiento del maíz dulce. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial,con dos factores, siendo dos niveles de inoculantes PGPR (0 y 100 %) y tres niveles de nitrógeno (0, 40 y 80 kg ha^{-1}) compuesto por 7 tratamientos y 4 repeticiones totalizando 28 unidades experimentales. La superficie utilizada fue de 53 m x 6,5 m con un total de 345 m^2. Las variables evaluadas fueron longitud de la espiga, diámetro de la espiga y rendimiento de granos. Los datos obtenidos fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANAVA), para observar si existen diferencias significativas en los parámetros de estudios por el efecto de la inoculación, como también se realizó la comparación de medias con el Test de Tukey al 5%. La combinación de los promotores de crecimiento con nitrógeno no influenció en los componentes de rendimiento y en la productividad del maíz dulce.

Palabras claves: inoculantes, nitrógeno, componentes de rendimiento, rendimiento.

INTRODUCCIÓN

El maíz dulce es un cultivo de importancia en las fincas de pequeños productores. El mismo, requiere de altos niveles de nitrógeno para su producción, sin embargo, el uso inadecuado de fertilizantes químicos con el tiempo desgasta y empobrece la fertilidad del suelo (Basi *et al.*, 2011). Una alternativa para la producción de este cultivo es la utilización de microorganismos, que además de no ocasionar efectos negativos al medio ambiente abaratan el costo de producción en cuanto a fertilizantes.

Algunos microorganismos existentes en el suelo ejercen un efecto positivo en el crecimiento y desarrollo de especies vegetales, entre ellos se encuentran las bacterias promotoras de crecimiento vegetal que tienen como función principal la fijación biológica de nitrógeno, producción de fitohormonas, solubilización de fosforo, producción de sideroforos y la síntesis de enzima que regula los niveles de fitohormonas entre otros y estas bacterias pueden ser aisladas del suelo e inoculadas en semillas (Amaral *et al.*, 2005).

Es así que los géneros más utilizados en la agricultura son el *Azospirillum*, *Rhizobium* y *Pseudomonas*, utilizados con el objetivo de beneficiar cultivos de interés y reducir el impacto ambiental ocasionado por los fertilizantes químicos (Hungria *et al.*, 2010).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la combinación de inoculantes con diferentes niveles de nitrógeno en el rendimiento del maíz dulce.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en una finca productiva en la ciudad de Itauguá, Departamento Central, ubicado entre las coordenadas 25º 22´59.89´´ S y 57º 20´35.88´´entre los meses de diciembre de 2016 hasta marzo de 2017.

El local donde fue instalado el experimento se caracteriza por tener un clima cálido, húmedo, temperatura media anual de 28ºC, con una precipitación pluvial anual de 1.500mm aproximadamente registrada durante el desarrollo del experimento.

El análisis de suelo antes de la instalación del experimento fue: pH 6,9; materia orgánica 1,41%, 128,34 ppm de P, 2,65 cmolc kg^{-1} de Ca^{+2}; 0,37 cmolc kg^{-1} de Mg^{+2}, 0,04 cmolc kg^{-1} de K^{+};0,02 cmolc kg^{-1} de Na^{+}, 0,00 cmolc kg^{-1} de Al^{+3} y siendo la textura areno franco.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial,con dos factores, siendo dos niveles de inoculantes PGPR (0 y 100 %) y tres niveles de nitrógeno (0, 40 y 80 kg ha^{-1}) compuesto por 7 tratamientos y 4 repeticiones totalizando 28 unidades experimentales. La superficie utilizada fue de 53 m x 6,5 m con un total de 345 m^2.

Se utilizaron semillas de maíz dulce de la variedad Bright Jeans. El pre-germinado se realizó con paños húmedo hasta la aparición de radículas luego se colocó en bandejas de plástico para la producción de plantines. Una vez obtenidos los plantines se trasplantó al lugar definitivo con un espaciamiento de 70 cm entre hilera y 30 cm entre plantas.

Para la fertilización de base no se utilizó fertilizante a base de fósforo por presentar alto contenido en el suelo, mientras que para la fertilización potasica se utilizó 117 kg ha-1 de cloruro de potasio (0-0-60), que fue aplicado en forma localizada a 15 cm de la planta, para todos los tratamientos excepto al testigo absoluto que solo fue suministrado agua durante todo el ciclo.

El fertilizante utilizado a base de nitrógeno fue la urea (45-0-0), donde fue suministrado 178 kg ha-1 mediante fertirriego en 8 aplicaciones suministrando el 75% de la dosis recomendada antes de la floración.

La parcela utilizada fue preparada en forma convencional. Un mes antes de la siembra se realizó una rastreada y con un monocultor se niveló el suelo, posterior se hizo los tablones. En la instalación del sistema de riego se utilizó cañerías de 1 pulgada, conectadas con válvulas de paso y una motobomba para el riego que fue por medio de cintas de goteo con una capacidad de 1L h^{-1}.

Para el control de *Spodoptera frugiperda* se utilizó cipermetrina en dosis recomendada por los fabricantes en una mochila pulverizadora manual de 20 litros.

Las variables evaluadas fueron longitud de la espiga, diámetro de la espiga y rendimiento de granos.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANAVA), para observar si existen diferencias significativas en los parámetros de estudios por el efecto de la inoculación, como también se realizó la comparación de medias con el Test de Tukey al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La combinación de PGPR con el nitrógeno no influyeron en la longitud de la espiga, diámetro de la espiga y en el rendimiento de granos del maíz. Tampoco se mostró diferencia significativa en las medias por PGPR y en las medias por dosis (Tabla 1).

Estos resultados coinciden con Barassi *et al.*, (2008) quienes tampoco encontraron respuesta a la inoculación de promotores de crecimiento, sin embargo, pudieron verificar que tuvo efecto en los componentes de crecimiento de la planta.

En cuanto al diámetro de la espiga resultados similares fueron observados en un experimento con diferentes dosis de nitrógeno, con y sin aplicación del inoculante a base de *Azospirillum brasilense*, donde tampoco observó diferencias estadísticamente significativas con la aplicación del inoculante, sin embargo, fueron observadas diferencias entre las dosis de nitrógeno, siendo el mayor diámetro de 52,2 mm de diámetro de la espiga, que se obtuvo con la mayor dosis de nitrógeno utilizada en el experimento que fue de 160 kg ha-1 de N (Melo 2014).

En relación a la respuesta en el rendimiento, comparando con 273 ensayos realizados en Argentina, 85 % del maíz respondió favorablemente a la utilización de promotores de crecimiento.

Los altos rendimientos de los granos podrían justificarse, en cierta manera a la utilización de inoculante, sin embrago, Hungria *et al.*, (2010) sostienen que la respuesta de las gramíneas a la inoculación puede ser influenciada por las características genéticas de las plantas, las cepas, y las condiciones ambientales, por lo tanto, los resultados obtenidos es este ensayo, pueden deberse, no solo al inoculante, sino también a la variedad del maíz, a las condiciones ambientales que se presentó durante el desarrollo del cultivo o bien a la cepa del microorganismo inoculado.

Tabla 1: Longitud de la espiga, diámetro de la espiga y rendimiento de granos. Itauguá, Paraguay, 2016

	Dosis de N kg ha -1				
	0	50	100		CV,%
PGPR	Longitud de la espiga, cm			Medias por PGPR	
Sin	15,9 ^{ns}	15,1 ^{ns}	16,3 ^{ns}	15,8^{NS}	4,91
Con	15,8	17,7	16,2	16,6	
Medias por dosis	15,85 ^{ns}	16,4	16,25		
	Diámetro de la espiga, mm				
Sin	41,3 ^{ns}	42,1 ^{ns}	42,8 ^{ns}	42,1 ^{NS}	3,74
Con	41,5	41,6	43,1	42,1	
Medias por dosis	41,4 ^{ns}	41,85	42,95		
	Rendimiento de granos, kg ha^{-1}				
Sin	6086 ^{ns}	6639 ^{ns}	6653 ^{ns}	6459 ^{NS}	10,14
Con	5936	5918	6694	6183	
Medias por dosis	6011 ^{ns}	6279	6674		

CV: Coeficiente de variación. Ns: no difieren en la fila; NS: no difieren columna por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

CONCLUSIÓN

La combinación de los promotores de crecimiento con nitrógeno no influenció en los componentes de rendimiento y en la productividad del maíz dulce.

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de la Asunción.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por financiar parte del trabajo para la ejecución del experimento.

REFERENCIAS

- Amaral filho, J.P.R.A.; Filho, D.F.; Farineli, R.; Barbosa, J.C. 2005.Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. Revista Brasileira de Ciências do Solo.29:467-473
- Basi, S; Lopes, ECP; Kaminski, TH; Pivatto, RAD; Cheng, NC; Sandini, IE. Azospirillum brasilense nas sementes e no sulco de semeadura da cultura do milho. In.: Semana de Integração, Ensino, Pesquisa e Extensão, 2. Resumos. Guarapuava: Anais da II SIEPE, 2011. 4p. ISSN-2236-7098.
- Barassi, C.A.; Sueldo, R.J.; Creus, C.M.; Carrozzi, L.E.; Casanovas, W.M.; Pereyra, M.A. 2008. Potencialidad de Azospirillum en optimizer el crecimiento vegetal bajo condiciones adversas. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: Asociación Argentina de Microbiologia, p.49-59.
- Hungria, M; Campo, RJ; Souza, EMS; Pedrosa, FO. 2010. Inoculation with selected strains of Azospirillum brasilense and A. lipoferum improves yields of maize and wheat in Brazil. Plant Soil, v. 331, n.1-2, p.
- Melo, F. H. 2014. Adubbação nitrogenada e inoculação de sementes com Azospirillum brasilense na cultura do milho. Tesis.Ing. Agr. Curitibanos. BR. Universidade Federal de Santa Catarina.Campus Curitibanos. 23p.

C3P79. EFECTO DEL ZINC SOBRE EL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE ALMIDÓN DE LOS TUBÉRCULOS DE PAPA PARA INDUSTRIA

Silva, Sandra E.; Vismara, Martina; Almada, Julieta C.; Giletto, Claudia M.; Ceroli, Paola S.; Zamuner, Ester C. y Echeverría, Hernán E.

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Ruta 226, km 73,5. Balcarce, Buenos Aires. Argentina. silva.sandra@inta.gob.ar

RESUMEN

En papa para industria cultivada en el sudeste bonaerense sería factible recurrir en el mediano plazo al agregado de zinc (Zn) como fertilizante teniendo en cuenta que es un micronutriente potencialmente deficiente y que tiene un rol clave en el metabolismo del almidón. Uno de los principales parámetros de calidad de los tubérculos es su contenido de materia seca (MS) y su principal constituyente es el almidón (ALM_{tub}). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con Zn sobre el rendimiento (RTO) y el contenido de MS y ALM_{tub}. Se realizaron cuatro ensayos de fertilización con Zn en lotes de producción de papa variedad Innovator durante el 2015/16 y 2016/17. En 2015/16 se probaron dos dosis de Zn foliar (300 y 600 g ha^{-1}) y un testigo. En 2016/17 se probaron tres dosis de Zn foliar (300, 600 y 800 g*ha^{-1}) y un testigo. El RTO varió de 50 a 77 Mg ha^{-1} incrementando significativamente con la dosis de Zn en todos los sitios. Se determinó una relación cuadrática-plateau significativa entre el rendimiento relativo y la dosis de Zn. La MS varió entre 16,5 a 20,0 %, mostrando efecto significativo el sitio y la dosis de Zn. El ALM_{tub} varió de 8,9 a 12,2 %, representó el 60 % de la MS de los tubérculos y aumentó con la dosis de Zn ($ALM_{tub} = -5.10^{-6}$ dosis Zn^2 + 0,006 dosis Zn + 9,58; $R^2 = 0,72$). Los resultados son prometedores respecto a la respuesta de la papa en rendimiento y calidad de los tubérculos a la fertilización con Zn.

Palabras clave: Innovator, fertilización foliar, calidad de tubérculos

INTRODUCCIÓN

El Sudeste Bonaerense (SEB) es una de las principales zonas de producción del cultivo de papa del país, siendo la superficie total plantada durante la campaña 2016/17 de 32.500 ha aproximadamente (Argenpapa, 2017). El tubérculo de papa cumple un rol fundamental en la seguridad alimentaria de la población porque, si bien tiene relativamente pocos nutrientes, posee un alto contenido de almidón (ALM_{tub}), el cual proporciona una buena fuente de energía. Además aporta proteínas de alta calidad, vitamina C y minerales (FAO, 2008). Su consumo como alimento procesado ha ido adquiriendo cada vez más importancia, destacándose la producción de papas prefritas congeladas y papas fritas en hojuelas.

La variedad de papa para industria de mayor difusión en el SEB es Innovator, principalmente para la producción de bastones. Esta variedad fue introducida al país debido a su resistencia al tizón tardío, calidad de fritura y alto potencial de rendimiento. El rendimiento promedio en lotes de producción es de 40 Mg ha^{-1}, alcanzando algunos productores valores de 70 Mg ha^{-1} (Caldiz, 2007) y el porcentaje de materia seca (MS) promedio de los tubérculos de 19% (Caldiz, 2004). El contenido de MS es un parámetro de calidad primordial en los tubérculos destinados al procesamiento industrial. Dentro de las células vegetales existen diversas organelas que contienen cantidades relativamente constantes de proteínas, grasas, enzimas, etc., por lo cual las diferencias en el contenido de MS de los tubérculos es consecuencia de las variaciones en el ALM_{tub}. Éste representa aproximadamente entre el 60 y el 80 % de la MS total de los tubérculos (Liu *et al*., 2003; FAO, 2008).

El cultivo de papa de elevado rendimiento requiere del suministro de cantidades significativas de nutrientes, los que deberán ser provistos en tiempo y forma a fin de maximizar la captación de los mismos (Echeverría & Giletto, 2015). El zinc (Zn) es uno de los micronutrientes esenciales para el normal desarrollo y crecimiento (Marschner, 1986) y uno de sus roles principales en los tejidos vegetales es su participación en el metabolismo de los carbohidratos y en el proceso de conversión de azúcares en almidón (Alloway, 2008). Por lo tanto, un adecuado suministro de Zn al cultivo, podría favorecer la síntesis de ALM_{tub}, aumentar la MS y mejorar la calidad nutricional de los tubérculos.

Los suelos agrícolas del SEB presentan rangos de disponibilidad de medios (1,0 – 1,5 mg kg^{-1}) a altos (1,5 – 2,0 mg kg^{-1}) de Zn extractable con DTPA del horizonte superficial (0-20 cm) para cultivos de grano (Sainz Rozas *et al*., 2013). Sin embargo, la intensificación agrícola de los últimos años ha disminuido el contenido de materia orgánica de los suelos de la Región Pampeana y extrapampeana, los que en algunos casos presentan el 50 % del nivel de materia orgánica

original (Álvarez, 2001; Lavado, 2006). Dicho factor, es determinante en la presencia y distribución de Zn en el suelo (Roca *et al*., 2007; Sainz Rozas *et al*., 2008). Además, existen evidencias que la concentración de Zn en hoja estuvo próxima al límite inferior de suficiencia en diferentes etapas del ciclo del cultivo (Silva, 2015; Vismara, 2017). Por estas razones se podría considerar que el Zn sería uno de los micronutrientes con mayor potencial de deficiencia en el cultivo de papa de alta producción en el SEB.

Dada la importancia de las funciones metabólicas del Zn y que es un micronutriente potencialmente deficiente en la zona, sería factible recurrir en el mediano plazo a su agregado como fertilizante. En la actualidad es escasa la información sobre el efecto de la fertilización con Zn en papa para industria. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización foliar con Zn sobre el rendimiento y el ALM_{tub}.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las campañas 2015/16 (sitios 1 y 2) y 2016/17 (sitios 3 y 4) se realizaron ensayos de fertilización con Zn en lotes de producción de papa para industria variedad Innovator. Los sitios 1, 2 y 3 estuvieron ubicados en el partido de General Pueyrredón y el sitio 4 en el partido de Balcarce, provincia de Buenos Aires. El suelo de los cuatro sitios pertenece al subgrupo Argiudol típico (USDA, 1999) sin limitaciones en su capacidad de uso. Previo a la plantación se realizó un análisis de suelo (Tabla 1). El pH del suelo se determinó mediante la relación suelo:agua de 1:2,5 v/v, el contenido de materia orgánica se determinó por el método de Walkley & Black (1934), nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) por el método de Bremner (1965) y Keeney & Nelson (1982) y el P extractable por el método de Bray & Kurtz (1945). La concentración de Zn se determinó mediante extracción con DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) y su posterior cuantificación mediante espectrofotometría de absorción atómica.

Tabla 1: Características edáficas (0-20 cm) previas a la plantación, fecha de plantación y cosecha para el cultivo de papa en los cuatro sitios experimentales, campañas 2015/16 (sitios 1 y 2) y 2016/17 (sitios 3 y 4).

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
pH	5,8	5,8	5,5	6,2
MO (%)	6,5	6,7	6,3	4,4
$N\text{-}NO^{-3}$ (mg kg^{-1})	10,4	14,0	15,7	5,6
P (mg kg^{-1})	32,8	22,5	26,5	19,0
Zn (mg kg^{-1})	1,9	1,8	1,9	1,2
Fecha de plantación	08/10/2015	10/10/2015	09/10/2016	27/10/2016
Fecha de cosecha	24/02/2016	24/02/2016	07/03/2017	02/03/2017

MO = materia orgánica; $N\text{-}NO_3^-$ = nitrato; P = fósforo; Zn = zinc

La preparación del suelo se realizó de acuerdo a la modalidad de la zona utilizando rastra de discos, cincel y vibrocultivador y se levantó el surco con aporcador antes que el cultivo alcanzara el 100% de cobertura. El control de plagas y enfermedades se realizó mediante la aplicación de agroquímicos específicos y el control de malezas fue realizado con métodos mecánicos y químicos. Para evitar deficiencias hídricas en el cultivo se regó a partir de los 40-45 días después de la plantación (ddp) y hasta mediados de febrero.

Para todos los ensayos, se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Cada unidad experimental tuvo una superficie de 34 m^2 (8 surcos de 5 m de largo y 0,85 m de distancia entre surcos). En la campaña 2015/16 se probaron dos dosis de Zn (300 y 600 g ha^{-1}) y un testigo sin fertilizar. En la campaña 2016/17 se probaron tres dosis de Zn (300, 600 y 800 g ha^{-1}) y un testigo sin fertilizar. En todos los casos, el Zn se aplicó de manera foliar en una suspensión concentrada (70% Zn) a razón de 100 L de agua ha^{-1} a los 60 ddp. Para realizar la aplicación se utilizó una mochila manual de presión constante con botalón de 120 cm, provisto de 4 boquillas distanciadas a 30 cm y pastillas de

cono hueco. En todas las unidades experimentales, se recurrió a la fertilización con N y P para asegurar que dichos nutrientes no limitaran el crecimiento del cultivo.

Se cosecharon en forma manual 2 m de cada uno de los 2 surcos centrales de cada unidad experimental a los 139, 137, 150 y 127 ddp para los sitios 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Se estimó el rendimiento total (RTO) y se calculó el rendimiento relativo (RR) como la relación entre el rendimiento promedio de cada tratamiento y el mayor rendimiento promedio de cada sitio. De cada unidad experimental, se seleccionaron aproximadamente 30 tubérculos sanos de tamaño comercial (> 50 mm de diámetro) y se cortaron en octavos en forma longitudinal. Una alícuota de 350 g de los cortes de los tubérculos fueron secados en estufa con circulación de aire forzado a 60 °C hasta peso constante, luego fueron molidos con molinillo de cámara, cuchillas y malla de acero inoxidable y se conservaron a temperatura ambiente hasta el momento de realizar la determinación de ALM_{tub}. Con el peso fresco y seco de cada alícuota se calculó el porcentaje de MS de los tubérculos (método gravimétrico). Se cuantificó el ALM_{tub} por el método polarimétrico de Ewers (FEDNA, 2000). Dicho método consiste, en una hidrólisis ácida de la muestra de tubérculos seca y molida y la cuantificación del ALM_{tub} mediante el uso de un polarímetro (CARL ZEISS 84526) que mide la rotación de la luz polarizada de una lámpara de sodio estándar al atravesar la muestra problema. Se realizaron tres mediciones por cada tratamiento y repetición.

El efecto de la dosis de Zn sobre RTO, MS y ALM_{tub} fue analizado mediante análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa Statistical Analysis Systems (SAS Institute, 2002). Las medias de cada tratamiento fueron comparadas mediante la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) si el ANOVA fue significativo. Se ajustaron modelos de regresión entre las variables utilizando el PROC REG.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El RTO del cultivo varió de 50,0 a 77,1 Mg ha^{-1} (Tabla 2) y fue similar al rendimiento promedio de la variedad Innovator (70 Mg ha^{-1}) registrado en lotes de alta producción del SEB (Caldiz, 2007). La fertilización con Zn aumentó significativamente el RTO del cultivo en los sitios 2, 3 y 4. En el sitio 1, el RTO tendió a aumentar con la dosis de Zn aunque no se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 2). Si bien el nivel de Zn en el suelo de los cuatro sitios (Tabla 1) se encontró en el rango de disponibilidad de medio a alto para cultivos de grano (Sainz Rozas *et al*., 2013) y en todos los casos superó al valor considerado como umbral para extracciones con DTPA para el cultivo de maíz en la Región Pampeana (1,06 mg kg^{-1}) (Barbieri *et al*., 2017) se ha determinado respuesta del cultivo de papa al agregado de Zn. Esto pone de manifiesto la necesidad de establecer rangos de disponibilidad y umbrales que se ajusten al cultivo de papa, datos hasta el momento no definidos. Asimismo, se determinó una relación cuadrática-plateau y significativa entre el RR y la dosis de Zn (Figura 1), datos que serán validados con sucesivas investigaciones.

Tabla 2: Rendimiento total del cultivo de papa en los cuatro sitios experimentales, campañas 2015/16 y 2016/17

		Dosis de Zn (g ha^{-1})				valor p	R^2
		0	300	600	800		
RTO	Sitio 1	50,0 a	52,5 a	63,9 a	---	ns	0,74
(Mg ha^{-1})	Sitio 2	58,5 b	71,1 ab	77,1 a	---	*	0,83
	Sitio 3	60,1 b	71,8 a	71,8 a	69,4 a	**	0,82
	Sitio 4	53,3 b	67,5 ab	72,4 a	63,9 ab	*	0,63

RTO: rendimiento total. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos, ns = no significativo; * $p \leq 0,1$; ** $p \leq 0,05$

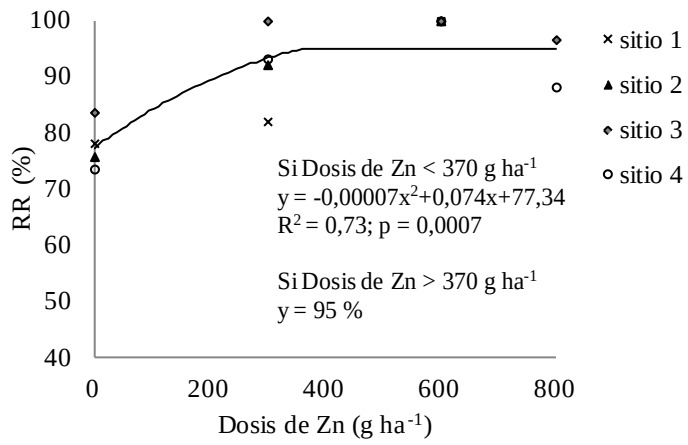


Figura 1: Relación entre el rendimiento relativo del cultivo de papa y la dosis de zinc aplicada en cuatro sitios experimentales, campañas 2015/16 y 2016/17

El contenido de MS de los tubérculos varió de 17,4 a 20,0 % en los sitios 1, 2 y 3 y fue similar al valor promedio de la variedad Innovator obtenido en lotes de producción del SEB (19%) (Caldiz, 2004; Giletto *et al*., 2011). En cambio, en el sitio 4 la MS varió de 16,5 a 17,7 % y estuvo por debajo del valor promedio para dicha variedad. El manejo del riego, en las etapas finales del ciclo, probablemente afectó de manera desfavorable al contenido de MS en este sitio. La fertilización con Zn aumentó significativamente el contenido de MS de los tubérculos (Tabla 3), registrándose los menores valores en los testigos. Asimismo, la MS mostró una asociación significativa con la dosis de Zn, pero ésta fue afectada por el sitio (Figura 2a).

Tabla 3: Materia seca y contenido de almidón de los tubérculos en los cuatro sitios experimentales, campañas 2015/16 y 2016/17

		Dosis de Zn (g ha^{-1})				valor p	R^2
		0	300	600	800		
MS (%)	Sitio 1	18,0 b	19,9 a	20,0 a	---	***	0,98
	Sitio 2	17,9 b	19,4 ab	19,9 a	---	*	0,82
	Sitio 3	17,4 b	18,6 a	19,1 a	19,2 a	***	0,90
	Sitio 4	16,5 c	17,1 b	17,7 a	17,5 a	***	0,94
ALM_{tub} (%)	Sitio 1	9,2 b	11,9 a	12,2 a	---	***	0,94
	Sitio 2	8,9 b	10,6 a	10,8 a	---	*	0,85
	Sitio 3	10,1 c	10,8 b	11,5 a	11,5 a	***	0,89
	Sitio 4	10,2 b	10,6 ab	11,7 a	11,2 ab	*	0,73

MS: materia seca; ALM_{tub}: almidón de los tubérculos. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos, * $p \leq 0,1$; ** $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,01$

El ALM_{tub} varió de 8,9 a 12,2 % y fue afectado significativamente por la fertilización con Zn en los cuatro sitios (Tabla 3). Asimismo, el ALM_{tub} mostró una asociación estrecha y significativa con la dosis de Zn (Figura 2b), demostrando ser independiente del sitio. Estos resultados se corresponden con lo informado por Alloway (2008), quien determinó que el Zn juega un rol clave en el metabolismo del almidón ya que el ALM_{tub}, el número de gránulos de almidón y la actividad de la enzima almidón sintetasa aumentan en plantas bien provistas de Zn. Asimismo, Mehul

Parmar *et al*. (2016) determinaron que la aplicación de Zn foliar en papa aumentó el ALM_{tub}. En la Figura 3 se observa la relación entre el ALM_{tub} y la MS para los datos experimentales de este trabajo y para datos de variedades cultivadas en el SEB (datos experimentales otorgados por el Laboratorio de Calidad y Tecnología de Poscosecha y Alimentos, INTA Balcarce). De esta manera se determinó que el ALM_{tub} representa el 60 % de la MS, coincidiendo con lo reportado en la bibliografía (Liu *et al*., 2003; FAO, 2008).

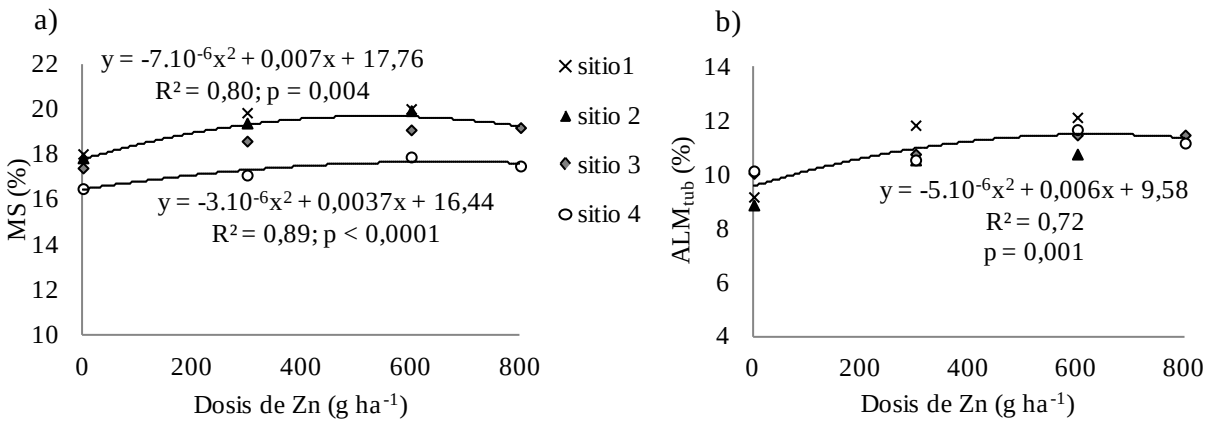


Figura 2: Contenido de materia seca (a) y de almidón (b) de los tubérculos a la cosecha en función de las dosis de zinc aplicada en cuatro sitios experimentales, campaña 2015/16 y 2016/17

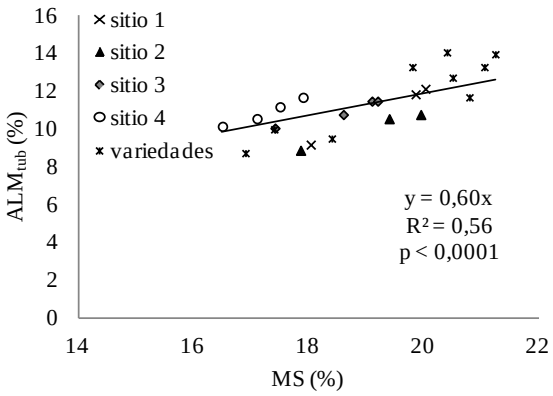


Figura 3: Relación entre el contenido de almidón (ALM_{tub}) y de materia seca (MS) de los tubérculos para los cuatro sitios experimentales, campaña 2015/16 y 2016/17 y datos experimentales de variedades cultivadas en el Sudeste Bonaerense

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos bajo las condiciones de crecimiento del cultivo de papa en el SEB, mostraron que la fertilización con Zn incrementó el RTO, el contenido de MS y de ALM_{tub}. También se demostró que el ALM_{tub} fue independiente del manejo del sitio y que representó el 60% de la MS de los tubérculos. Estos resultados son prometedores, pero es necesario seguir evaluando la respuesta del cultivo de papa a la fertilización con Zn bajo condiciones de crecimiento con deficiencia de Zn en el suelo para validar los umbrales establecidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alloway, BJ. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. International Fertilizer Association and International Zinc Association eds. Brussels, Belgium and Paris, France. 135 p.
- Álvarez, R. 2001. Estimation of carbón losses by cultivation from soils of the Argentine Pampa using the Century Model. Soil Use and Man. 17: 62-66.
- Argenpapa. 2017. Argentina (Buenos Aires): Leve incremento de la superficie con papa en el Sudeste. http://www.argenpapa.com.ar/noticia/150-argentina-buenos-aires-leve-incremento-de-la-superficie-con-papa-en-el-sudeste. Fecha de consulta: 25/01/2017.

- Barbieri, PA; HR Sainz Rozas; N Wyndgaard; M Eyherabide; NI Reussi Calvo; F Salvagiotti; AA Correndo; PA Barbagelata; GP Espósito Goya; JC Colazo & HE Echeverría. 2017. Can edaphic variables improve DTPA-based zinc diagnosis in corn? Soil Sci. Soc. Am. J.- Soil Fertility & Plant Nutrition. Vol 81. No. 3, p. 556-563.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 360-361.
- Bremner, JM. 1965. Total nitrogen In: Page, A.L.; Miller, R.H.; Keeney, D.R. (eds.) Methods of soil analysis. Chemical and Microbiological Properties, ASA, SSSA, Madison WI. Agronomy Monograph 9.2: 1149-1178.
- Caldiz, DO. 2004. Características y manejo de la variedad Innovator. Del Campo a la Fábrica 4(4):3-5.
- Caldiz, DO. 2007. Producción, cosecha y almacenamiento de papa en la Argentina. 2ºed. McCain Argentina SA, Balcarce-BASF Argentina S.A., Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. pp.13-17; pp. 41-46.
- Echeverría, HE & CM Giletto. 2015. Papa. En: Echeverría, H. E. & García F.O. (eds.) Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. INTA EEA Balcarce, Buenos Aires. Argentina pp.585-605.
- FAO. 2008. Las papas, la nutrición y la alimentación. http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/hojas.html. Fecha de consulta: 12/10/2017.
- FEDNA, 2000. Almidón. Método polarimétrico (EWERS) Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal España. http://www. Fundacionfedna .org/tecnicas _de_analisis/almidón-método-polarimétrico-ewers. Fecha de consulta: 15/05/2017.
- Giletto, CM; JE Rattin, HE Echeverría & DO Caldiz. 2011. Requerimiento de nitrógeno para alcanzar máximo rendimiento y calidad en variedades industriales de papa. Revista Facultad de Ciencias Agrarias. Cuyo. 43(1):85-95.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page, A.L. et.al. (eds.) Methods of soil analysis. pt. 2. Chemical and microbiological properties ASA, SSSA, Madison, WI. Agronomy Monograph 9 pp. 643-698.
- Lavado, R. 2006. La Región Pampeana: Historia, características y uso de sus suelos. En: Álvarez, R. (ed.) Materia Orgánica "Valor Agronómico y Dinámica en Suelos Pampeanos" Editorial Facultad de Agronomía, UBA. Buenos Aires, Argentina. pp. 1- 11.
- Lindsay, WL & WA Norvell. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421–428.
- Liu, Q; E Weber; V Currie & R Yada. 2003. Physicochemical properties of starches during potato growth. Carbohydrate Polymers 51:213-221.
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Institute of Plant Nutrition. University Hohenheim. Federal Republic of Germany. Academic Press. 542 p.
- Mehul Parmar, L; BM Nandre & Y Pawar. 2016. Influence of foliar supplementation of zinc and manganese on yield and quality of potato, Solanum tuberosum. International Journal of Farm Science 6 (1):69-73.
- Roca, N; MS Pazos & J Bech. 2007. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO argentino. Cienc. suelo 25(1): 31-42.
- Sainz Rozas, HR; HE Echeverría & H Angelini. 2008. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la Región Pampeana y Extrapampeana. 21° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis, 13-15 de mayo de 2008. pp.33-39.
- Sainz Rozas, HR; M Eyherabide; HE Echeverría; P Barbieri; H Angelini; GE Larrea; G Ferraris & M Barraco. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? Actas del Simposio Fertilidad. Rosario, 22 a 23 de Mayo de 2013.
- SAS Institute. 2002. The SAS System for Windows. Release version 6.12. SAS Inst., Cary, NC.
- Silva, SE. 2015. Incidencia de la fertilización con nitrógeno y fósforo sobre la concentración de micronutrientes catiónicos en tejidos del cultivo de papa variedad Innovator. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. 64 p.
- USDA. 1999. Mollisols In: Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd. ed. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. Agriculture Handbook N° 436 pp. 555-654.
- Vismara, M. 2017. Fertilización con zinc en papa para industria: rendimiento y calidad de tubérculos. Tesis para optar al grado de Ingeniera Agrónoma. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. 23 p.
- Walkley, A & Y Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-37.
- Zamuner, EC; J Lloveras & HE Echeverría. 2016. Use of a critical phosphorus dilution curve to improve potato crop nutritional management. American Journal Potato Research. 93: 392-403.

C3P80. CAMBIOS EN LAS FORMAS DEL ZN DEL SUELO PROMOVIDOS POR LA APLICACIÓN DE RESIDUOS AVIARES COMPOSTADOS.

Tysko, Mónica* y Juan J. Loperfido.
Departamento de Cs. Básicas. Universidad Nacional de Lujan. Ruta 5 y 7. Lujan. Pcia. de Buenos Aires. Argentina.
myskot@gmail.com*

RESUMEN

El zinc es esencial en la nutrición de las plantas sin embargo se ha observado su deficiencia debido a los balances negativos que se producen por la falta de reposición de este nutriente a los cultivos. El contenido total Zn en un suelo no proporciona información acerca de la disponibilidad o riesgos potenciales de toxicidad de este metal. El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios en las distintas fracciones de Zn en un suelo bajo cultivo de trigo luego de la aplicación de compost de residuo aviar (CRA). Se realizaron los siguientes tratamientos: control (C): suelo natural, Tratamiento 1 (T1): 5000 kg*ha^{-1} (dosis de CRA determinada en base a los requerimientos de N del cultivo) y Tratamiento 2 (T2): 1250 kg*ha^{-1} (dosis de CRA en base a los requerimientos de P). Las determinaciones realizadas al inicio y fin del ensayo fueron: Carbono orgánico (CO), Nitrógeno Orgánico Total (N_{TOTAL}), Fosforo extractable (P_{Bray}), pH, la Conductividad eléctrica (CE), Zn total (Zn_{TOTAL}) y Zn extractable (Zn_{DPTA}). Además se analizó la distribución de distintas fracciones químicas de Zn asociadas al suelo y al CRA por un método de fraccionamiento secuencial (SSE). La aplicación de CRA modificó significativamente la distribución de Zn en el suelo sin afectar el contenido de Zn total y su disponibilidad para el cultivo. La mayor dosis de CRA permitió conservar la distribución de Zn inicial. Se encontró correlación significativa entre las distintas fracciones de Zn en el suelo lo que indica una alta movilidad de este elemento en el suelo. Estos resultados constituyen un avance en el conocimiento de la dinámica del Zn proveniente de los residuos aviares compostados aplicados al suelo.

Palabras claves: Micronutriente, Abono orgánico, extracción secuencial.

INTRODUCCIÓN

El zinc es esencial en la nutrición de las plantas, y cada vez es más notoria su deficiencia debido a los balances negativos que se producen por la escasa reposición de este nutriente. El contenido total Zn en un suelo representa la suma de todas las formas en las que el Zn se encuentra asociado a distintas fracciones geoquímicas o pooles y no proporciona información acerca de su biodisponibilidad o riesgos potenciales de toxicidad de este metal. La distribución de estos pools o fracciones de Zn está determinada por las constantes de equilibrio de las reacciones químicas en las que participa. Así, la interacción entre los distintos procesos como adsorción/desorción, precipitación/disolución y formación de complejos, afectan la distribución de los metales entre la solución suelo y la fase sólida y son los responsables de su movilidad y biodisponibilidad (Silveira *et al*., 2003). Existen distintos métodos que permiten identificar y cuantificar las distintas fracciones de Zn, siendo el métodos de extracción secuencial (SSE) uno de los más utilizados. Estos métodos se basan en la aplicación de extractante en forma sucesiva en la cual, cada reactivo libera el Zn retenido por un componente de la fase sólida sin afectar al resto. Esta determinación representa una medida de la fuerza de unión de este elemento con distintos componentes del suelo, dando una idea aproximada de su labilidad y por lo tanto de su biodisponibilidad potencial. El SSE propuesto por Álvarez (2007) permite identificar cinco fracciones que difieren en su solubilidad frente a distintos extractantes. Estas fracciones son: soluble en agua e intercambiable (SOL), adsorbido o complejado con la materia orgánica lábil (ORG), retenido en óxidos de manganeso por oclusiones (MnOx), retenido en óxidos de hierro (FeOx) y asociado a minerales primarios(RES). Se ha considerado que las fracciones de zinc solubles en agua, intercambiables y quelados están en equilibrio reversible entre sí y se dice que el zinc en estas fracciones está fácilmente disponible para las plantas .Las fracciones MnOx y FeOx presentan una disponibilidad moderada y la última fracción (RES) es considerada como una fracción no disponible en el corto plazo. La magnitud de estas fracciones dependen de su interacción con distintas propiedades del suelo (Sharma *et al*., 2004). La aplicación de fertilizantes genera una serie de reacciones físicas, químicas y biológicas que pueden afectar la distribución del Zn en los distintos pools modificando su concentración en la solución y por lo tanto su disponibilidad para los cultivos. En general, las investigaciones realizadas hasta el momento, enfocaron sus estudios en suelos contaminados o bajo la aplicación de fertilizantes inorgánicos existiendo poca información sobre los efectos de la aplicación de residuos orgánicos sobre estas fracciones. Según Kiekens (1995), la aplicación de compost de residuos animales y estiércol es mencionada como uno de los factores antropogénicos más importantes que incrementan las cantidades de zinc en el suelo. En nuestro país es cada vez más frecuente el uso de residuos derivados de producciones avícolas (RA) como abono. El compost de RA (CRA)

formado por estiércol cama de cría, restos de alimentos y aves muertas es uno de los residuos generados en la producción avícola y presentan ventajas sobre los residuos frescos. El proceso de compostaje sobre los RA produce una reducción los patógenos y la viabilidad de las semillas de malezas, aumentando su estabilidad y uniformidad. También, como la mayoría de los compost, constituyen una importante fuente y reserva de macro y micronutrientes cuya cantidad y fracción es variable según la proporción de los materiales que lo constituyen. La aplicación de compost al suelo induce a mejoras de la fertilidad química y el almacenamiento de C orgánico que influye directamente sobre la estructura del suelo, su capacidad de intercambiar iones y su capacidad buffer (Bolan *et al*., 2010). Además, los CRA son ricos en Zn debido a que este elemento se suministra a las aves durante su crianza como suplemento mineral y es eliminado en alta proporción a través del estiércol en razón de la baja eficiencia de absorción en el intestino de las aves. Los CRA presentan una relación estequiométrica desbalanceada y variable entre los nutrientes respecto a la que se encuentra en el suelo y los cultivos. Esto puede afectar la dinámica de los nutrientes en el suelo luego de su aplicación, razón por la cual se hace imprescindible conocer tanto su composición química previo a la aplicación como los efectos posteriores para aplicar prácticas de manejo sustentables a fin de abastecer al cultivo, evitando potenciales problemas de contaminación. El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios en la concentración de Zn total y su distribución en un suelo bajo cultivo de trigo luego de la aplicación de residuo aviar compostado (CRA).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue llevado a cabo en un lote bajo producción de trigo en la localidad de Lujan (34°40'36.2"S - 59°06'22.4"W). El CRA fue obtenido en una granja avícola dedicada a la producción de pollos parrilleros y está compuesto por capas sucesivas de cama de pollo, restos de alimentos, estiércol y aves muertas durante la crianza, que se compostaron durante 75 días. Se tomaron muestras de suelo y CRA para caracterizarlos químicamente. Los tratamientos aplicados fueron: Tratamiento control (**C**): Sin aplicación de CRA, Tratamiento 1 (**T1**): Se aplicó una dosis de CRA que permitió cubrir los requerimientos de N del cultivo para un rendimiento esperado de 4100 kg.ha. La dosis fue de 5000 kg.ha^{-1} de CRA que correspondió a: 124 kg.ha^{-1} de N ,55 kg.ha^{-1} de P y 2.5 kg.ha $^{-1}$ de Zn) y Tratamiento 2 (**T2**): Se aplicó una dosis de CRA que permitió cubrir los requerimientos de P del cultivo para un rendimiento esperado de 4100 kg.ha, al que se le agregó además una dosis de urea para completar el requerimiento de N del cultivo, debido al desbalance nutricional del CRA (La relación N:P del CRA=1.6 :1 respecto de la relación N:P del cultivo= 6:1). En este tratamiento la dosis fue de 1250 kg.ha $^{-1}$ de CRA que correspondió a 124 kg.ha^{-1} de N, 15 kg.ha^{-1} de P y 0.63 kg.ha $^{-1}$ de Zn. En el suelo se determinó al inicio y fin del ensayo: Carbono orgánico (CO) mediante método de Walkey y Black , Nitrógeno Orgánico Total (N_{TOTAL}) por el método de Kjeldahl , Fosforo extractable(P_{Bray}) determinado colorimétricamente luego de su extracción con el extractante Bray I , el pH se midió potenciométricamente utilizando una relación 1:2,5 en agua, la Conductividad eléctrica (CE) medida conductimétricamente en una relación 1:2,5 en agua, Zn total (Zn_{TOTAL}) se determinó por espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), Zn extractable (Zn_{DPTA}): se extrajo con ácido dietilentriamino-pentaacético-DPTA) y se cuantificó por EAA.

En el CRA se determinaron los siguientes parámetros: Carbono orgánico total (COT) por el método de combustión seca, N_{TOTAL} utilizando el método Kjeldahl, P_{TOTAL}: mediante un método colorimétrico luego de una digestión húmeda, pH por potenciométria en una relación 1: 5 en agua, CE por conductimetría en una relación 1: 5 en agua, Zn_{TOTAL} se determinó por EAA luego de una digestión húmeda, Zn_{DPTA} por EAA luego de una extracción con DPTA. Además se analizó la distribución de distintas fracciones químicas de Zn asociadas al suelo y al CRA por un método de fraccionamiento secuencial extrayendo sucesivamente el Zn asociado a distintos componentes de la fase solida de cada una de las matrices, con distintos siguiendo la metodología propuesta por Álvarez,(2007) (Figura 1) .

Figura 1: Esquema descriptivo del procedimiento de extracción secuencial (SSE) detallando los reactivos y condiciones químicas utilizados. (Elaboración propia)

El diseño experimental fue en bloque completos aleatorizados con cuatro repeticiones. A los resultados obtenidos se les aplicó el análisis de la varianza (ANOVA) previa verificación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad. La diferencia entre las medias se detectó por aplicación del test LSD ($p <= 0,05$). Además se evaluó la correlación entre las distintas fracciones de Zn a partir de los coeficientes de correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización química y fraccionamiento de Zn en el CRA

Como característica principal del CRA se destaca, que debido a su origen, es un material que posee alto contenido de carbono orgánico y rico en nutrientes. Su pH es alcalino y su conductividad eléctrica elevada (Tabla 1). Los niveles de N_{TOTAL} y P_{TOTAL} se encuentran dentro de los rangos presentados en distintas citas bibliográficas para materiales compostados de origen animal. (Barbazán *et al*, 2011).

Tabla 1: Caracterización química del CRA utilizado en el ensayo. pH : Relación compost: agua 1:5; CE: conductividad eléctrica ;COT: Carbono orgánico total ; N_{TOTAL}: Nitrógeno orgánico total; P_{TOTAL}: fosforo total; Zn_{DPTA} : Zn extractable; Zn_{TOTAL} : Zn total

Humedad %	pH_{H2O} 1:5	CE dS m^{-1}	COT %	N_{total} %	Rel. C:N	P_{TOTAL} %	Zn_{TOTAL} %
49,9	8,2	6,86	22,3	1,75	12,7	1,1	0,051

El contenido de Zn total en el CRA resultó elevado y se ubica dentro del rango de lo informado por otros autores (Vukobratović, *et al*., 2014). Es importante destacar que la concentración de Zn se encuentra por debajo del límite máximo (1100 mg Zn.kg $^{-1}$) establecido por la normativa vigente para compost de uso agrícola (Res. 264/2011) SENASA, (2011). Además, se observó una relación estequiometria desbalanceada y variable entre los nutrientes respecto a la que se encuentra en el suelo y los cultivos, confirmando otra característica propia del CRA (Tabla 2).

Tabla 2: Relación estequiométrica de nutrientes en los materiales en estudio.

	N:P	N:Zn	P:Zn
CRA	1,6	34	22
SUELO	3	30	9
TRIGO	6	577	86

La distribución de Zn asociada a distintos componentes del CRA fue:

RES (285,25 mg kg^{-1}) > FeOX (123,6 mg kg^{-1}) > ORG (56 mg kg^{-1}) > MnOx (37 mg kg^{-1}) > SOL (3,25 mg kg^{-1}).

Esta distribución indica que un 43% del Zn del CRA se encontraría en formas lábiles y moderadamente lábiles y podría estar disponible para los cultivos en el corto y mediano plazo. La fracción residual (RES) fue la extraída en mayor proporción constituyendo el 57% del CRA y no se espera que bajo condiciones normales, se libere durante cortos períodos de tiempo (Gupta & Sinha, 2007). A pesar de ello, existen evidencias que indican que la interacción de estas fracciones con distintos parámetros del suelo podría modificar la labilidad de este material (Alloway, 2008).

Caracterización química y fraccionamiento de Zn en el suelo al inicio del ensayo

El suelo bajo ensayo mostró características similares a los suelos promedio de la zona. El bajo contenido de P extractable (P_{Bray}: 6,6 p mg.kg^{-1}) indica la deficiencia de este nutriente ya que se encuentra por debajo del umbral propuesto para un cultivo de trigo. El nivel de Zn_{TOTAL} en el suelo fue de 50,7 mg.kg^{-1} y coincide con el rango promedio presentado en la bibliografía, mientras que el valor de Zn_{DPTA} presenta valores por debajo del umbral (1 mg.kg^{-1}) sugerido tanto local como internacionalmente (Sims & Johnson, 1991).

La distribución Zn_{TOTAL} del suelo en distintas fracciones al comienzo del ensayo fue:

RES (34,9 mg kg^{-1}) > FeOx (8,8 mg kg^{-1}) > SOL (3,0 mg kg^{-1}) > MO ORG (2,9 mg kg^{-1}) > MnOx (1,3 mg kg^{-1}).

La especiación mostró que el Zn en este suelo se encuentra asociado principalmente a RES. Esta fracción represento 67 % del Zn total, coincidiendo con lo observado por distintos autores (Kumar & Qureshi, 2012) quienes indican que la fracción de Zn más importante está asociada a minerales primarios y secundarios y poco disponible para los cultivos.

Zn_{TOTAL} y Extracción secuencial de Zn en el suelo luego de la cosecha del trigo

La concentración de Zn $_{TOTAL}$ posterior a la cosecha del trigo fue 48,76; 49,21 y 50,92 mg.kg^{-1} para el C, T1 y T2 respectivamente y no se vio modificada significativamente por la aplicación de CRA. Posterior a la cosecha de trigo, se observaron cambios en la distribución de Zn en las fracciones en C y T2 mientras que en T1 la distribución de Zn fue similar a la inicial (Figura 2).

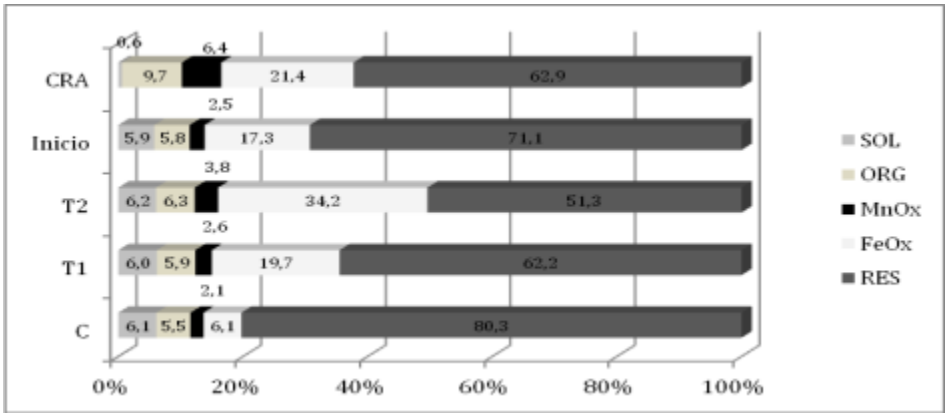


Figura 2: Proporción relativa de las distintas fracciones de Zn en el CRA y en el suelo al inicio y fin del ensayo. C: Control T1: Dosis 1 (5000 kg CRA.ha^{-1}) ,T2: Dosis 1 (1250 kg CRA.ha^{-1})

Se encontraron diferencias significativas entre las fracciones ORG, MnO_X, FeOx y RES (Tabla 3) mientras la fracción soluble no mostró diferencias entre tratamientos.

Tabla 3: Concentración de Zn (mg.kg^{-1}) asociado a cada una de las distintas fracciones posterior a la cosecha del cultivo de trigo. Letras diferentes indican diferencias significativas ente tratamiento ($p<0,05$).

	Fracciones				
Tratamientos	SOL	ORG	MnOx	FeOx	RES
C	3,0 a	2,7 b	1,0 b	3,0 c	39,4 a
T1	2,8 a	2,7 b	1,2 ab	9,2 b	33,2 ab
T2	3,1 a	3,2 a	1,9 a	17,4 a	25,2 b

El Zn asociado a ORG se vio modificado solo en T2 aumentando un 18,5% respecto del C y T1. El Zn en MnOx se incrementó en 20 y 90% en T1 y T2 respecto del control; sin embargo solo hubo diferencias significativas entre este último y T2. La fracción FeOx, también se vio incrementada, T2 fue dos y cinco veces superior al de T1 y C demostrándose que no existe una relación lineal entre las dosis de CRA aplicada y la distribución de Zn en esta fracción. En RES se observó una disminución de la concentración de Zn por efecto de la aplicación de CRA, sin embargo solo fue significativa en T2. Se pudo comprobar además, que existe correlación entre las distintas fracciones, siendo positiva para las fracciones lábiles y moderadamente lábiles (MnOx, SOL, ORG y FeOx) y negativa entre RES, FeOx y MnOx (Tabla 4). Esto se debería al desplazamiento de los equilibrios disturbados por la aplicación de CRA y absorción de Zn por parte del cultivo. En particular, la alta correlación negativa entre RES y FeOx demostraría la removilización de Zn desde la fracción más estable hacia las más lábiles luego del agregado de CRA, hecho que ha sido comprobado también por Wong y Selvam (2006).

Tabla 4: Coeficientes de correlación entre las fracciones de Zn en el suelo y con otras variables de suelo. (* y ** indican niveles de significancia de 0.05y 0.01)

	CE	FeOx	ORG	RES	SOL	pH	Zn_{DPTA}
FeOx	-0.337						
ORG	-0.5919*	0.6821*					
RES	0.291	-0.843**	-0.4319				
SOL	-0.6602*	0.2474	0.1056	-0.2884			
pH	-0.272	0.3547	0.1878	-0.3444	-0.0076		
Zn_{DPTA}	0.6624*	-0.4741*	-0.4574	0.1643	-0.6869*	-0.0373	
MnOx	-0.6562*	0.6268*	0.3606	-0.6712*	0.7801*	0.2086	-0.579*
P_{Bray}	0.0554	0.2035	0.1338	-0.4968	-0.0762	-0.2155	0.4092

Al analizar la correlación de las fracciones de Zn y los distintos parámetros del suelo se observó una correlación negativa entre la CE y las fracciones más lábiles. Esto podría deberse la formación de compuestos insolubles de Zn. También se encontró correlación negativa entre las fracciones más lábiles y el Zn_{DPTA} indicando que los pooles SOL, MnOx y FeOx serían las principales fuentes del zinc disponible en el suelo (Kumar *et al*, 2004). La significativa correlación de las fracciones de Zn indica que este nutriente es muy dinámico en el suelo, movilizándose desde fracciones más estables hacia las fracciones más lábiles.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran que el CRA es un abono apto para su uso en agricultura y con un contenido de Zn que se encuentra debajo de los límites máximos establecido por la normativa. Su aplicación al suelo modificó significativamente la distribución de Zn en el suelo sin afectar el contenido de Zn total y su disponibilidad para el cultivo. Dentro de los parámetros de suelo estudiados, la CE mostró una correlación negativa con las fracciones de Zn más solubles, producido probablemente por la formación de sales insolubles de Zn. El Zn_{DPTA} correlacionó negativamente con las fracciones más lábiles de Zn lo que indicaría que estas fracciones son las fuentes de Zn para el cultivo. Los resultados obtenidos indicarían que el Zn es un elemento sumamente dinámico y de alta movilidad. La aplicación de CRA en dosis adecuadas a los requerimientos de N del cultivo permitiría aportar Zn sin afectar el contenido ni la distribución de este elemento en el suelo. Estos resultados constituyen un avance en el conocimiento de la dinámica del Zn proveniente de los residuos aviares compostados cuando son aplicados al suelo. La utilización sustentable de estos residuos necesitaría de la profundización de estos estudios para poder esclarecer la razón y los mecanismos por los cuales se producen estos cambios el contenido de Zn asociado a las fases sólidas del suelo y la relación con su biodisponibilidad.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. M. Rodríguez por la lectura y aportes a este trabajo. A A.Pighin y M. Cubisino por su predisposición y colaboración en la realización de las determinaciones químicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alloway, BJ. 2008. El Zinc en los suelos y los cultivos. IZA y IFA. 2da edn.151 pp. Bruselas .
- Álvarez, JM. 2007. Influence of soil type on the mobility and bioavailability of chelated zinc. J. Agric. Food Chem. Vol 55:9, 3568-3576.
- Barbazán, M ; A del Pino; C Moltini,; J Hernández & J Rodríguez.2011.Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay.Agroc. Urug 15:82-92.
- Bolan N; AA Szog; T Chuasavathi; B Seshadri; M Rothrock & P Panneerselvam. 2010. Uses and management of poultry litter.World's Poultry Science Association. W.Poultry Sci. J. 66:673-698.
- Gupta, AK & S Sinha. 2007. Phytoextraction Capacity of the Plants Growing on Tannery Sludge dumping Sites. Bioresource Technology, 98, 1788-1794
- Kiekens, L. 1995. Zinc, In Alloway, B.J. (ed.) Heavy Metals in Soils (2nd edn.). Blackie Academic and Professional, London, pp 284-305.

- Kumar, SP; RK Rattan & AK Singh. 2004. Chemical forms of zinc soils and their contribution to available pool. Journal of Indian Society of Soil Science, 52(4), 421-425.
- Kumar, M& FM Qureshi. 2012. Dynamics of Zinc Fractions, Availability to Wheat (Triticum aestivum L.) and Residual Effect on Succeeding Maize (Zea mays L.) in Inceptisols .JAS; 4: 6
- SENASA,2011.http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-264-2011-senasa-servicio-nacional-de-sanidad-y-calidad-agroalimentaria. Diciembre 2017.
- Sharma, BD; H Arora; Kumar, R & VK. Nayyar, 2004. Relationships between soil characteristics and total and DTPA-extractable micronutrients in Inceptisols of Punjab. Comun. Soil Sci. Plant Anal.35: 799-818.
- Silveira, MA; LR Alleon& LR Guilherme. 2003. Biosolids and heavy metals in soils. Sc. Agric. 60 (4): 793-806.
- Sims, JT & GV Johnson. 1991. Micronutrient soil tests. In Mortvedt, JJ;FR Cox;LMShuman & MR Welch (Eds.) Micronutrients in agriculture Pp 427-476. Ed. SSSA Madison, Winsconsin, USA.
- Vukobratović, M, Z Vukobratović; Z Lončarić& D Kerovac. 2014. Heavy metals in animal manure and effects of composting on it. ISHS Acta Horticulturae 1034:
- Wong, JW & A Selvam. 2006. Speciation of Heavy Metals during Co-Composting of Sewage Sludge with Lime. Chemosphere, 63, 980-986.

C3P81. CONTRIBUCIÓN DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA A LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO SUCESOR

Uhaldegaray, Mauricio G.[1]; Oderiz, Juan A.[1]; Scherger, Eric D.[1]; Frasier, Ileana[1]; Fernández, Romina[1]; Pérez, Micaela[1]; Quiroga, Alberto[1,2] y Zalba, Pablo[3]

[1] EEA INTA Anguil, Ruta 5 km 580, CP 6326, CC 11. Anguil, La Pampa.
[2] Facultad de Agronomía – UNLPam. Santa Rosa, La Pampa.
[3] Departamento de Agronomía – UNS. 8000 Bahía Blanca, Buenos Aires.
uhaldegaray.mauricio@inta.gob.ar

RESUMEN

En los sistemas agrícolas de la región pampeana, existe una fuerte dependencia de fertilizantes nitrogenados sintéticos para cubrir en parte los requerimientos de los cultivos. Para atenuar esta demanda la inclusión de cultivos de cobertura (CC) en la rotación podría contribuir a una mayor disponibilidad de nitrógeno (N) para el cultivo sucesor. A fin de evaluar esta contribución se llevó a cabo un experimento estableciendo sobre un Ustipsamment típico distintos cultivos de cobertura: centeno (C), centeno fertilizado con nitrógeno (C+N), vicia (V), centeno consociado con vicia (VC) y control (T, sin CC). Los mismos fueron dispuestos en bloques al azar con 4 repeticiones estableciendo maíz como cultivo sucesor. En el perfil de suelo se determinó contenido de agua y de nitratos en distintos momentos de la rotación, y sobre los cultivos cantidad y calidad de biomasa aérea. La biomasa generada por los distintos tratamientos varió en un amplio rango (3000 a 8000 kg MS* ha^{-1}) con diferencias significativas entre vicia (3103 kg MS*ha^{-1}) y el resto de los tratamientos (7718 kg MS*ha^{-1}). Entre los CC la consociación de vicia con centeno presento en su biomasa aérea 193 kg N*ha^{-1} diferenciándose de los demás tratamientos que en promedio presentaron 134 kg N*ha^{-1}. Los tratamientos con centeno fueron más eficientes en almacenar el agua proveniente de las precipitaciones durante el periodo de barbecho comprendido entre secado del CC y la siembra de maíz. La inclusión de cultivos de cobertura mediante la captura del N proveniente de mineralización y/o fijación biológica y posterior aporte por descomposición de los residuos durante el periodo de barbecho contribuyó significativamente a la nutrición nitrogenada del cultivo sucesor incidiendo tanto sobre la producción como la calidad de la biomasa aérea destinada a silo.

Palabras clave: Residuos, Maíz, Uso de agua.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo clave en las rotaciones agrícolas por el importante aporte de carbono que realiza a través de sus residuos (Studdert & Echeverría, 2000), especialmente en Entisoles de las Planicies Medanosas del Este de La Pampa, donde el bajo aporte de residuos ha conducido a la aparición de procesos erosivos del suelo (Colazo & Buschiazzo, 2010). Por otra parte, el cultivo de maíz para su crecimiento y desarrollo presenta altos requerimientos de nitrógeno (N) (Echeverría & Sainz Rosas, 2005) y agua (Della Maggiora *et al.*, 2000).

En los sistemas agrícolas actuales la fuerte dependencia en fertilizantes nitrogenados sintéticos para cubrir en parte los requerimientos de este nutriente y para lograr una máxima utilización del resto de los recursos ha creado preocupaciones sobre su sostenibilidad (Zimmerer & Vanek, 2016). Para atenuar la demanda de fertilizantes químicos industriales los cultivos pueden aprovechar el N que podría ser liberado a partir de la utilización de cultivos de cobertura (CC) (Thorup-Kristensen *et al.*, 2003).

El crecimiento de los CC interviene en la dinámica de nitrógeno y de agua, pudiendo modificar sus disponibilidades para un cultivo de cosecha posterior (Frasier *et al.*, 2016), en este sentido, el aporte de N proveniente de los CC dependerá de la producción total de materia seca y de la concentración de N en su biomasa. Sin embargo, puede haber una asincronía entre la mineralización de N de los residuos del cultivo de cobertura y la absorción de N del cultivo posterior, lo que da como resultado una pérdida de N potencialmente importante (Cook *et al.*, 2010). Algunos autores consideran que sólo del 30 al 60% de N acumulado por un cultivo de cobertura de vicia está disponible para un cultivo posterior de maíz (Seo *et al.*, 2006; Clark *et al.*, 2007a, 2007b).

Las leguminosas como la vicia (*Vicia villosa* Roth) además de su elevada capacidad para fijar N pueden acumular una gran cantidad de este nutriente en sus tejidos en comparación con cultivos de gramíneas (Ranells & Wagger, 1996). Además, sus residuos pueden ser descompuestos rápidamente y liberar importantes cantidades del nutriente al suelo (Kramer *et al.*, 2002).

Por otra parte Baigorria & Cazorla (2009) trabajando en un suelo Argiudol típico de Marcos Juárez concluyen que los incrementos en el rendimiento del cultivo de maíz sin fertilización nitrogenada fueron mayores en un 20 % sobre la vicia que en el tratamiento sin CC.

Restovich *et al*. (2012) observaron que las gramíneas, en comparación con las leguminosas, pueden absorber una mayor cantidad de N excedente del cultivo antecesor, como así también de aquél mineralizado a partir de la MOS durante el periodo invernal, debido a su denso y extenso sistema radical. De esta manera, es posible disminuir pérdidas por lavado de N a la vez de incrementar la eficiencia de su uso en el sistema (Sainju & Singh, 1997; Dabney *et al.*, 2001).

En la consociación de gramíneas y leguminosas, la absorción del N mineral de la gramínea puede favorecer la nodulación y la fijación de N atmosférico por la leguminosa (Izaurralde *et al.*, 1992), mientras que la leguminosa podría transferir N a la gramínea favoreciendo su crecimiento (Ledgard & Steele, 1992; Sainju *et al.*, 2005).

La obtención de elevados rendimientos en maíz requiere de alta disponibilidad de N (Echeverría *et al.*, 2015), debiendo estar provisto en cantidad especialmente durante el periodo crítico (15 días previos y 15 posteriores a la floración femenina) que es el momento donde se define el rendimiento (Andrade & Sadras, 2000). Por otra parte, debe existir una combinación adecuada entre diferentes factores, con el objetivo de lograr una sincronía entre la liberación del N a partir de los CC, y el periodo de floración y máxima absorción del cultivo de maíz (Wagger, 1989; Restovich *et al.*, 2012).

Se planteó como hipótesis que la inclusión de cultivos de cobertura aumenta la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo sucesor, logrando un mayor rendimiento en maíz.

En base a lo expuesto, se planteó como objetivo evaluar la dinámica de nitrógeno en el perfil del suelo posterior a la utilización de cultivos de cobertura y durante el ciclo de un cultivo de maíz sobre un Ustipsamment de la región semiárida pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio experimental se localizó en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil "Ing. Guillermo Covas", que corresponde a un ensayo de larga duración (6 años), donde se establecieron secuencias con CC y maíz para silo bajo siembra directa sobre un Ustipsamment típico, arenoso franco, con presencia de napa freática. Los tratamientos fueron T1: Centeno (C, *Secale cereale* var. Quehue), T2: Centeno fertilizado a la siembra con 60 kg N*ha^{-1} (C+N); T3: Vicia (V, *Vicia villosa*); T4: Centeno consociado con vicia (VC) y T5: Testigo (T, sin CC). El diseño experimental fue en bloques al azar con 4 repeticiones. La densidad de siembra de los CC fue de 200 pl*m^{-2} para la gramínea y de 40 pl*m^{-2} para la leguminosa, en la consociación (VC) la misma fue regulada en una proporción 40/60 de centeno y vicia respectivamente. El ciclo de los CC estuvo acotado al periodo de abril a octubre (secado químico). Como cultivo de verano se sembró maíz a mediados de diciembre con una densidad de 55000 pl*ha^{-1} a cosecha. Se fertilizaron todos los tratamientos con fósforo antes de la siembra (20 kg*ha^{-1}) para cubrir posibles deficiencias de este elemento.

Determinaciones:

En la campaña 2015-2016 se cuantificó la productividad aérea de los CC y del maíz. Para ello, al momento del secado del cultivo de cobertura (20/10/15) se tomó una muestra compuesta de la biomasa aérea (4 submuestras de 0.25 m^2 por parcela); para evaluar la biomasa aérea del cultivo de verano, se realizó un corte sobre el maíz al momento de madurez fisiológica tomando las plantas de 2 hileras de 3 m lineales por cada tratamiento. Las muestras se llevaron a estufa de 60°C por 72 hs o hasta lograr su peso constante para determinar materia seca y luego fueron molidas para la determinación del contenido de nitrógeno en biomasa por combustión seca (LECO – TrueSpec® CN). Además, se determinó el contenido de humedad del suelo a la siembra del cultivo de maíz y al finalizar cada uno de los cultivos basado en el método gravimétrico (%), muestreando el perfil hasta 1 m de profundidad durante el barbecho y hasta 1.4 m

en el maíz. A partir de esta información se calcularon los usos consuntivos, eficiencia de uso del agua y eficiencia de barbecho. Para determinar el contenido de nitrógeno de nitratos en el perfil del suelo se realizaron muestreos periódicos hasta 2 m de profundidad en 5 estratos por parcela (0-20; 20-60; 60-100; 100-150; y 150-200 cm de profundidad), que luego se analizaron mediante el método del ácido cromotrópico en laboratorio.

Los resultados se analizaron estadísticamente con el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016) y la comparación de medias se realizó mediante el Test LSD Fisher.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el desarrollo del estudio las precipitaciones fueron mayores en un 48% respecto a la media anual histórica de 750 mm. Los CC recibieron 151 mm hasta terminar su ciclo, durante los 70 días transcurridos desde el momento de secado hasta la siembra del cultivo de maíz las precipitaciones fueron de 337 mm, mientras que durante el cultivo de maíz llovieron 565 mm, en su mayor parte durante el periodo de V6 (6 hojas verdaderas) a R1 (floración femenina) del maíz (295 mm).

Tabla 1. Biomasa aérea (BA, kg M* ha^{-1}), contenido de nitrógeno en biomasa (NBA, kg N*ha^{-1}) y eficiencia de barbecho (EB, %) en los diferentes tratamientos de cobertura. T: testigo; C: centeno; C+N: centeno fertilizado; V: vicia; VC: vicia con centeno. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para los CC ($p<0.05$).

Tratamiento	BA		NBA		EB	
T	-		-		0	c
C	7440	a	125	b	7,8	a
C + N	8007	a	133	b	5,1	ab
V	3102	b	146	b	1,6	bc
VC	7707	a	193	a	6,8	a
p-valor	0.0021		0.0265		0.01	

Al momento del secado de los CC los tratamientos que contenían centeno acumularon entre 4300 y 4900 kg MS*ha^{-1} más que el tratamiento con vicia sola (Tabla 1). A pesar de estas diferencias, la consociación de vicia con centeno presento en su biomasa aérea 193 kg N*ha^{-1} diferenciándose de los demás tratamientos con cobertura que promediaron los 134 kg N*ha^{-1}. Al respecto, puede deducirse que la diferencia de N en el perfil del suelo al momento de secado de los CC respecto al testigo (101 kg N*ha^{-1}) es consecuencia del uso del nutriente por parte de los mismos, que en promedio presentaron contenidos de 38 kg N*ha^{-1} en el perfil de suelo (Fig. 1A). Posiblemente la mayor cobertura sobre el suelo en los tratamientos con centeno explique la mayor eficiencia de barbecho en los mismos.

La Figura 1 muestra la dinámica del nitrógeno de nitratos en el perfil durante el barbecho, desde el secado de los CC hasta la siembra del maíz. Al inicio de este periodo el tratamiento testigo (sin CC) presenta mayores contenidos que resultan significativos a partir de los 20 cm de profundidad (Fig. 1A). Al cabo de los primeros 30 días de barbecho (Fig. 1B), asociado a la descomposición de los residuos de los CC, se observa un importante incremento en la disponibilidad de nitrógeno mineral sobresaliendo el tratamiento con vicia. La mayor tasa de descomposición inicial de la vicia combinada con altas precipitaciones (105 mm) entre los 30 y 50 días posteriores al secado muestra una acumulación importante de N (70 kg N*ha^{-1}) en el estrato de 100-150 cm de profundidad (Fig. 1C). Finalmente, al momento de la siembra del cultivo de maíz, todos los tratamientos presentaron similares contenidos de N en los primeros 20 cm de profundidad (20 kg N*ha^{-1}) (Fig. 1D). Sin embargo, el perfil de suelo proveniente de vicia presentó mayor contenido de N respecto al centeno fertilizado y testigo en los estratos de 20 a 150 cm de profundidad con una acumulación total de 162 kg N*ha^{-1} en el perfil del suelo. Estudios realizados sobre suelos de similar textura también mostraron, mediante evaluaciones con ^{15}N, que la vicia contribuye con importantes aportes de N pero la recuperación de N por parte del cultivo de maíz es baja y cercana al 15% (Seo *et al*., 2006).

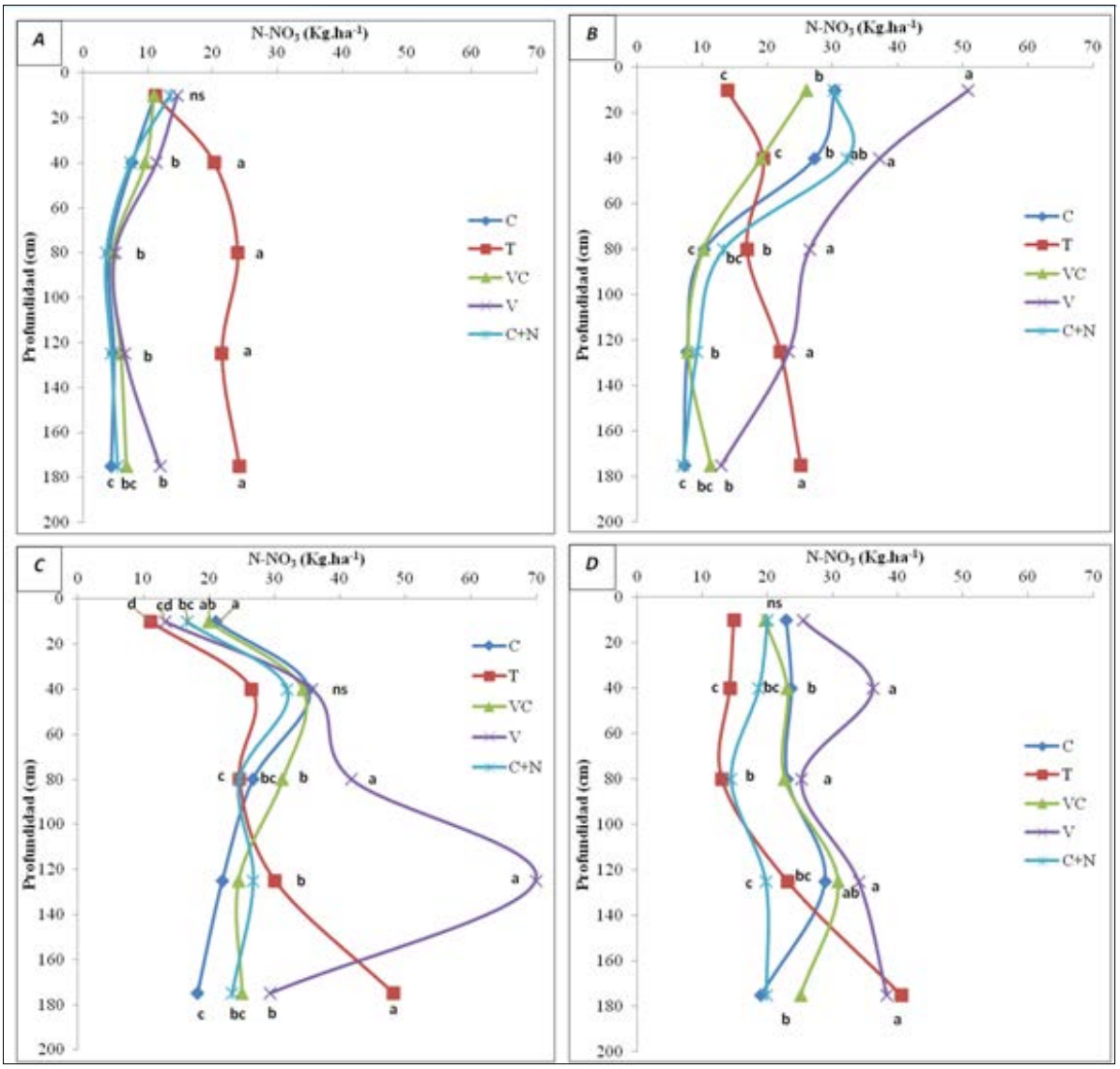


Figura 1. Distribución del contenido de N en el perfil del suelo desde el secado de los CC (A), a los 30 días (B); a los 50 días (C); a la siembra del maíz (D). Donde T: testigo (sin CC); C: centeno; C+N: centeno fertilizado; V: vicia; VC: vicia con centeno. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para una misma profundidad ($p<0.05$).

Aproximadamente a los 30 días de emergencia del maíz y coincidiendo con el estado fenológico de seis hojas verdaderas, se torna importante la extracción de N por parte del cultivo. La Figura 2A muestra que todos los tratamientos con coberturas presentaron en este estado fenológico mayor contenido de N disponible en el suelo (146 kg N*ha^{-1}) respecto del testigo (106 kg N*ha^{-1}). De acuerdo a los estudios conducidos por Dabney *et al.* (2001) estas diferencias estarían mostrando la captura de N que pueden realizar los CC reduciendo la perdida de nutriente por lixiviado, la cual puede reducirse entre un 20 y un 80% por la inclusión de los mismos. La alta demanda de este nutriente por el cultivo, desde V6 hasta floración dio lugar a una importante disminución en el N disponible en el perfil no registrándose diferencias entre tratamientos alcanzándose un mínimo al estado de madurez fisiológica (Fig. 2B y C).

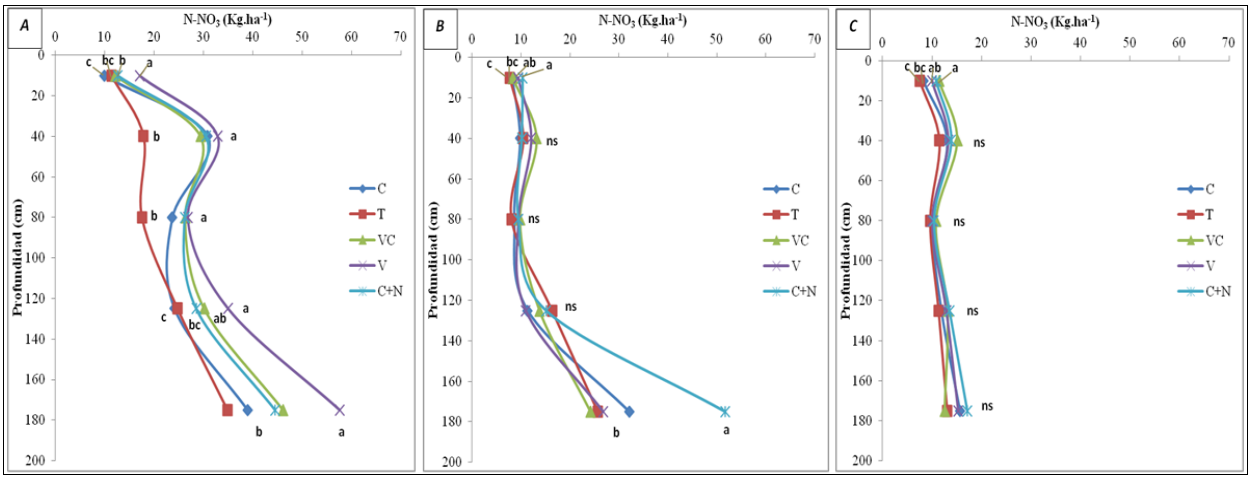


Figura 2. Distribución del contenido de N en el perfil del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz: en estado V6 (A, 100 días desde el secado del CC), floración (B, 130 días) y madurez fisiológica (C, 180 días).Donde, T: testigo (sin CC); C: centeno; C+N: centeno fertilizado; V: vicia; VC: vicia con centeno. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para una misma profundidad ($p<0.05$).

La producción de biomasa aerea de maíz destinada a silo varió entre 16252 y 21416 kg*ha^{-1} con diferencias significativas sobre el antecesor vicia que superó la biomasa correspondiente a los tratamientos centeno y testigo incrementándose además la eficiencia de uso del agua desde 29.6 kg*ha^{-1}*mm $^{-1}$ hasta 39.3 kg*ha^{-1}*mm $^{-1}$ (vicia) (Tabla 2). Sumado al efecto del antecesor vicia sobre la producción de biomasa también se comprobó influencias sobre la calidad de la misma que resultó significativamente superior en el contenido de N en el antecesor vicia (284 kg N*ha^{-1}), lo que representa un 68, 54 y 16% más que los tratamientos testigo, centeno y centeno fertilizado, respectivamente.

Tabla 2. Biomasa aérea (BA, kg MS*ha^{-1}), contenido de nitrógeno en biomasa (NBA, kg N*ha^{-1}), agua disponible (AD, mm) y eficiencia de uso del agua (EUA, kg MS*ha^{-1}.mm^{-1}) del cultivo de maíz en los diferentes tratamientos de cobertura. M-T: maíz sobre testigo; M-C: maíz sobre centeno; M-C+N: maíz sobre centeno fertilizado; M-V: maíz sobre vicia; M-VC: maíz sobre vicia con centeno. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos con el p-valor indicado en la tabla.

Tratamiento	BA		NBA		AD	EUA	
M - T	16253	c	169	c	676	29,6	b
M - C	17624	bc	185	c	688	32,0	b
M - C + N	19052	abc	246	b	679	34,3	ab
M - V	21416	a	284	a	672	39,3	a
M - VC	19268	ab	256	ab	678	34,8	ab
p-valor	0.1		<0.05		ns	0.1	

CONCLUSIONES

La inclusión de cultivos de cobertura mediante la captura del N proveniente de mineralización y/o fijación biológica y posterior aporte por descomposición de los residuos durante el periodo de barbecho contribuyó significativamente a la nutrición nitrogenada del cultivo sucesor incidiendo tanto sobre la producción como la calidad de la biomasa aérea destinada a silo.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, FH & VO SADRAS. 2000. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En: Andrade, FH & VO Sadras (Eds.). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. INTA-EEA Balcarce, UNMdP-FCA. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. pp. 173-205.

- Baigorria, T & C Cazorla. 2009. Evaluación de especies como cultivo de cobertura en sistemas agrícolas puros en siembra directa. En Actas Jornadas Nacionales "Sistemas Productivos Sustentables: Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura organizado por la Asociación Argentina de la ciencia del suelo. 9 y 10 de agosto de 2009, Bahía Blanca, Argentina.
- Clark, AJ; JJ Meisinger; MA Decker & RF Mulford. 2007a. Effects of a grass-selective herbicide in a vetch-rye cover crop system on nitrogen management. Agron. J. 99: 36–42. doi:10.2134/agronj2005.0361.
- Clark, AJ; JJ Meisinger; MA Decker & RF Mulford. 2007b. Effects of a grass-selective herbicide in a vetch-rye cover crop system on corn grain yield and soil moisture. Agron. J. 99: 43–48. doi:10.2134/agronj2005.0362.
- Colazo, JC & DE Buschiazzo. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. Geoderma 159(1): 228-236.
- Cook, JC; RS Gallagher; JP Kaye; J Lynch & B Bradley. 2010. Optimizing vetch nitrogen production and corn nitrogen accumulation under no-till management. Agron. J. 102(5): 1491-1499.
- Dabney, SM; JA Delgado & DW Reeves. 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32(1): 1221-1250.
- Della Maggiora, AI; JM Gardiol & AI Irigoyen. 2000. Requerimientos hídricos. En: Andrade, FH & VO Sadras (Eds.). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. INTA-EEA Balcarce, UNMdP-FCA. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. pp. 155-171.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & CW Robledo. 2016. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. http://www.infostat.com.ar.
- Echeverría, HE & H Sainz Rozas. 2005. Maíz. En: Echeverría, HE & FO García (Eds.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 255-282.
- Frasier, I; A Quiroga & E Noellemeyer. 2016. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. Sci. Total Environ. 562(2): 628-639.
- Izaurralde, RC; WB McGill & NG Juma. 1992. Nitrogen fixation efficiency, interspecies N transfer, and root growth in barley–field pea intercrop on a Black Chernozemic soil. Biol. Fertil. Soils. 13(1): 11-16.
- Kramer, AW; TA Doane; WR Horwath & CV Kessel. 2002. Combining fertilizer and organic inputs to synchronize N supply in alternative cropping systems in California. Agr. Ecosyst. Environ. 91(1): 233-243.
- Ledgard, SF & KW Steele. 1992. Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures. Plant Soil 141(1): 137-153.
- Quiroga, AR & GA Studdert. 2015. Manejo del suelo e intensificación agrícola: agua y materia orgánica. En: Echeverría, HE & FO García (Eds.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2ª. ed. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 73-100.
- Ranells, NN & MG Wagger. 1996. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. Agron. J. 88(5): 777-782.
- Restovich, SB; AE Andriulo & SI Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize–soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. Field Crops Res. 128(1): 62-70.
- Sainju, UM & BP Singh. 1997. Winter cover crops for sustainable agricultural systems. Influence on soil properties, water quality, and crop yields. Hort. Sci. 32(1): 21-28.
- Sainju, UM; WF Whitehead & BP Singh. 2005. Biculture legume-cereal cover crops for enhanced biomass yield and carbon and nitrogen. Agron. J. 97(5): 1403–1412.
- Seo, JH; JJ Meisinger & HJ Lee. 2006. Recovery of nitrogen-15-labeled hairy vetch and fertilizer applied to corn. Agron. J. 98: 245–254. doi:10.2134/agronj2005.0013.
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamic. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 1496–1503.
- Thorup-Kristensen, K; J Magid & LS Jensen. 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. Adv. Agron. 51: 227-302.
- Wagger, MG. 1989. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. Agron. J. 81(2): 236-241.
- Zimmerer, K & S Vanek. 2016. Toward the integrated framework analysis of linkages among agrobiodiversity, livelihood diversification, ecological systems, and sustainability amid global change. Land 5, 10. http://dx.doi.org/10.3390/land5020010.

C3P82. ¿EL RENDIMIENTO DE TRIGO Y MAIZ ES AFECTADO POR EL ENCALADO EN EL SUDESTE BONAERENSE?

Vacca, Santiago[1;2]; Sainz Rozas, Hernán[1;2]; Wyngaard, Nicolás[1;2]; Reussi Calvo, Nahuel[1;2; 3]; Ehyerabide, Mercedes[1;2]; Echeverría, Hernán[1] y Barbieri, Pablo[1;2].

Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce [1], Ruta 226 km 73,5. Balcarce (BA); 02266-439100. CONICET [2]. FERTILAB[3]
sanvacca@gmail.com

RESUMEN

La acidez edáfica puede afectar el crecimiento de las plantas directa e indirectamente, incidiendo negativamente sobre la disponibilidad de nutrientes. La exportación de bases como el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) en productos agrícolas sin su adecuada reposición es la principal causa de acidificación. Sumado a esto, el incremento en el uso de fertilizantes, así como la adopción de la siembra directa contribuyen a la acidificación superficial. De continuar la acidificación de los suelos, es posible que la acidez se vuelva un factor limitante de la productividad, por lo tanto se planteó como objetivo evaluar la respuesta de los cultivos (trigo y maíz) al agregado de cal en un ensayo de larga duración. Además, estudiar el efecto de la aplicación de cal sobre algunas propiedades químicas de los suelos. La experiencia se llevó a cabo durante cuatro campañas agrícolas en la EEA- INTA Balcarce (37° 45` S; 58° 18`W). Esta experiencia corresponde al cultivo de trigo (2003 - 2010) y al cultivo de maíz (2008 - 2011). Se evaluaron dos sistemas de labranza (LC y SD) asignados a las parcelas principales y combinación de nutrientes (NPS: nitrógeno + fósforo + azufre y NPS + Cal: $CaCO_3$) asignados a las subparcelas. Los rendimientos promedio para el cultivo de trigo fueron de 4830 y 5612 kg ha^{-1} (2003 y 2010, respectivamente), para maíz de 9023 y 6310 kg ha^{-1} (2008 y 2011, correspondientemente). La práctica de encalado produjo incrementos significativos en el pH del suelo en SD y LC (0,12 unidades en promedio). Sin embargo, los rendimientos de los cultivos de trigo y maíz no respondieron al agregado de Ca. Estos resultados estarían indicando que este nutriente no sería limitante para estas gramíneas aun con una rotación de 4 cultivos en 3 años.

Palabras clave: pH, calcio, nutrición.

INTRODUCCIÓN

Los suelos del sudeste bonaerense (SEB) pertenecen al grupo de los Molisoles y se caracterizan por presentar elevado contenido de materia orgánica (MO), bajo contenido de fósforo disponible y valores de pH moderadamente ácidos a sub-ácidos (5,5-6,4) (Echeverría & Ferrari, 1993). El pH es un indicador indirecto de la disponibilidad de nutrientes, del tipo y de la actividad de los microrganismos y plantas, del grado de estabilidad de los agregados, y del flujo y la conservación de agua en el suelo (Brady & Weill, 1999).

La acidificación del suelo lleva asociada cambios en varios procesos químicos. A medida que un suelo se acidifica, los sitios de intercambio liberan cationes entre ellos el calcio (Ca) y el magnesio (Mg), los cuales quedan sujetos a ser absorbidos por las plantas o a procesos de pérdida. La generación de acidez responde tanto a causas naturales como antrópicas. El lavado de bases es el proceso natural de mayor incidencia. Entre las causas antrópicas, pueden mencionarse como las más importantes la exportación de bases a través de la producción agrícola-pecuaria y el empleo de fertilizantes de alto índice de acidez, principalmente los nitrogenados (Vázquez & Pagani, 2014).

Por otra parte, la adopción de la siembra directa (SD) puede contribuir aún más a la acidificación superficial de los suelos, debido a la estratificación de la MO en la capa superficial (Domínguez *et al.*, 2009) y a que los fertilizantes no se incorporan al suelo. Diversos autores han informado sobre la mayor acidificación del suelo en sistemas bajo SD respecto de labranza convencional (LC) en estudios de larga duración (Wicks *et al*. 1988; Franzluebbers *et al.* 1996; Crozier *et al*. 1999). En un experimento de larga duración realizado en SD sobre un Argiudol típico de Balcarce, Divito *et al.* (2011) determinaron valores de pH de 5,8, 5,5 y 5,3 en los 0-5 cm para dosis de 0, 70 y 140 kg N ha^{-1} aplicados a trigo y maíz.

Por lo mencionado, la intensificación de la producción agrícola y el uso de prácticas de manejo tradicionales como la fertilización sumado a la SD han provocado cambios en las propiedades químicas prístinas de los suelos (Echeverría & Ferrari, 1993). Algunos de estos cambios son producidos en el corto plazo y pueden observarse en un solo ciclo de cultivo, mientras que otros (como el descenso del pH y el contenido de bases) requieren años o incluso décadas para poder ser determinados, lo que hace imprescindible el uso de ensayos de larga duración para poder cuantificar su magnitud. Para suelos de la región pampeana (RP), en un relevamiento realizado en 2005/06 en suelos agrícolas, se

informó que el 25% de las muestras (0-20 cm) mostraron valores de pH inferiores a 5,9, aunque en muy pocos casos estuvieron por debajo de 5,5 (Sainz Rozas *et al*., 2011). Este es considerado el valor umbral a partir del cual puede comenzar a liberarse Al desde los minerales del suelo (Havlin *et al.*, 2005). No obstante, estos valores son inferiores a los informados por Sainz Rozas (2013) para suelos prístinos de dichas provincias (6,5 a 7,4), lo que indica que el proceso de acidificación está tomando relevancia en la región. Para los suelos agrícolas mencionados, los valores de Ca intercambiable en general son medios o altos. Sin embargo, se han informado contenidos bajos de Ca intercambiable (< 1000 $mg*kg^{-1}$) en el oeste de la Provincia de Buenos Aires y sur de Córdoba (Sainz Rozas, *et al.*, 2013). Sumado a esto se ha registrado un descenso promedio de Ca intercambiable cercano al 15% respecto a los suelos prístinos (Sainz Rozas, 2013).

El trigo y el maíz, son las gramíneas de invierno y verano que ocupan la mayor superficie en el SEB y el uso de fertilizantes nitrogenados es una práctica de manejo frecuente en estos cultivos, siendo las dosis a aplicar dependientes de la disponibilidad de N en el suelo, variedad, rendimiento objetivo, etc. (García et al., 2014). En consecuencia, la aplicación continua de fertilizantes nitrogenados junto con la falta de reposición de bases podría elevar los niveles de acidez de los suelos y afectar la productividad de los cultivos en dicha la región.

Tradicionalmente para la corrección de la acidez se han usado enmiendas tales como la calcita (CO_3Ca), dolomita [$(CO_3)_2CaMg$], cal viva o apagada entre otras. La aplicación de estos productos da origen a la práctica denominada encalado. El encalado tiene varios efectos sobre el suelo, la cal reacciona directamente con el agua, formándose OH^-, Ca y Mg en diferentes proporciones según el material empleado. El Ca y Mg desplazan al Al^{+3} e H^+ del complejo de intercambio, aumentando como consecuencia el porcentaje de saturación de bases. El Al^{+3} en solución precipita como $Al(OH)_3$ (Gibsita) y los H^+ se combinan con los OH^-. Esto además de aumentar el pH disminuye el nivel de Al^{+3}, que es tóxico para las plantas (Brady & Weill, 1999).

En la RP, la mayoría de las aplicaciones de cal se orientan a incrementar la producción de alfalfa y otras leguminosas como la soja, que pueden requerir un pH mayor a 6 - 6.5 para su óptimo crecimiento (Gambaudo, 1998; Vivas & Fontanetto, 2003; Vázquez *et al*. 2012). Las gramíneas por su parte toleran un rango más amplio de pH y su crecimiento y desarrollo es afectado a valores de pH por debajo de 5,5 (Presiado Patiño, 1998). No obstante, en algunos trabajos realizados en el norte de la RP se ha informado respuesta de trigo y maíz al agregado de bajas dosis de Ca (Fontanetto & Gambaudo, 2012; Vázquez & Pagani, 2014). Sin embargo, en suelos del SEB con pH moderadamente ácido (5,7), Barbieri *et al*. (2015) informaron que el trigo no respondió al encalado en un ensayo de larga duración. Esto plantea la necesidad de seguir investigando la respuesta al encalado en gramíneas bajo SD y LC.

En función de los antecedentes, el objetivo del trabajo fue estudiar el efecto de la aplicación de cal sobre el rendimiento de trigo y maíz y algunas propiedades químicas de los suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo durante cuatro campañas agrícolas en la EEA- INTA Balcarce (37° 45` S; 58° 18`W) sobre un ensayo de larga duración iniciado en 2001. El suelo del sitio experimental es un complejo Argiudol típico fino, mixto, térmico y Paleudol petrocálcico, fino, ilítico, térmico, de textura superficial franca y contenido de MO al inicio del ensayo de 5,3 %. La rotación en estudio incluye cuatro cultivos en tres años (maíz-soja de primera-trigo/soja de segunda) y se la puede considerar como representativa de la zona. Esta experiencia corresponde al cultivo de trigo (año 2003 y 2010) y al cultivo de maíz (año 2008 y 2011).

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos aleatorizados con arreglo de parcelas divididas en franjas con tres repeticiones. Se evaluaron dos sistemas de labranza (LC y SD) asignados a las parcelas principales y tres tratamientos de enmienda (Testigo (Test), NPS y NPS + Cal) asignados a las subparcelas. Las dosis de nutrientes fueron 100 kg ha^{-1} N, 30 kg ha^{-1} P y 15 kg ha^{-1} S en trigo. Para maíz, las dosis fueron 150 kg ha^{-1} N, 30 kg ha^{-1} P y 15 kg ha^{-1} S. Los fertilizantes fueron aplicados a la siembra, al voleo en cobertura total, bajo la forma de urea granulada (46-0-0), fosfato monoamónico (11-52-0) y sulfato de amonio (21-0-0-24 S). La dosis de CO_3Ca fue de 500 kg ha^{-1} (24% Ca) y la misma fue aplicada cada año en presiembra al voleo en cobertura total. Las malezas e insectos fueron debidamente controladas y, por lo tanto, no limitaron el crecimiento de ambos cultivos.

Los cultivos se llevaron a cabo en condiciones de secano. Para la caracterización climática de cada estación de crecimiento se utilizaron registros de las precipitaciones y ETP (evapotranspiración potencial) medidas por la Estación meteorológica de la EEA INTA Balcarce.

Al momento de la siembra se realizaron muestreos en las profundidades (0-20; 20-40 y 40-60 cm). Se determinó en los todos los tratamientos el contenido de MO (Walkey y Black, 1934), pH, P disponible, Ca por espectrofotometría de absorción atómica (EAA 6200, Shimadzu), CIC (Thomas, 1982), % saturación con Ca (0-20 cm) y $N\text{-}NO_3$- y $S\text{-}SO_4$= en el perfil (0-60 cm). La concentración de $N\text{-}NO_3$- se determinó por colorimetría (Keeney &Nelson,

1982) luego de la extracción del suelo con KCl. El S-SO_4= se extrajo con $Ca(H_2PO4)_2$ y se cuantifico por turbidimetría (Johnson,1987). El P extractable se determinó por el método Bray & Kurtz (1945).

En madurez fisiológica, se determinó el rendimiento mediante la cosecha de cada unidad experimental, con una cosechadora experimental. El rendimiento ajustado a 14% de humedad se obtuvo a través del peso de los granos del área cosechada y el contenido de humedad de los mismos. El análisis de los resultados se llevó a cabo utilizando el procedimiento GLM incluido en las rutinas del programa Statical Analysis System (SAS Institute 1996). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el Test de MDS, con un nivel de probabilidad de 0,05 (SAS Institute 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las dos campañas de trigo (2003-2010) y en la primera campaña de maíz (2008) no se presentaron deficiencias hídricas ya que las lluvias superaron la demanda de los cultivos. Para el cultivo de maíz, en la campaña 2011, se determinaron deficiencias hídricas durante los meses de diciembre, enero y febrero, estimadas mediante el método del balance de agua (Della Magiora, 2013). Dicho estrés ocurrió alrededor del periodo crítico y se extendió durante el periodo de llenado de grano, por lo cual pudo haber condicionado el rendimiento de cultivo y la respuesta a la aplicación de cal (Figura 1).

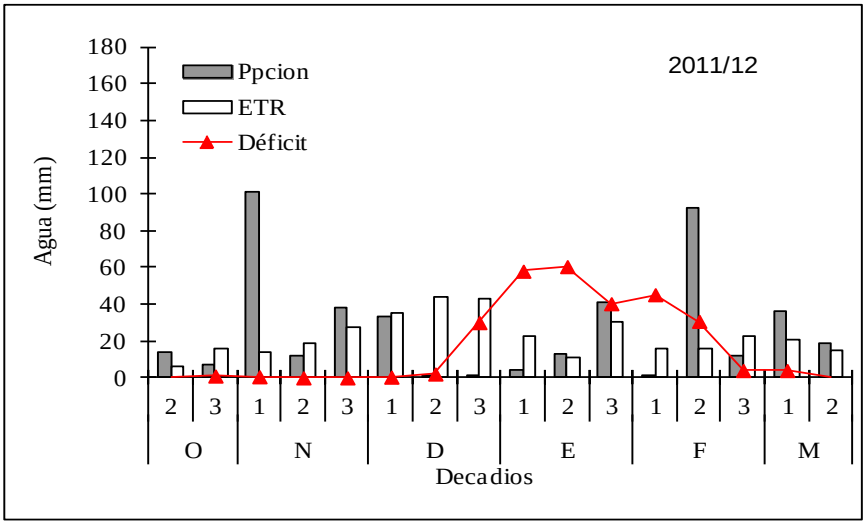


Figura 1: Balance hídrico del cultivo de maíz para la estación de crecimiento 2011/12. ETR: evapotranspiración de referencia, Ppion: precipitación.

En las cuatro campañas y para las diferentes variables, no se determinó interacción entre los factores de tratamiento, por lo tanto se analizaron los efectos principales, esto es, sistema de labranza (SD y LC) y aplicación o no de Cal. Los valores de pH se encuentran dentro del rango reportado como adecuado para el crecimiento de los cultivos (Mc Lean, 1982). En los cuatro años, el pH no fue afectada por el sistema de labranza (Tabla 1). Independientemente del sistema de labranza, el pH del suelo fue inferior en el tratamiento NPS respecto del testigo (Tabla 1). Esto se explica, por la acidez que generan los fertilizantes nitrogenados. La aplicación de Cal incrementó significativamente el pH del suelo respecto del tratamiento NPS, siendo dicho incremento en promedio de 0,15 (2,5%) y 0,10 unidades (1,7%) para el cultivo de trigo y maíz, respectivamente. Similares resultados fueron informados por Carreira & Ostinelly (1998) para suelos del norte de la provincia de Buenos Aires. Sin embargo, Vázquez *et al.* (2009) no reportaron incrementos en el pH luego de dos años de aplicación de diferentes dosis de conchilla y dolomita. Por otra parte, el contenido de Ca intercambiable y el porcentaje de saturación con Ca, no fueron afectados por el sistema de labranza ni por el agregado de cal. El contenido de Ca intercambiable fue, en promedio, de 11,2 y 10,8 cmol kg^{-1} para el tratamiento NPS+Cal y NPS, respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1: Contenido de Ca intercambiable (cmol kg^{-1}), % de saturación con Ca y pH de los primeros 20 cm de profundidad a la siembra de cada cultivo para las distintas campañas. Labranza (L): SD y LC, Tratamientos (T): combinación de nutrientes.

Cultivo	TRIGO						MAIZ					
Año	2003			2010			2008			2011		
Variable	pH	Ca	% CIC	pH	Ca	% CIC	pH	Ca	% CIC	pH	Ca	% CIC
SD	5,9 a	10,4	49,4	6,2 a	11,3	47,6	6,1 a	10,7	44,8	6,0 a	10,7	41,7
LC	6,0 a	11,9	52,2	6,2 a	10,9	47,7	6,1 a	11,7	44,3	6,1 a	10,9	41,0
Test	6,0 a	10,7	50,6	6,2 a	11,4	48,6	6,1 a	11,6	44,7	6,1 a	11,3	42,5
NPS	5,8 b	10,9	50,4	6,0 b	11,2	48,1	5,9 b	10,7	44,5	6,0 b	10,4	39,1
NPS + Cal	6,0 a	11,8	51,3	6,3 a	10,8	46,3	6,2 a	11,4	44,5	6,2 a	10,8	43,6
ANOVA												
Labranza	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tratamientos	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns
LxT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*: diferencia significativa al 5%.

Para las cuatro campañas y en los dos cultivos, no hubo efecto del sistema de labranza ni del agregado de cal sobre el rendimiento (Figuras 2 y 3). La falta de respuesta al encalado coincide con lo reportado por otros autores (Caires *et al*., 2002; Liu *et al*., 2004; Tissi *et al*., 2004; Lollato *et al*., 2013; Barbieri *et al*., 2015). Solo se determinó respuesta al agregado de NPS, indicando que el Ca no sería un nutriente que limite el rendimiento de las gramíneas. Si bien no se dispone de información acerca de un umbral de saturación con Ca para los cultivos de trigo y maíz, en esta experiencia el % de saturación con Ca fue similar o superior al informado como óptimo (47 al 52%) para soja por Barbieri *et al*. (2015) en el SEB. A su vez, los valores de Ca intercambiable fueron ligeramente inferiores al umbral crítico en suelo de 12,4 cmol*kg^{-1} calculado para esta leguminosa. No obstante, se debería tener en cuenta que los requerimientos de la soja exceden en gran medida a los de trigo y maíz (61%), por lo cual los umbrales podrían ser diferentes entre especies. Los valores de Ca intercambiable determinados en esta experiencia son representativos de la región (10 – 20 cmol*kg^{-1}), por lo que estos resultados indicarían que el contenido de Ca en el suelo no limitaría el rendimiento de trigo y maíz, aun en un sistema intensivo con 4 cultivos en 3 años.

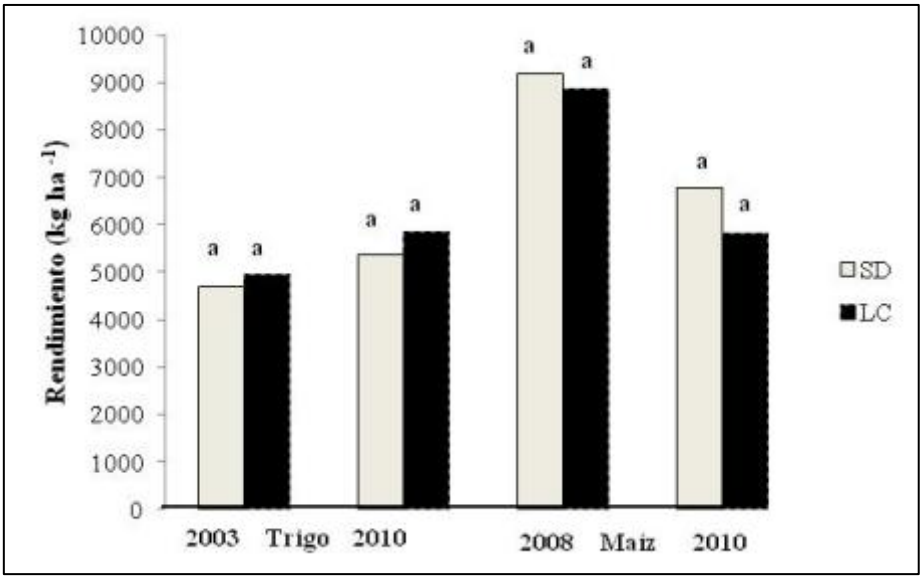


Figura 2: Rendimiento del cultivo de trigo (Izquierda) y de maíz (Derecha) en función del sistema de labranza. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada campaña.

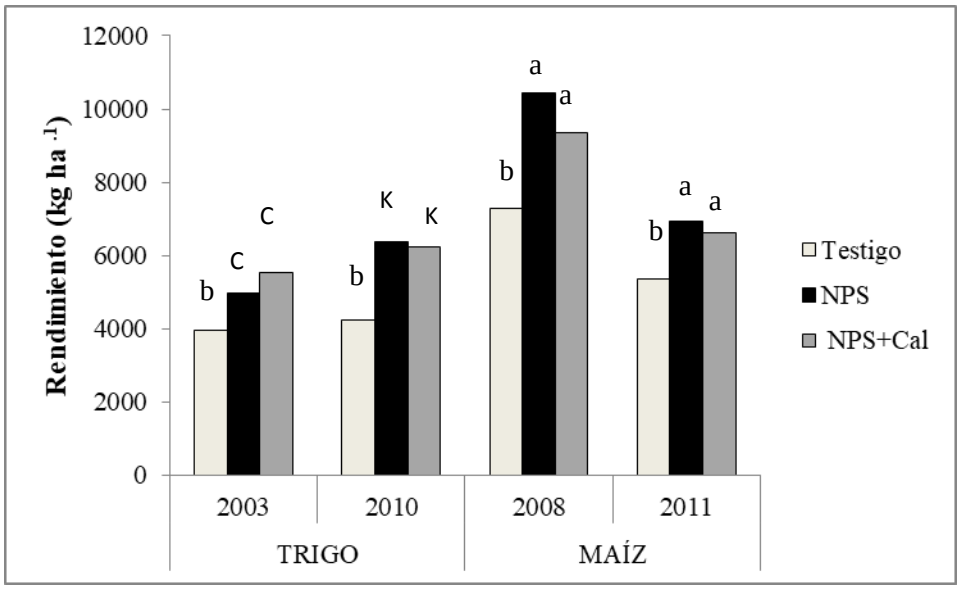


Figura 3: Rendimiento del cultivo de maíz en función de la aplicación de Cal para las cuatro estaciones de crecimiento. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada campaña.

CONCLUSIONES

La práctica de encalado produjo incrementos significativos en el pH del suelo en SD y LC. Sin embargo, los rendimientos de los cultivos de trigo y maíz no fueron afectados por el encalado. Estos resultados estarían indicando que el pH fue óptimo para el desarrollo de ambos cultivos y que el Ca no sería limitante para estas gramíneas aun con una rotación de 4 cultivos en 3 años.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, PA; H Sainz Rozas & H Echeverría. 2015. Soybean and wheat response to lime in no-till Argentinean mollisols. Soil & Tillage Research 152: 29-38.
- Brady & Weill. 1999. The nature and properties of soil. 12th edition. Prentice. US. Pag 881.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59:39-45.
- Caires, EF.; IC Feldhaus; G Barth & FJ Garbuio (2002). Lime and gypsum application on the wheat crop. Scientia Agricola, 59(2), 357-364.
- Carreira, DA & MM Ostinelli, 1998. Encalado de Argiudoles de la pampa húmeda. I. Efecto sobre la fracción orgánica. In Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16. 1998 05 4-7, 4-7 mayo 1998. Córdoba. Argentina.
- Crozier, CR; GC Naderman; MR Tucker, & RE Sugg. 1999. Nutrient and pH stratification with conventional and no -Till management. Commun. Soil Sci. Plan. 30:65
- Della Maggiora, AI; AI Irigoyen; JM Gardiol; O Caviglia; L Echarte. 2003. Evaluation of a soil water model for the corn crop. Rev. Agric. Agrometeor. 2: 167-176.
- Divito, GA; HR Sainz Rozas; HE Echeverría; GA Studdert, & N Wyngaard. 2011. Long term nitrogen fertilization: Soil property changes in an Argentinean Pampas soil under no-tillage. Soil & Tillage Research. 114: 117-126.
- Domínguez, G; N Diovisalvi; GA Studdert & MG Monterubbianesi. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern pampas. Soil Tillage Res. 102, 93-100.
- Echeverría, HE & J Ferrari. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Boletín Técnico Nº 112. 18 p.
- Fontanetto, H; S Gambaudo; J Albrecht & M Sillón. 2012. Fertilización con calcio en soja en la región central de Santa Fe. Actas 210 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y 230Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas en CD.

- Franzluebbers, AJ & FM Hons. 1996. Soil-profile distribution of primary and secondary plant-available nutrients under conventional and no-tillage. Soil Tillage Res. 3, 135–146.
- Gambaudo, S. 1998. Encalado de suelos ácidos. Fertilizar. 1998. Número especial: pasturas. Pergamino. Pág. 15.
- García, FO & NI Reussi Calvo. 2014. Trigo. Cap. 14: 401-434. En: Fertilidad de los suelos y Fertilización de Cultivos. H. Echeverría y F. García (eds). Balcarce: Ediciones INTA. 904p.
- Havlin, JL; JD Beaton; SL Tisdale, & WL Nelson. 2005. Soil acidity and alkalinity. In: J.L. Havlin et al., editors, Soil fertility and fertilizers. 7th ed. Prentice Hall, Englewood Cliff s, NJ. p. 45–96
- Johnson, GV. 1987. Sulfate: Sampling testing, and calibration. In: Brown, J.R. (ed.) Soil testing: Sampling correlation, calibration and interpretation. SSSA Special Publication 21. Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 89–96.
- Liu, DL; KR Helyar.; MK Conyers, R Fisher & GJ Poile. 2004. Response of wheat, triticale and barley to lime application in semi-arid soils. Field Crops Research, 90(2), 287-301.
- Lollato, RP; JT, Edwards & H Zhang. (2013). Effect of alternative soil acidity amelioration strategies on soil pH distribution and wheat agronomic response. *Soil Science Society of America Journal*, *77*(5), 1831-1841.
- McLean, EO. (1982). Soil pH and lime requirement. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilan2), 199-224.
- Presiado Patiño, J. 1998. El encalado en los cultivos. Forrajes y Granos. Journal Nº 28. Buenos Aires. Pág. 21.
- Sainz Rozas, HR, M Eyherabide; HE Echeverría; PA Barbieri; HP Angelini & GE Larrea. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? In: García F.O., Correndo, A.A (Eds.), Simposio Fertilidad 2013. Nutrición de cultivos para la intensificación productiva sustentable. International Plant Nutrition Institute, Rosario pcia. De Santa Fe, pp. 62-72.
- Sainz Rozas, HR; HE Echeverría & HP Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y ph en suelos agrícolas de las regiones Pampeana y Extrapampeana Argentina. Ciencia del Suelo 29(1): 29-37
- SAS Institute, 2008. SAS/STAT user´s guide, Version 9.2. SAS Institute, Cary.
- Thomas, GW. 1982. Exchangeable cations. p. 159-165. In A. L. Page et al. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, Wis.
- Tisdale S, W Nelson & J Beaton. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. 4ta edicion. USA.
- Tissi, JA; EF Caires & V Pauletti. 2004. Efeitos da calagem em semedura direta de milho. *Bragantia*, *63*(3), 405-413.
- Vázquez, M, A Terminielo; A Casciani; G Millán; P Gelati; J García Díaz; J Kostiria & M García. 2012. Evaluación del efecto de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (Medicago Sativa) y propiedades edáficas en ámbitos templados argentinos. Cienc. Suelo. 28, 141-154.
- Vázquez, M; A Terminiello; A Duhour, M García, & F Guilino. 2009. Efecto de correctores de acidez sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico de la pradera pampeana. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo 27 (1):67-76.
- Vivas, H & H Fontanetto. 2003. Fósforo, azufre y calcio en la producción de soja en el departamento San Justo. 2002/2003. INTA, EEA Rafaela. Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2003. Publicación Miscelánea N°100, N°15, 5p.
- Walkey, A & TA Black. 1934. An examination of the Degtjareff methods for determining of soil organic matter, and e proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38.
- Wicks, GA; DE Smika, & GW Hergert. 1988. Long-term effects of no-tillage in a winter wheat (Triticum aestivum)–sorghum (Sorghum bicolor)–fallow rotation. Weed Sci. 36:384–393.

C3P83. UMBRALES DE NITRÓGENO EN SUELO PARA RENDIMIENTO Y PROTEÍNA EN GIRASOL

Vacca, Santiago[1,2*]; Diovisalvi, Natalia[3]; Divito, Guillermo[4]; Reussi Calvo, Nahuel[1, 2, 3] y Echeverría, Hernán[1].
[1]Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce Ruta 226 km 73,5 Balcarce (BA); 02266-439100, [2] CONICET; [3] FERTILAB; [4]AAPRESID.
*** Autor de contacto: sanvacca@gmail.com.**

RESUMEN

El análisis de muestras de suelo es la alternativa más difundida para el diagnóstico de la disponibilidad de nitrógeno (N) en cultivos extensivos. En general, comprende la determinación del contenido de N-nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) en el estrato 0-40 o 0-60 cm previo a la siembra. Sin embargo, en regiones como el sudeste bonaerense (SEB), los umbrales de N en suelo no han sido actualizados en función de los avances en la genética de los híbridos de girasol. Sumado a esto no hay registros de estudios en los que se evalúe el efecto del N sobre la proteína en grano (P_G). Para girasol creciendo en el SEB se planteó: 1) evaluar la capacidad predictiva de $N\text{-}NO_3^-$ en el suelo previo a la siembra del cultivo y 2) determinar la disponibilidad de N requerida por el cultivo para maximizar proteína en grano (P_G). Se realizaron 7 experimentos en lotes de producción del SEB. Se evaluaron 6 dosis de N (0, 30, 60, 90, 120 y 150 kg $N*ha^{-1}$), aplicadas al voleo al momento de la emergencia. El rendimiento promedio fue de 3535 $kg*ha^{-1}$, siendo la respuesta promedio en rendimiento de 600 $kg*ha^{-1}$. El porcentaje de proteína promedio fue 14,7%. El umbral crítico para que no se registren mermas en el rendimiento fue de 144 $kg*ha^{-1}$ de N disponible (suelo + fertilizante) y el requerimiento de N (suelo + fertilizante) crítico fue de 42 kg $N*Mg^{-1}$ de grano. Para maximizar la P_G, fue suficiente con incrementar en 30 kg de $N*ha^{-1}$ y 14 kg de $N*Mg^{-1}$ dichos umbrales, respectivamente. Esta información permitiría maximizar no sólo el rendimiento sino también P_G y, por ende, la calidad de los subproductos.

Palabras claves: nitrógeno, diagnóstico, nutrición.

INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annus* L.) presenta varias características agronómicas que lo convierten en una alternativa de interés, fundamentalmente en planteos productivos donde es factible el logro de rendimientos elevados. Entre ellas, posee buena capacidad de exploración del perfil del suelo para absorber agua y tolera mayores deficiencias hídricas respecto al maíz y la soja (Andrade *et al*., 2002). Además, la inclusión del cultivo en la rotación permite diversificar la ocurrencia de períodos críticos para la definición del rendimiento (Andrade *et al*., 2002).

El nitrógeno (N) es el nutriente que en mayor medida limita la producción del cultivo, a partir de su rol en la regulación del establecimiento del área foliar y la mantención de la misma postfloración (Trápani *et al.*, 2008). Ambos procesos son fundamentales para la captación de la radiación incidente y, por ende, para la generación de rendimiento y acumulación de materia grasa (MG) y proteína (P_G) en grano (Alberio *et al*., 2015). Si bien la MG determina el rendimiento industrial de los granos, y define el precio que recibe el productor, la P_G es clave para los subproductos o pellets de girasol (Dauguet *et al*., 2016). Se ha observado que diferencias en 1-2% de P_G podrían representar diferencias de hasta 5% en la concentración proteica de los subproductos (Merrien *et al*., 1988).

La deficiencia de N se manifiesta como clorosis de las hojas, principalmente en las inferiores. En promedio, el cultivo necesita absorber entre 40-45 kg de N para producir un Mg de grano (Ciampitti & García, 2007) y la máxima tasa de absorción se produce entre los 25 y 70 días después de la emergencia del cultivo, previo al estadio de floración (Steer & Hocking, 1983). Por otra parte, un exceso en la provisión de N puede tener efectos indeseables sobre el cultivo, como una mayor susceptibilidad al ataque de patógenos biotróficos (Seassau *et al.*, 2010) o disminuciones en la concentración de MG de los granos (Sosa *et al.*, 1999).

En la actualidad, el análisis de muestras de suelo es la alternativa más difundida para el diagnóstico de la disponibilidad de N. Comprende la determinación del contenido de N-nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) en el estrato 0-40 o 0-60 cm previo a la siembra del cultivo (Díaz-Zorita, 2014; Diovisalvi *et al*., 2016). Para la zona centro-sur bonaerense, Zamora & Massigoge (2008) informaron que es necesaria una disponibilidad de 130 kg $N*ha^{-1}$ para obtener la dosis óptima de producción (DOP) en girasol. Valores superiores fueron informados para el sudeste bonaerense (SEB) (150 kg $N*ha^{-1}$) y oeste bonaerense (164 kg $N*ha^{-1}$) por Ruffo *et al*. (2003) y *et al*. (2002), respectivamente. Zamora & Massigoge (2008) obtuvieron respuestas de aproximadamente 500 $kg*ha^{-1}$ con aplicaciones de 90 kg $N*ha^{-1}$ en sitios con alrededor de 50 kg* ha^{-1} de N disponible en los primeros 60 cm del suelo. Sin embargo, en regiones húmedas como el SEB, los umbrales no han sido actualizados en función de los avances en genética que presentan los híbridos modernos de girasol, los cuales día a día aumentan las brechas de rendimiento (obtenido/alcanzable) (Hall *et al*. 2013). Por lo mencionado, para la condiciones del SEB la obtención de umbrales donde se relacionen el rendimiento del cultivo con la disponibilidad de N

del suelo en presiembra, sería de gran utilidad para lograr un adecuado manejo de la fertilización nitrogenada. Sumado a esto, si bien se conoce que factores genéticos y ambientales afectan la P_G (Dauguet *et al*., 2016), la disponibilidad de N cumple un papel fundamental sobre la misma (Andrianasolo *et al*., 2016). No obstante, en la actualidad no hay registros de estudios en los que se evalúe el efecto del N sobre la P_G.

El objetivo del presente trabajo fue: 1) evaluar la capacidad predictiva de la disponibilidad de $N\text{-}NO_3^-$ en el suelo previo a la siembra del cultivo y 2) determinar la disponibilidad de N (suelo+fertilizante) requerida por el cultivo para maximizar la P_G.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 2014-2015 se realizaron 7 experimentos en el SEB. Los suelos predominantes fueron Argiudoles petrocálcicos y típicos. Se utilizaron híbridos de tipo Alto Oleico y Convencionales, de alto potencial de rendimiento y alto porcentaje de MG en granos. Se emplearon las mejores prácticas de manejo del cultivo (fecha y densidad de siembra, control de malezas y enfermedades, etc.), tendientes a maximizar los rendimientos. En cada sitio experimental se evaluaron 6 dosis de N (0, 30, 60, 90,120 y 150 kg $N*ha^{-1}$), aplicadas al voleo en forma de urea (46-0-0) a la siembra del cultivo. El diseño del experimento fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones. Cada unidad experimental fue de 10 surcos de ancho por 12 m de largo. Se aplicó fósforo y azufre para que no limitaran el rendimiento a razón de 20 y 10 $kg*ha^{-1}$, respectivamente.

Los sitios se agruparon por ubicación geográfica y características edafoclimáticas en dos sub zonas: Gral. Madariaga y Miramar-Necochea. En cada una se realizó el balance de agua, adaptando para girasol el modelo de Della Maggiora *et al.* (2003). Previo a la implantación del cultivo se tomaron muestras de suelo en los estratos 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Se realizó la determinación de materia orgánica (Walkley & Black, 1934), pH (1:2,5), P-Bray, N incubado en anaerobiosis (Keeney, 1982) y textura (Bouyoucos, 1962) en superficie (0-20 cm) y, $N\text{-}NO_3^-$ (Kenney, 1982) en todo el perfil.

En madurez fisiológica (R_9, Schneiter & Miller, 1981) se cosecharon los capítulos en 10 m lineales de los 3 surcos centrales de cada parcela y se desgranaron empleando una trilladora estacionaria. Se determinó el contenido de humedad y el rendimiento en grano el cual se expresó al 11%. El rendimiento relativo (RR) se estableció como el cociente entre el rendimiento de cada tratamiento respecto al rendimiento de la dosis máxima. Para determinación de la P_G primero se cuantificó el N en grano por el método de Dumas (Jung *et al*., 2003) y luego se convirtió dicho valor a P_G utilizando el factor 5,3 (Jones, 1941).

Se realizó el ANOVA utilizando el procedimiento PROC MIXED en R Core Team (2014) para evaluar los efectos del sitio y dosis de N sobre rendimiento y P_G. Este modelo considera sitios y tratamientos como efectos fijos. Se determinaron diferencias significativas al 5% usando la prueba de diferencia mínima significativa. La relación entre el RR o P_G con la disponibilidad de N (suelo+fertilizante) ó requerimiento de N (suelo+fertilizante) Mg^{-1} fue descripta mediante el empleo de modelos cuadrático "plateau":

$$y = a\,x + bx^2 + c \qquad \text{if } x < UC$$
$$y = P \qquad \text{if } x > UC$$

donde y es el RR o P_G, x es el nivel de N disponible (suelo +fertilizante) (kg $N*ha^{-1}$) o requerimiento de N (suelo +fertilizante) (kg $N*ha^{-1}$) Mg^{-1}, c es la ordenada al origen, a es la pendiente, b es el coeficiente cuadrático, UC es el umbral crítico de disponibilidad de N para alcanzar el máximo RR o P_G según corresponda y P es el RR o P_G en el "plateau". Cabe señalar que se determinó un punto "outlier", que se excluyó del análisis dado que el mismo provenía de un sitio con bajos stand de plantas. Además, se realizaron análisis de regresiones lineales simples, empleando el procedimiento lm ("lineal model").

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones climáticas en todos los sitios permitieron un normal crecimiento y desarrollo del cultivo. Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo resultaron similares al promedio histórico de la zona (450-500 mm, aproximadamente). Sin embargo, durante los primeros estadios (desde la siembra hasta V_6) se registraron excesos hídricos que, en promedio, fueron de 115 y 150 mm para Gral. Madariaga y Necochea-Miramar, respectivamente. Estos excesos pudieron haber ocasionado lixiviación de NO_3^- por debajo de la profundidad muestreada (0-60 cm) y, por ende, afectar la capacidad predictiva del método de diagnóstico. La radiación solar incidente se ubicó levemente por encima del promedio histórico de la zona, siendo la misma en promedio para los distintos sitios de 26,5 MJ $m^{-2}*día^{-1}$ durante los períodos críticos de floración y llenado (Tabla 1).

La clase textural para la profundidad 0-20 cm fue: Franco Arenosa (en los sitios ubicados en Madariaga y Pieres), Franco arcillo-Arenosa (en Necochea y Mechongue) y Franca (Miramar). Las concentraciones de arena, limo y arcilla (0-20 cm) variaron entre 457-658, 169-336 y 84-345 g*kg^{-1}, respectivamente. La disponibilidad promedio de N-NO_3^- en presiembra (0-60 cm) fue de 66,3 k*ha^{-1}, con valores que fueron desde 43,1 hasta 100,5 kg*ha^{-1}. Similares contenidos fueron reportados por Zamora & Massigoge (2008). Estudios realizados en el SEB indican que en suelos donde el contenido de NO_3^- a la siembra en los 60 cm superficiales supera los 50 kg N*ha^{-1} no se esperan respuestas significativas a la fertilización con N (González Montaner & Di Napoli, 2002). No obstante, Zamora & Massigoge (2008), obtuvieron respuesta significativa en sitios con valores de N inicial entre 25 y 82 kg*ha^{-1}. Algunas características edáficas y climáticas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización edáfoclimática de los sitios experimentales. MO: materia orgánica; pH; P Bray: fósforo extractable; Nan: nitrógeno incubado en anaerobiosis; N-NO_3^-: N-nitrato (siembra) RG: radiación global; Pp: precipitaciones.

Sitio	MO	P Bray	pH	Nan	N-NO_3^-	RG	Pp
	(g kg^{-1})	(mg kg^{-1})		(mg kg^{-1})	(kg ha^{-1})	(MJ m^{-2}día^{-1})	(mm)
		----------0-20cm----------			0-60cm		
1	67	16,5	5,9	56,4	75,5	26,3	450
2	32	7,0	6,4	55,5	53,8	26,3	450
3	61	29,4	5,5	51,2	100,5	26,3	450
4	51	15,1	5,9	34,7	43,1	26,4	550
5	44	13,7	6,1	59,2	44,4	26,4	550
6	61	8,8	5,6	42,5	76,6	27,0	500
7	57	6,8	5,6	56,0	69,7	27,0	500

El rendimiento en grano promedio fue de 3535 kg*ha^{-1}, con máximos de 4573 k*ha^{-1} y mínimos de 2239 kg*ha^{-1}. La interacción entre las variables sitio y dosis de N para rendimiento y proteína no fue significativa (P=0,16 y P=0,06, respectivamente). Se determinó efecto significativo del sitio experimental (P<0,001) (Tabla 2), lo cual podría estar asociado a las distintas condiciones edáficas y climáticas de los sitios, en especial durante el período crítico para la definición del rendimiento y llenado de granos. Melgar *et al*. (2003) observaron que la textura y humedad en el suelo explican un alto porcentaje de la variación del rendimiento del cultivo entre sitios experimentales.

Se determinaron diferencias significativas en rendimiento por la aplicación de N hasta los 60 kg*ha^{-1} (Tabla 2). El mismo comportamiento se observó para P_G. El contenido de MG, el cual define el precio que recibe el productor, no fue afectado por la aplicación de N (P > 0,05) (datos no mostrados). La respuesta en rendimiento promedio al agregado de N fue de 600 kg*ha^{-1}, siendo la eficiencia de uso de nitrógeno del fertilizante (EUNf) 8 kg grano*kg N^{-1}. Estos valores de eficiencia coinciden con los reportados por Díaz Zorita (2014) para la región pampeana sub-húmeda.

Tabla 2. Valor promedio de rendimiento y proteína (P_G) según la dosis de N y el sitio experimental. Sitio 3 no fue cosechado por presencia de malezas a fin de ciclo del cultivo.

Dosis/Sitio	Factor	Rendimiento (kg ha^{-1})	P_G (%)
Dosis de N	0	3169 d	13,3 c
	30	3298 c	13,8 bc
	60	3563 b	14,4 b
	90	3676 a	15,3 a
	120	3665 a	15,4 a
	150	3592 a	16,0 a
Sitio	1	3617 c	14,8 bc
	2	2724 e	14,0 d
	4	4280 a	15,6 b
	5	3098 d	16,9 a
	6	3903 b	14,7 cd
	7	3617 c	12,2 e
LSD		ANOVA	
	Dosis	P<0,001	P<0,001
	Sitio	P<0,001	P<0,001
	Dosis*Sitio	0,16	0,06

Letras minúsculas distintas en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas con un LSD 5% de probabilidad.

La Figura 1A muestra la asociación entre el RR del cultivo y la disponibilidad de N. Se determinó que el UC para que no se registren mermas en el rendimiento fue de 144 kg de N*ha^{-1}. Este umbral es superior al reportado por Zamora & Massigoge (2008), quienes establecieron un umbral de 130 kg N*ha^{-1}, similares al reportado por Ruffo *et al*. (2003) para el SEB (150 kg N*ha^{-1}) e inferiores a los informados por Zubillaga *et al*. (2002) para oeste bonaerense (164 kg N*ha^{-1}). Por otra parte, en la Figura 1B se presenta la relación entre el RR y el requerimiento de N disponible por Mg de grano. En la misma se observa que el requerimiento de N crítico fue de 42 kg N*Mg^{-1}. Este último umbral permite establecer la dosis de N a aplicar en función del rendimiento objetivo de cada ambiente, a diferencia del presentado en la Figura 1A, que es independiente del rendimiento objetivo.

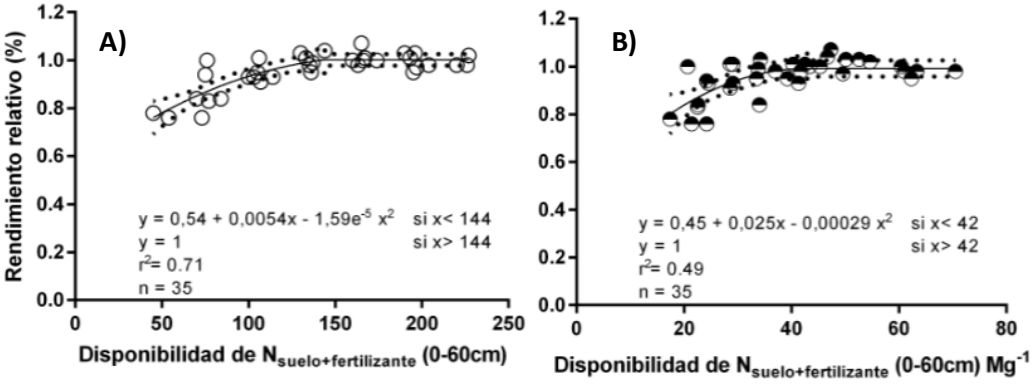


Figura 1. Rendimiento relativo en función de (A) la disponibilidad de nitrógeno (N) del suelo en presiembra del cultivo más fertilizante y (B) requerimiento de N disponible del suelo en presiembra del cultivo más fertilizante por tonelada de rendimiento en grano.

La Figura 2A muestra la asociación entre el porcentaje de proteína en grano y la disponibilidad de N. Se determinó que el UC para maximizar la concentración de P_G fue de 174 kg de N*ha^{-1}. Por otra parte, en la Figura 2B se presenta la relación entre P_G y el requerimiento de N disponible por Mg de grano. En la misma se observa que el requerimiento de N crítico fue de 56 kg N*Mg^{-1}. Este último umbral permitiría establecer la dosis de N en función del porcentaje de proteína objetivo de cada ambiente.

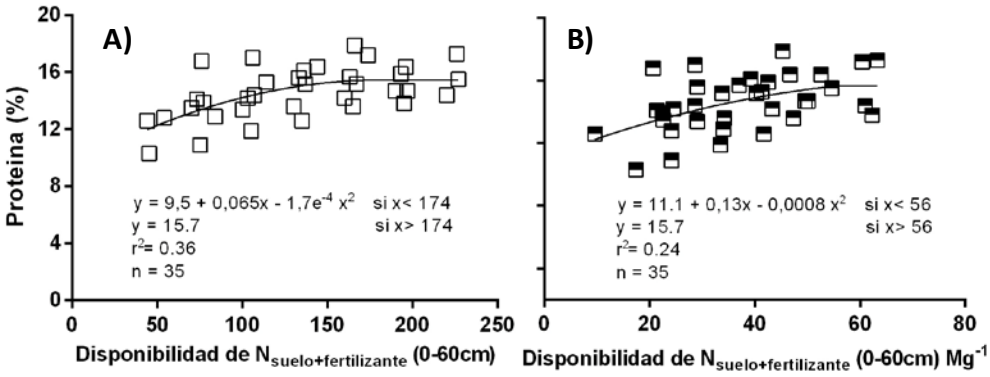


Figura 2. Porcentaje de proteína en grano en función de (A) la disponibilidad de nitrógeno (N) del suelo en presiembra del cultivo más fertilizante y (B) requerimiento de N disponible del suelo en presiembra del cultivo más fertilizante por tonelada de rendimiento en grano.

CONCLUSIONES

Para maximizar el rendimiento en grano de girasol se determinó un UC de 144 kg de N (suelo + fertilizante) ha^{-1} y un requerimiento de N crítico de 42 kg N (suelo + fertilizante) Mg^{-1} de grano. Mientras que para maximizar proteína se necesitaría disponer de 30 kg de $N*ha^{-1}$ y 14 kg $N*Mg^{-1}$ de grano adicionales respecto a rendimiento. De esta manera se lograría maximizar rendimiento, proteína y, consecuentemente, la calidad de los subproductos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alberio, C; N Izquierdo & L Aguirrrezábal. 2015. Sunflower crop Physiology and Agronomy. En: Martínez-Force, E; Dunford, N. & Salas, J. (eds.). Sunflower: chemistry, production, processing and utilization. AOCS Press: Urbana, IL USA, pp. 53-91.
- Andrade, FH; L Aguirrezabal & RH Rizalli. 2002. Crecimiento y rendimiento comparados. En; Andrade, F.H., Sadras, VO. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Grafica Sirio, Buenos Aires, AR .pp 57-96
- Andrianasolo, FN; L Champolivier; P Debaeke & P Maury. 2016. Source and sink indicators for determining nitrogen, plant density and genotype effects on oil and protein contents in sunflower achenes. Field Crops Res. 192: 33-41.
- Bouyoucos, G. 1962. Hydrometer method for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54:464-465
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39-45.
- Ciampitti, IA & FO Garcia. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. [En línea] IPNI Archivo Agronómico Nº12http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/$FILE/AA%2012.pdf [consulta: octubre 2014]
- Dauguet, S; F Labalette; F Fine; P Carré; A Merrien & JP Palleau. 2016. Genetic impact on protein content and hullability of sunflower seeds, & on the quality of sunflower meal. OLC. 23(2).
- Della Maggiora, AI; A Irigoyen; J Gardiol; O Caviglia & L Echarte. 2003. Evaluation of a soil water model for the corn crop. Rev. Agric. Agrometeor. 2: 167-176.
- Díaz-Zorita, M 2014. Girasol. En: Echeverria, H.E.; Garcïa, F.O. (eds.) Fertilidad de los suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA. Buenos Aires, AR pp 17: 509-524.
- Diovisalvi, N; G Studdert; N Reussi Calvo; G Dominguez & A Berardo. 2014. Estimating soil particulate organic carbon through total soil organic carbon. Ci. Suelo. 32: 85-94.
- Diovisalvi, NV; NI Reussi Calvo; GA Divito; N Izquierdo; HE Echeverría & FO Garcia. 2016. Métodos de diagnóstico de nitrógeno en suelo para girasol. Better Crops 100 (2): 10-12.
- González Montaner, J & N Di Napoli. 2002. Sistemas de producción de girasol en la región húmeda argentina. En: Díaz Zorita, M.; Duarte, G.A. (eds.). Manual práctico para el cultivo de girasol. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. pp. 267-280.

- Hall, A. J; Feoli, C, Ingaramo, J & M Balzarini. 2013. Gaps between farmer and attainable yields across rainfed sunflower growing regions of Argentina. Field crops research, 143, 119-129.
- Jones, DB. 1941. Factors for converting percentages of nitrogen in foods and feeds into percentages of proteins, Washington, DC: US Department of Agriculture, pp. 1-22.
- Jung, S; D Rickert; N Deak; E Aldin; J Recknor; L Johnson & P Murphy. 2003. Comparison of Kjeldahl and Dumas methods for determining protein contents of soybean products. J. Am. Oil Chem. Soc. 80: 1169–1173.
- Keeney, DR. 1982. Nitrogen-availability indeces. En: Page, A. L. et al. (eds.), Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, EEUU, pp. 711-733.
- Melgar, R; A Bono & A Quiroga. 2003. Calibración de un método de diagnóstico de fertilización nitrogenada en girasol. [en línea] ASAGIR. <http://www.assagir.org.ar/> [consulta: octubre 2015].
- Merrien, A; A Quinsac & C Maisonneuve. 1988. Variabilite de l'teneur en proteines des graines de tournesol en relation avec l'etat proteique foliare. En: Proc. 12th Int. Sunflower Conf., Novi-Sad, Yugoslavia, pp. 158-169.
- Ruffo, M; F García; G Bollero; K Fabrizzi & R Ruiz. 2003. Nitrogen balance approach to sunflower fertilization. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 34: 2645–2647.
- Schneiter, AA & JF Miller. 1981. Description of sunflower growth stages. Crop Sci. 21: 901–903.
- Seassau, C; G Dechamp-Guillaume; E Mestries & P Debaeke. 2010. Nitrogen and water management can limit sunflower premature ripening of sunflower induced by Phoma macdonaldii. Field Crops Res 115 (1):99-106
- Sosa, L; H Echeverría; G Dosio & L Aguirrezábal. 1999. Evaluación de la nutrición nitrogenada de girasol cultivado en Balcarce (Buenos Aires, Argentina). Ci. Suelo 17: 20-26.
- Steer, BT & PJ Hocking. 1983. Leaf and floret production in sunflower (Helianthus annuus L.) as affected by nitrogen supply. Ann. Bot. 52: 267-277.
- Trápani, N; M Pereira López; V Sadras & A Hall. 2008. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en girasol. En: Satorre, E.; Benech Arnold, R.; Slafer, G.; de la Fuente, E.; Miralles, D.; Otegui, M.; Savin, R. (eds.). Producción de Granos: bases funcionales para su manejo. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. AR pp 205-241.
- Walkley, A & CA Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration meted. Soil Sci. 37: 29-37.
- Zamora, M & J Massigoge. 2008. Fertilización de girasol con nitrógeno y azufre bajo siembra directa en el centro sur bonaerense. Actas 21° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, mayo. 2008. En CD.
- Zubillaga, M; J Aristi & R Lavado. 2002. Effect of Phosphorus and Nitrogen Fertilization on Sunflower (Helianthus annus L.) Nitrogen Uptake and Yield. J. Agron. and Crop Sci. 188(4): 267-274.

C3P84. RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN CULTIVO DE RABANITO

Venegas Tarancón, Stefanía G.[1]; Alegre Porto, Claudia Marcela[1]; Bono, Carla Agustina[1]; Bordato, María Sofía[1]; Ottone Zaderej, Joaquín H.[1]; Arias, María Laura[1] y Villagra, Elizabeth L.[2]

[1]Practicantes Cát. de Horticultura. [2]Tutora Cátedra de Horticultura. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán (FAZ-UNT). Avenida Roca 1900. San Miguel de Tucumán. Argentina. svtarancon92@gmail.com

RESUMEN

El rabanito es una hortaliza de ciclo corto, perteneciente a la familia de las Crucíferas. El órgano comercial es una raíz carnosa, variable en cuanto a forma, tamaño y color. El tallo es breve, con una roseta de hojas. La raíz logra el tamaño característico antes de comenzar a ablandarse, tornarse fibrosa y poco apetecible. Requiere suelos con buen contenido de materia orgánica y es poco tolerante a sales. Es de siembra directa en líneas (8 $kg.ha^{-1}$) o al voleo (12 $kg.ha^{-1}$). En 2004 para obtener rábanos comerciales con calidad, recomendaron aplicar fertilizantes de síntesis (N-P-K) como: 16-6-4 que proporcionó buena calidad de rabanitos. 14-6-2 fue la que proporcionó la mejor calidad; mientras que 16-8-6 generó la menor calidad. La fertilización orgánica provee productos sanos. Según el Institute of Soil and Environmental Sciences, la utilización integral del compost aumenta el crecimiento de las plantas y mejora rendimientos; también favorece la acción de fertilizantes químicos, de manera que se emplee menos cantidades para obtener los mismos resultados. El objetivo del trabajo fue: determinar respuesta a la fertilización orgánica con compost, mediante parámetros de crecimiento y rendimientos en cultivo de rabanito. Se trabajó en Campo Experimental de Cátedra de Horticultura en Finca El Manantial - Tucumán, ubicado a 26º55 min de L.S. y 65°20 min LO. En la zona agroecológica de la Llanura Chaco Pampeana sub húmeda-húmeda, con precipitaciones de 900 mm, evapotranspiración entre 800 a 900 mm y con un balance hídrico positivo. La temperatura media anual es de 18,9 ºC. Con suelos Argiudol Típico y drenaje moderado a bueno. El suelo posee buen contenido de materia orgánica y fertilidad, con resistencia al planchado y buen drenaje, requisito necesario para producir raíces. El fertilizante orgánico empleado fue un compost comercial con composición cada 100 g de producto de: humedad: 35-40%; cenizas 40-45 %; pH 4-6,2; C/N: 7,7; conductividad eléctrica 1,1mmhos/cm. Se empleó semilla Cv. Redondo Rosado Punta Blanca. Se sembró al voleo en tres parcelas de $3m^2$ en BCA, con una densidad de 15 $g.10m^{-2}$. Las parcelas de siembra fueron de 1,0m de ancho y elevadas unos 0,25m del suelo. La profundidad de siembra fue de 0,05m. Los tratamientos fueron: T1= suelo sin fertilización-control; T2= suelo + 60 dm^3 de compost comercial; T3= suelo + 120 dm^3 de compost comercial. Se efectuaron control de malezas y dos riegos semanales. Los parámetros evaluados fueron: número de hojas y peso fresco aéreo; diámetro, peso, número de raíces y rendimientos. Los datos se procesaron con paquete estadístico R. Con ANVA se determinó que: no hubo diferencias en cuanto a peso fresco aéreo. En número de hojas T3 superó al resto. En cuanto a rendimientos, hubo diferencias entre T1 (1.124,00 $kg.ha^{-1}$) y T2(969,10 $kg.ha^{-1}$) respecto a T3(696,30 $kg.ha^{-1}$). Esto se asocia con efectos fisiológicos en el cultivo, que se traducen en una capacidad diferencial de la partición de asimilados según disponibilidad de nutrientes del suelo y destinos en la planta. Por las respuestas en cultivo, es necesario ensayar otras dosis de compost, para esta tecnología.

Palabras clave: *Raphanus sativus* L., compost, rendimientos

C3P85. EVALUACIÓN DE EFECTOS DE FERTILIZACIÓN CON BIOFERTILIZANTES EN CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.)

Venegas Tarancón, Stefanía G.[1]; Villagra, Elizabeth L.[2] y Ortiz, Nélida del V.[3]

[1]Becaria SCAIT-UNT; [2] Directora de beca-Cátedra de Horticultura; [3] Co-directora-Cát. de Biometría. Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán. Avenida Roca 1900. San Miguel de Tucumán. Argentina. svtarancon92@gmail.com

RESUMEN

La papa es una hortaliza de interés mundial. En Argentina, Tucumán es importante productora de papa-consumo primicia. La producción demanda nutrientes y depende de elevados volúmenes de fertilizantes de síntesis. El objetivo fue evaluar el efecto de biofertilizantes en cultivo de papa como una herramienta tecnológica productiva y sustentable. Se trabajó en terrenos de Cátedra de Horticultura en Facultad de Agronomía y Zootecnia-UNT en El Manantial-Tucumán -zona agroecológica de la Llanura Chaco Pampeana sub húmeda-húmeda-. Con diseño experimental BCA (4 x4) en parcelas útiles (10m x 0,70m x 0,20m) se ensayaron: **T1:** convencional: 200Kg.ha^{-1} urea y 100Kg.ha^{-1} fosfato diamónico (fertilización química de base); **T2:** biofertilizante comercial por aspersión foliar (500cc.ha^{-1}); **T3:** 50% dosis de fertilización química + 50% biofertilizante; **T4:** 30% dosis de fertilización química + 70% biofertilizante. Se monitoreó el cultivo y en cosecha se evaluó: altura (cm) y número de tallos por planta, número, peso (g), categoría comercial y rendimientos de tubérculos (Kg.ha^{-1})/T. Los datos se procesaron con paquete estadístico R. Con ANVA y test de Tukey se determinó: T2, T3 y T4 presentaron alturas de planta y tallos inferiores a T1, lo cual incide en su área fotosintéticamente activa y potencial traslocación de fotoasimilados a los tubérculos. T3 presentó alturas medias superiores a T2 y T4. Para peso de tubérculos grandes (>150 g) y medianos (70-150 g) los efectos de los 4 tratamientos fueron homogéneos. Para peso de tubérculos chicos (<60 g) hubo diferencias altamente significativas entre T2 y T4 respecto a T1. Los rendimientos mostraron que T1 fue mayor a T2, T3 y T4. T2 fue el de menor desempeño. T3 y T4 tuvieron rendimientos similares. Los biofertilizantes combinados con fertilizantes químicos, constituyen una herramienta para disminuir el uso de fertilizantes de síntesis en papa, que requiere ser ajustada para lograr rendimientos cuali y cuantitativamente sustentables.

Palabras clave: biofertilización, tubérculos, sustentabilidad

INTRODUCCIÓN

La papa es un agroalimento hortícola de interés mundial, es el tercer cultivo alimenticio más importante en términos de consumo humano después del arroz y del trigo. Resulta esencial en términos de seguridad alimentaria frente al crecimiento de requerimientos nutricionales y de la población (FAO, 2008). En Argentina la papa var. Spunta ocupa más del 70% de la superficie cultivada. Tucumán produce papa temprana de colocación directa e interés en el mercado nacional (Villagra *et al.*, 2003). Cuenta con una superficie cultivada de aproximadamente 8.000 hectáreas. A nivel país, Tucumán aporta un 9% de papa consumo y es el tercer centro productor luego del Sudeste de Buenos Aires y Córdoba (Mosciaro, 2011).Dentro de la actividad hortícola su cultivo es el de mayor relevancia económica para la provincia, representa 4,7 % del PGB agropecuario (G.E.E.D.P., 2017).

La fertilización de los cultivos es fundamental para el balance nutricional: suelo, planta, ambiente, de allí la importancia de poner a disposición de los cultivos, dosis lo más racionales y ajustadas posibles para evitar efectos negativos (toxicidad, contaminación por pérdidas, etc.) (Gómez, 1999).

La papa es un cultivo demandante en nutrientes y dependiente de elevados volúmenes de N, P, K –Nitrógeno, Fósforo, Potasio- por lo cual, es recomendable realizar análisis de suelos previos a la plantación para estimar la dosis a aportar. El N promueve el crecimiento de la parte aérea y la formación y engrosamiento de los tubérculos, siempre y cuando, se consideren los valores adecuados. Un exceso de N produce retraso en la tuberización y excesivo crecimiento aéreo. El P favorece el desarrollo radicular, la precocidad de la papa y el contenido de almidón. El K ayuda a la formación de almidón. Genera resistencia a heladas, sequía, enfermedades y favorece poscosecha (Caldiz & Gaspari, 1997).

El sistema actual de producción de papa presenta creciente dependencia de insumos agroquímicos, con tendencia al incremento de costos, contaminación y desequilibrios en los agroecosistemas destinados a este cultivo. De igual forma, se incrementan los riesgos de impactos negativos sobre suelos, el medioambiente y la salud, tanto de productores como de consumidores (Figueroa, 2005). El reconocimiento de esta situación ha generado conciencia social sobre la necesidad de revertir los impactos negativos causados en el suelo. Siendo éste, un recurso natural que propició la aparición de conceptos agroproductivos sustentados en la combinación e interacción de los avances tecnológicos modernos – entre

ellos los biofertilizantes -, junto con la preservación del ambiente y las prácticas tradicionales de cultivo (Martínez Viera & Dibut Alvarez, 1996 a).

Una opción que se analiza es sustituir gradualmente los químicos inorgánicos por abonos orgánicos, hasta lograr un equilibrio que permita rentabilidad, sin menoscabar los recursos naturales. Así la agricultura ecológica, se orienta a la producción en armonía con el entorno, conservando y mejorando la bioestructura del suelo y combatiendo plantas indeseables y plagas, sin dañar a organismos benéficos. Tiene a los biofertilizantes como componente principal (Martínez Viera & Dibut, 1996 b). Los biofertilizantes pueden definirse como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes, fijadoras de N, solubilizadoras de P o potenciadoras de nutrientes, que se utilizan para aplicar a las semillas o al suelo, con el objetivo de incrementar el número de microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos, de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas o hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y el rendimiento de los cultivos y además permiten reducir el uso de fertilizantes químicos (Dibut, 1998). Cuando se hacen aplicaciones foliares, las bacterias se establecen sobre las hojas y se alimentan de las secreciones, manteniéndose durante largo tiempo en las hojas que reciben sombra, como ha sido demostrado en plantaciones de Centro y Suramérica (Martínez Viera & Dibut, 1996 a).

Respecto a las bacterias, en el caso de *Azospirillum* sp., es un género de vida libre clasificado como PGPR (plant growth promoting rhizobacteria). Entre los mecanismos por los cuales favorece el crecimiento de las plantas, se encuentra su capacidad para producir y metabolizar fitohormonas (Cassán *et al.*, 2013). Este efecto se suma a otros de acción directa e indirectos como el control biológico, por la acción antibiótica y la competencia generada con microorganismos por el espacio en la rizósfera (Glick, 1995).

El objetivo del trabajo fue evaluar los efectos de biofertilizantes en cultivo de papa temprana, como una herramienta tecnológica, productiva y sustentable.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó en predios de la Cátedra de Horticultura de la Facultad de Agronomía y Zootecnia-UNT en Finca El Manantial- Tucumán, ubicada a 26º 55 min de L.S. y 65° 20 min LO. En la zona agroecológica de la Llanura Chaco Pampeana sub húmeda-húmeda, con precipitaciones de 900 mm, con evapotranspiración de 800 - 900 mm aproximadamente y con un balance hídrico positivo. La temperatura media anual es de 18,9 ºC. Con suelos Argiudol Típico y drenaje moderado a bueno. El suelo posee buen contenido de materia orgánica y fertilidad, con resistencia al planchado y buen drenaje, requisito necesario para producción de raíces y tubérculos (Zuccardi. & Fadda, 1985). Previo a la implantación del ensayo se efectuó toma de muestras y análisis de suelo en Laboratorio de Cátedra de Edafología en FAZ-UNT, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Análisis de muestra de suelo del área de ensayo

Parámetros analizados	Valores en la muestra de suelo
pH	6,6
CE (dS/m)	0,2
MO (%)	2,13
N Total (%)	0,10
CIC (cmolc/kg)	13,9
Ca (cmolc/kg)	6,0
Mg (cmolc/kg)	0,6
K (cmolc/kg)	1,3
Na (cmolc/kg)	0,3

Tabla 1: Análisis de suelo. Determinación cuali y cuantitativa de la muestra. (pH: potenciómetro dilución 1:2:5; CE: conductividad eléctrica del extracto de saturación; N Total: Kjehldal; MO: Materia orgánica determinado con Walkley – Black).

Para la plantación se empleó papa semilla certificada var. Spunta con una densidad de siembra de 50 bolsas.ha^{-1}, lo que equivale a 2.500 Kg.ha^{-1}. El diseño experimental fue en Bloques Completos al Azar (BCA) con 4 tratamientos y 4 repeticiones. Se trabajó en parcelas útiles con hileras de 10 m de largo, distanciadas a 0,70 m y con implantación a 0,20 m entre tubérculos semilla.

Las fuentes nutricionales seleccionadas fueron:

1- De síntesis química: Urea (46:0:0) y Fosfato diamónico (18:46:0).

2- Biofertilizante: acondicionador biológico comercial (NODUMAX).

El producto comercial elegido para el ensayo está compuesto por: *Azospirillum sp.*, osmo protector, solución de micronutrientes y acondicionador biológico.

Los tratamientos fueron:

T1: Convencional o estándar (empleado por productores comerciales): 200 $Kg.ha^{-1}$ urea y 100 $Kg.ha^{-1}$ fosfato diamónico (fertilización química).

T2: Biofertilizante comercial (500 $cc.ha^{-1}$).

T3: 50% dosis de fertilización química + 50% biofertilizante comercial.

T4: 30% dosis de fertilización química + 70% biofertilizante comercial.

La fertilización química se efectuó al momento de la plantación- como base- del total de fósforo (P) y el 50% de nitrógeno (N) correspondiente a cada tratamiento. A los 40 días de la plantación, se incorporó el resto del N con el aporque y la aplicación del biofertilizante mediante aspersión foliar. De esta forma, de acuerdo a la dosis y superficie de trabajo, se hicieron aplicaciones fraccionadas de los fertilizantes, según tratamiento y fenología del cultivo, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2: Dosis y aplicaciones de fertilizantes según fenología del cultivo y tratamiento.

Tratamiento	Fertilización en plantación (10 m lineales)	Fertilización a los 40 días de plantación (10 m lineales)
T1	45,5g de Urea 152,0g de 18:46:0	45,5g de Urea
T2	----------	0,35cc de Biofertilizante
T3	22,75 g de Urea. 76,0g de 18:46:0	22,75g de Urea 0,17cc de Biofertilizante
T4	13,62g de Urea. 45,6g de 18:46:0	12,62g de Urea 0,24cc de Biofertilizante

Se aplicó riego a fin de proporcionar 700 mm de agua durante el ciclo del cultivo y se efectuó monitoreo.

Según tratamientos, en cosecha (100 días) se evaluaron parámetros morfo-fisiológicos del cultivo, a saber:

- Número de plantas/Tratamiento (NP).
- Altura de tallos: se usó una escala en centímetros (cm).
- Número de tallos por planta: se efectuó conteo en el total de plantas, considerando las parcelas experimentales por cada tratamiento.
- Número de tubérculos/Tratamiento: se efectuó conteo de tubérculos.
- Peso de tubérculos/Tratamiento determinado con balanza (g) y categorización según valor comercial en: tubérculo chico: < de 60 g; mediano: 70-150 g y grande: > 150 g.
- Rendimiento por parcela útil ($Kg.ha^{-1}$)/T.

Mediante el análisis de la varianza (ANVA) se estudió la relación entre tratamientos y altura de tallos, como también tratamientos y tamaño o categoría de tubérculos. Se evaluaron y ponderaron rendimientos. Se usó la prueba o test de Tukey para identificar las diferencias significativas entre los valores medios de los diferentes tratamientos. Los datos fueron procesados estadísticamente para obtener resultados usando el paquete estadístico R (R Core Team, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante ANVA siguiendo diseño experimental BCA y con test de Tukey para determinar si existen diferencias significativas entre los distintos tratamientos se determinó:

1) Altura de planta y longitud de tallos: se evaluaron las respuestas de las plantas a los distintos tratamientos para considerar diferencias y significación, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3: Altura de plantas y longitud de tallos

Tratamiento	Medias	E.E.	
T1	31,27	0,62	a
T2	23,19	0,65	b
T3	28,60	0,50	c
T4	24,92	0,92	b

Medias con igual letra no son significativamente diferentes (p >0,05). Letras distintas indican diferencias significativas (p < 0,05).

T1 es diferente de los otros tratamientos con nivel de significación del 5%.

Las plantas de T2, T3 y T4 presentaron menor porte, lo cual influirá en su área fotosintéticamente activa y potencial traslocación de fotoasimilados a los tubérculos, situación ésta, que incidirá en los rendimientos.
T3 se diferencia de T1 significativamente.
T3 también difiere significativamente de T2 y T4, mostrando mayor porte de plantas.
Las medias de T2 y T4 resultaron homogéneas, siendo los de menor altura entre los tratamientos ensayados.
Estos resultados se visualizan en la Figura 1.

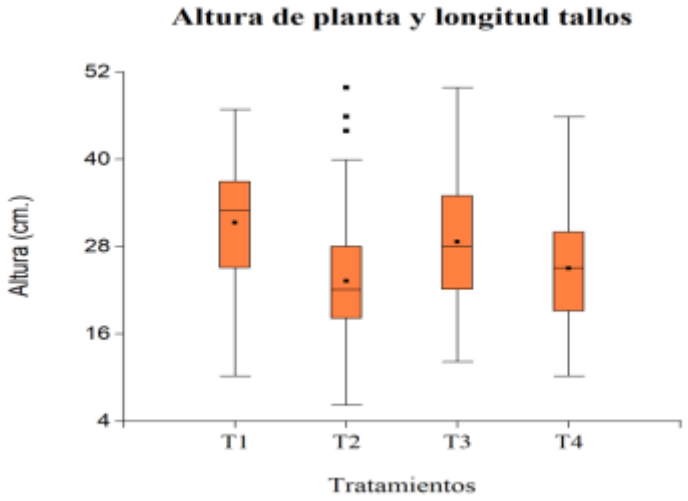


Figura 1: Gráfico de cajas para altura de plantas y longitud de tallos

2) Peso de tubérculos y categoría comercial: se evaluaron los efectos de los distintos tratamientos para considerar diferencias y significación, como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4: Peso de tubérculos por tratamiento y categoría comercial

Tratamiento	Categorías de tubérculos		
	Grande	Mediano	Chico
T1	159,61	68,46	30,53
T2	150,98	70,49	24,06
T3	159,27	68,33	28,04
T4	159,04	67,59	24,65

Para peso de los tubérculos grandes (>150 g) y medianos (70-150 g) no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Lo cual, evidencia que los efectos de los 4 T tuvieron comportamiento similar u homogéneo.
Para pesos de tubérculos chicos (<60 g) hubo diferencias altamente significativas con p= 0,0003 (Tabla 5).

Tabla 5: Peso de tubérculos por tratamiento en categoría comercial chico

Tratamiento	Medias	E.E.	
T1	30,53	1,16	a
T2	24,06	1,36	b
T3	28,04	1,32	ab
T4	24,65	1,08	b

Medias con igual letra no son significativamente diferentes (p >0,05). Letras distintas indican diferencias significativas (p < 0,05).

Las medias de T2, T3 y T4 resultaron homogéneas, sin embargo T3 mostró un comportamiento homogéneo con T1.

La Figura 2 muestra el comportamiento de peso de tubérculos por tratamientos y categoría comercial.

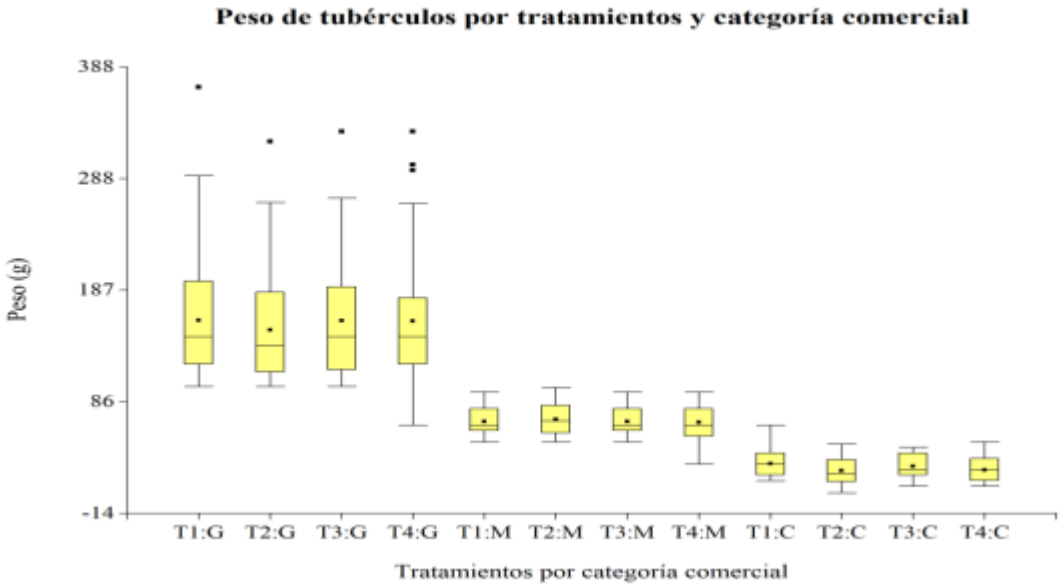


Figura 2: Gráfico de cajas para peso de tubérculos por tratamiento y categoría comercial
G: categoría comercial tubérculo grande. M: tubérculo mediano. C: tubérculo chico

3) Rendimientos por tratamientos ensayados: a partir de los rendimientos obtenidos por parcelas útiles, se ponderaron los rendimientos por hectárea, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Rendimientos globales por tratamientos ensayados

Tratamiento	Rendimiento ($Kg.ha^{-1}$)
T1	24.804,78
T2	14.661,79
T3	17.059,90
T4	17.370,21

Al considerar rendimientos globales, T1 muestra diferencias significativas en cuanto a los rendimientos obtenidos en tubérculos ($Kg.ha^{-1}$), respecto al resto de los tratamientos. T2 fue el de menor desempeño (40,89% inferior a T1). T3 produjo 31,22% menos que T1 y T4 alcanzó 29,90% menos que T1, como se observa en la Figura 3.

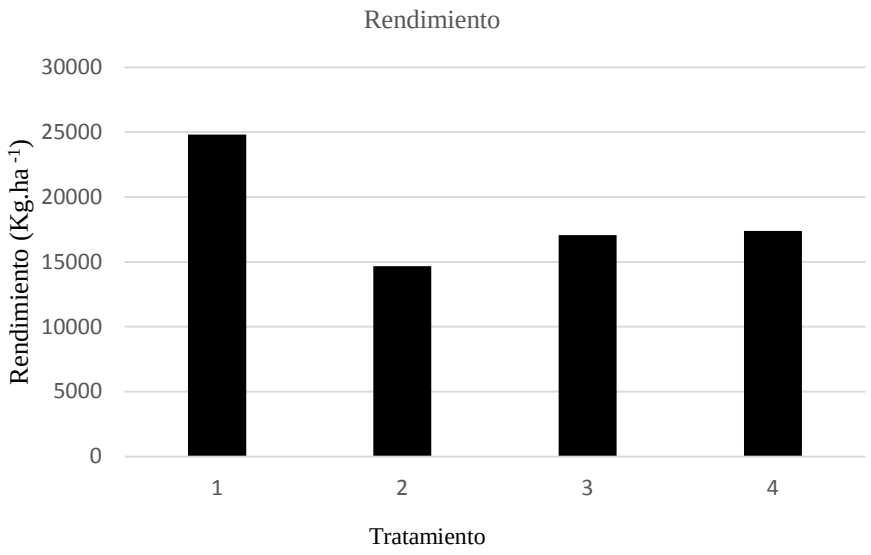


Figura 3: Rendimientos por tratamientos

CONCLUSIONES

El correcto equilibrio de nutrientes recibidos durante el cultivo, se traslada al producto e incide en su cantidad y calidad agroalimentaria.

Los biofertilizantes combinados con fertilizantes químicos, constituyen una herramienta para disminuir el uso de fertilizantes de síntesis en papa y requiere ser ajustada para lograr rendimientos cuali y cuantitativamente sustentables.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencias, Arte e Innovación Tecnológica de la Universidad Nacional de Tucumán (SCAIT-UNT) por la posibilidad de realizar este trabajo en el marco de una beca.

A mi directora y co-directora de beca por la orientación para realizarlo.

BIBLIOGRAFÍA

- Dibut, B. 1998. Efecto de *Azotobacter chroococcum* sobre el cultivo de la cebolla. Tesis. Dr. Cs. Agr. La Habana. Cuba. 101p.
- Caldiz, DO & FJ Gaspari. 1997. Análisis de los factores determinantes del rendimiento en papa (*Solanum tuberosum* L.) con especial referencia a la situación argentina. Rev. Fac. Agr. La Plata. P 102:203-229.
- Cassán, F; D Riveira Botia; D Torres & R Molina. 2013. Aspectos bioquímicos, fisiológicos y agronómicos de la producción de fitohormonas por *Azospirillum sp*.in: Microbiología agrícola. Un aporte a la investigación en Argentina. S. M. de Tucumán, Tucumán. Argentina. Ediciones Magna. 2° ed. P 329-350. (Albanesi, A. ed.).
- FAO. 2008. URL: http//www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/cultivo.html. Consultado: Setiembre 2016.
- Figueroa, M.A. 2005. Sistemas Alternativos para la producción de papa sobre bases agroecológicas. Tesis en opción al título de Máster en Agroecología. Universidad de Matanzas, Matanzas. Cuba. P 78.
- G.E.E.D.P (Grupo de Estudios Económicos para el Desarrollo Productivo). 2017. Cadena agroindustrial de la papa tucumana. Disponible en: http://produccciontucuman.gob.ar/wp-content/uploads/2017/11/informe-papa.pdf - Fecha de consulta: Octubre de 2017.
- Glick, B. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Canadian Journal of Microbiology 41: 107-120.
- Gómez, O. 1999. Conceptos básicos de fertilidad de suelos e interpretación de análisis. Disponible en: http://www.infoagro.com/hortalizas/patata.html.Consultado: Setiembre de 2016.
- Martínez Viera, R & B Dibut. 1996 a. Beneficios de la utilización de los biofertilizantes en Cuba. En: Memorias del I Encuentro Internacional sobre Agricultura Urbana y su impacto en la comunidad. La Habana. Cuba. P 61-67.
- Martínez Viera, R & B Dibut. 1996 b. Los biofertilizantes como pilares básicos de la Agricultura Sostenible. En Curso Taller sobre Gestión Medioambiental de Desarrollo Rural. La Habana. Cuba. P 62-81.
- Mosciaro, M. 2011. Caracterización de la producción y comercialización de papa en la Argentina. INTA Balcarce. Bs. As. Argentina. URL: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_mercado_de_papa_en_argentina_nov2011.pdf. Consultado: Noviembre de 2017.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.
- Villagra, EL; EZ Brandán & NV Ortiz. 2003. Evaluación comparativa de efectos nutricionales con NPK en postcosecha de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L. cv. Spunta)- Tafí del Valle-Tucumán. Argentina. 3ª Reunión de Producción Vegetal y 1ª de Producción Animal del NOA. P 09.
- Zuccardi, RB & GS Fadda. 1985. Bosquejo agrológico de la provincia de Tucumán. Miscelánea N° 86. Universidad Nacional de Tucumán Facultad de Agronomía y Zootecnia. 33pp.

C3P86. INCIDENCIA DE LA FERTILIZACION FOSFATADA SOBRE EL RENDIMIENTO COMERCIAL DEL CULTIVO DE PAPA

Zamuner, Ester C.[1]*; Giletto, Claudia M[1].; Lattour, Kevin[2] y Echeverría, Hernán E[1].

[1] Unidad Integrada INTA-FCA (UNMdP). Ruta 226 km 73,5. CC 276 (B7620EMA) Balcarce, Buenos Aires. Argentina.
[2] Becario Doctoral CIC (Comisión de Investigaciones Científicas).
*zamuner.ester@inta.gob.ar

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la fertilización con fósforo (P) sobre el rendimiento total, comercial y la distribución por tamaño de los tubérculos en el cultivo de papa. Se analizó la información proveniente de once ensayos de fertilización fosfatada en papa variedad Innovator realizados en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, entre el 2005 y 2016. En cada sitio se compararon cuatro dosis de P (0, 25, 50 y 100 kg P ha^{-1}) dispuestas en diseño experimental en bloques completos y aleatorizados con tres repeticiones. Los resultados muestran que el P incrementó el rendimiento total y comercial (tubérculos mayores a 50 mm) en 6 de los 11 sitios, en los cuales el P–Bray inicial era bajo o medio (menor 30 mg kg^{-1}). Los tubérculos de tamaño no comercial (menores a 50 mm) representaron el 11% de la producción total de tubérculos. Se determinó una relación estrecha y significativa entre el rendimiento total (x) y comercial (y) ($x= 0,96\ x – 5,89$; $R^2=0,89$; $p<0,0001$). El número y peso promedio de los tubérculos durante el ciclo de crecimiento dependió de la fertilización y de la disponibilidad inicial de P en el suelo. En suelos con disponibilidad inicial baja o media, la fertilización aumento el número y tamaño de los tubérculos durante el ciclo de crecimiento. En sitios con alta disponibilidad inicial de P, la fertilización incrementó el número y tamaño de los tubérculos solo en las etapas iniciales de crecimiento, desapareciendo esta ventaja inicial en la medida que avanzó el ciclo del cultivo. Los resultados confirman que la nutrición fosfatada juega un rol importante en regular la cantidad y el tamaño de los tubérculos durante la estación de crecimiento y como consecuencia a la cosecha.

Palabras claves: descarte, número tubérculos, tamaño tubérculos.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) se consume principalmente como producto natural sin procesos industriales. Sin embargo, en Argentina, su empleo como producto procesado está adquiriendo cada vez mayor importancia. Este destino de la producción es exigente en cuanto al tamaño y uniformidad de tubérculos comerciales (Caldíz, 2006). La forma de los tubérculos depende, entre otros factores, del cultivar y de la disponibilidad de agua y nutrientes durante el cultivo. Dada la baja disponibilidad de fósforo (P) de los suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires, la fertilización fosfatada es indispensable para asegurar un óptimo crecimiento y desarrollo de la planta y no afectar el rendimiento y la calidad de tubérculos (Echeverría & Giletto, 2015).

Numerosas investigaciones han establecido la relación entre la disponibilidad de P en el suelo y el rendimiento total; sin embargo pocas reportan la influencia de la fertilización fosfatada en el proceso de crecimiento de los tubérculos y formación del rendimiento, y los resultados obtenidos son contradictorios. Hochmuth *et al.* (2002) y Rosen & Bierman (2008) reportan que, en suelos con mediana a alta disponibilidad de P, la fertilización fosfatada no tiene un efecto significativo sobre el rendimiento comercial de tubérculos de papa. Resultados similares fueron reportados por Viani (2010) en tres sitios del sudeste bonaerense. Por el contrario, Zelalem *et al*. (2009) y Hopkins *et al*. (2010) indican que el rendimiento comercial se incrementa con la dosis de P.

Se plantea como objetivo evaluar el efecto de la fertilización fosfatada sobre el rendimiento total, comercial y la distribución por tamaño de los tubérculos durante el ciclo de crecimiento, en la variedad de papa Innovator bajo las condiciones edafoclimáticas del sudeste de la provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron once ensayos de fertilización fosfatada en papa variedad Innovator (ciclo intermedio 130 días) en lotes de producción durante las campañas 2005 a 2016, en los partidos de Balcarce, General Pueyrredon, y General Alvarado de la provincia de Buenos Aires. Los suelos fueron Argiudoles típicos sin limitaciones en su capacidad de uso. En la Tabla 1 se resumen algunas características edáficas al momento de la plantación y prácticas de manejo.

Tabla 1: Algunas características del suelo previo a la plantación y fechas de plantación y cosecha para sitios evaluados.

Sitio	P-Bray [a]	pH [b]	Materia orgánica [c]	$N\text{-}NO_3^-$ [d]	Cultivo antecesor	Fecha de plantación	Fecha de cosecha
	mg kg^{-1}		g kg^{-1}	kg ha^{-1}			
1	19,3	6,2	52	39,2	Pastura	10/20/05	13/03/06
2	29,8	6,0	42	36,5	Soja	11/05/06	20/03/07
3	33,1	6,1	52	48,2	Papa	10/24/08	13/03/09
4	15,4	5,8	52	114,8	Pastura	11/05/08	11/03/09
5	14,5	5,8	52	110,4	Papa	10/24/08	24/02/09
6	8,6	6,1	54	38,5	Trigo/soja	11/01/09	02/03/10
7	22,1	6,2	54	11,7	Pastura	11/12/10	30/03/11
8	11,1	6,6	38	55,0	Papa	11/01/12	05/03/13
9	30,3	5,9	5,3	51,0	Soja	12/10/16	07/03/17
10	31,1	6,6	6,3	39,3	Cebada/Soja	27/10/16	02/03/17
11	41,5	5,5	6,1	31,5	Trigo	28/10/16	17/03/17

[a]Bray and Kurtz (1945); [b]determinado con electrodo en una suspensión 1:2.5 de agua:suelo; [c] Walkley and Black (1934); [d] Datos solo para el perfil de suelo 0-20 cm.

Para evaluar el efecto del agregado de P se utilizó, en cada sitio, un diseño experimental en bloques completos y aleatorizados con tres repeticiones y cuatro dosis de P (0, 25, 50 y 100 kg P ha^{-1}). La fuente de P utilizada fue superfosfato triple de calcio. Con la finalidad de mantener el nivel de N no limitante para el cultivo, se agregó 100 kg ha^{-1} de urea a la plantación y 150 kg*ha^{-1} al escardillar el cultivo. La preparación del suelo, plantación, control de malezas, plagas y enfermedades se realizó con métodos mecánicos y químicos, según las prácticas recomendadas para la zona. Para cubrir los requerimientos hídricos del cultivo se regó desde inicio de tuberización hasta el final del ciclo.

En los sitios 1, 2, 6, 7 y 8 se determinó el número y biomasa de los tubérculos en 3 momentos del ciclo de crecimiento: inicio de tuberización, llenado y máxima producción de biomasa total. Corresponden aproximadamente a los 60, 80 y 100 días después de plantación. En todos los sitios, a la madurez del cultivo, se cosecharon manualmente 4 m lineales de los dos surcos centrales de cada unidad experimental y se registró el peso del total. Los tubérculos de cada parcela se separaron por tamaño y se clasificaron en menores a 50 mm (tamaño no comercial) y mayores a 50 mm (tamaño comercial).

Los resultados fueron analizados utilizando el programa SAS (2002). Las medias de cada tratamiento se compararon mediante la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) cuando el ANOVA fue significativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El **rendimiento total** del cultivo varió entre 31 y 76 Mg ha^{-1} (Tabla 2), según el tratamiento y el sitio experimental (interacción significativa sitio x dosis p=0,029). Estos valores son del orden a los presentados por Caldiz (2006) y Zamuner *et. al.* (2016) para cultivos de la región, con rendimientos promedio de 40 Mg ha^{-1} y máximos de 70 Mg ha^{-1}. La fertilización fosfatada incremento el rendimiento en 5 de los 11 sitios (Tabla 2). Estos resultados están asociados a los valores de P-Bray del suelo (Tabla 1) determinado a la plantación. Respuestas en rendimiento positivas se obtuvieron en suelos con valores de P-Bray considerados bajos a medios, mientras que en sitios con alta disponibilidad de P (entre 28 y 42 mg kg^{-1}), no se registró respuesta al agregado de P (Zamuner *et al.*, 2016).

Tabla 2: Rendimiento total según la dosis de fertilización fosfatada (0, 25, 50 y 100 kg P*ha^{-1})

Sitio	Rendimiento total				
	0	25	50	100	Pr> F
	--------- Mg ha^{-1} ----------				
1	49,1c	55,5 bc	62,8 ab	69,7 a	**
2	36,6	39,3	39,1	42,2	ns
3	44,2	46,6	44,6	45,9	ns
4	30,6 b	41,1 a	42,0 a	47,8 a	*
5	54,1 c	59,2b	67,2 ab	75,3 a	***
6	37,1 b	39,9b	49,9 ab	55,9 a	**
7	49,4 c	53,6 bc	64,0 b	76,5 a	**
8	58.5	65.3	66.1	70.5	**
9	52,7	-	52,8	53,9	ns
10	59,3	-	58,0	60,7	ns
11	52,0	-	59,2	68,8	ns

ns: no significativa; *P< 0,05; **P<0,01; ***P<0,001

[a] valores seguidos de la misma letra indica que no hay diferencia significativa (P<0.05) según la prueba DMS, dentro de la fila.

La producción de tubérculos no comerciales (menores a 50 mm) varió entre 19 y 12% de la producción total, siendo mayor a menores rendimientos y no fue afectada por la fertilización fosfatada en ninguno de los sitios evaluados (datos no mostrados). El valor más probable (mediana) fue de 6,2 Mg ha^{-1}, que representa el 11% de la producción total de tubérculos frescos.

La biomasa de tubérculos comerciales (mayores a 50 mm) es para el productor, el más importante componente del rendimiento a la hora de evaluar el resultado económico de la producción. El ANOVA para esta variable mostró interacción sitio*dosis (p=0,0296), por lo que se presenta en la Tabla 3 la comparación entre las medias de rendimiento comercial para cada sitio y dosis.

Tabla 3: Rendimiento comercial (>50 mm) según la dosis de fertilización fosfatada (0, 25, 50, 100, 150 y 200 kg P ha^{-1}).

Sitio	Rendimiento comercial				
	0	25	50	100	Pr>F
	---------- Mg ha^{-1} ----------				
1	48.39 c	50.95 bc	57.80 ab	63.12 a	**
2	35.96	36.19	36.14	39.03	ns
3	30.94	35.67	33.21	31.99	ns
4	18.67 b	30.54 ab	30.43 ab	36.09 a	*
5	47.29 c	53.81 b	60.53 ab	68.56 a	***
6	32.04 b	37.22 ab	44.34 ab	49.70 a	**
8	37.77 c	43.26 bc	51.50 ab	61.10 a	***
9	56.78	51.82	52.71	59.96	ns
10	52.05	-	46.15	50.57	ns
11	47.80	-	51.00	51.09	ns

ns: no significativa; *P< 0,05; **P<0,01; ***P<0,001

[a] valores seguidos de la misma letra indica que no hay diferencia significativa (P<0.05) según la prueba DMS, dentro de la fila.

De manera similar al rendimiento total, cuando la disponibilidad inicial de P fue baja o media (sitios 1, 4, 5, 6, 7 y 8) la aplicación de P aumentó el rendimiento comercial, mientras que en los suelos con P-Bray mayor a 28 mg kg^{-1} (sitios 2, 3, 9, 10 y 11), no se registró incremento significativo del rendimiento comercial (datos no mostrados). En experiencias de campo realizadas en suelos de media a alta disponibilidad inicial de P, Maffei *et al*. (2013), Rosen & Bierman (2008) y

Hochmuth *et al*. (2002) también concluyen que la fertilización fosfatada no modifica el rendimiento comercial. Integrando la información de todos los sitios, se determinó estrecha relación entre el rendimiento total y comercial (Figura 1), demostrando que una alta proporción de los tubérculos cosechados son de tamaño adecuado para el procesamiento industrial.

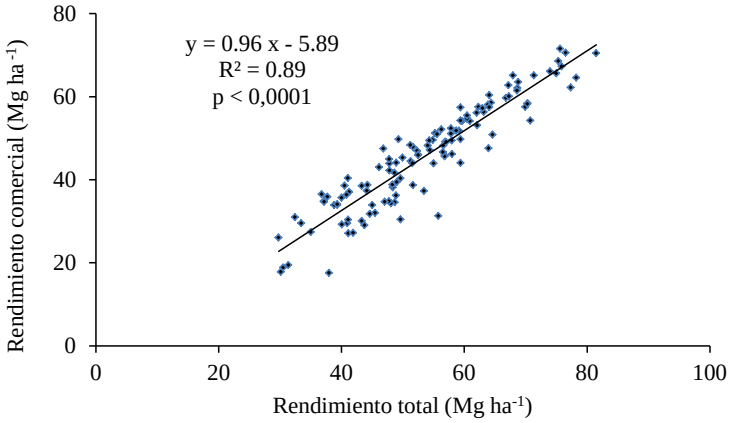


Figura 1: Relación entre el rendimiento total y comercial (tubérculos mayores a 50 mm) expresados en peso fresco

El rendimiento total y la distribución por tamaño de los tubérculos a la cosecha (rendimiento comercial) son la consecuencia de lo ocurrido durante el ciclo de crecimiento. El número de tubérculos se define en los primeros estadíos de crecimiento y desarrollo de la planta (inicio de tuberización), en tanto que el tamaño aumenta a medida que progresa el cultivo debido a que en la etapa de llenado los tubérculos se convierten en el destino más importante de carbohidratos y nutrientes de la planta (Echeverría & Giletto, 2015). Por esta razón, se investigó el efecto de la fertilización con P sobre el número y peso promedio de tubérculos a lo largo del ciclo en algunos sitios con baja, media y alta disponibilidad inicial de P. Los resultados muestran que la fertilización afectó el número de tubérculos*m^{-2} según el P-Bray. En suelos con disponibilidad inicial baja (sitios 6 y 8) y media (sitios 1 y 7) la fertilización tendió a incrementar el número de tubérculos durante la mayor parte del ciclo de crecimiento. Mientras que en el sitio 2, de alta disponibilidad inicial, el efecto positivo de la fertilización se puso de manifiesto solo en etapas tempranas de crecimiento. A modo de ejemplo se muestra la evolución del número de tubérculos*m^{-2} del sitio 2, 7 y 6 (Figura 2a, 2b y 2c).

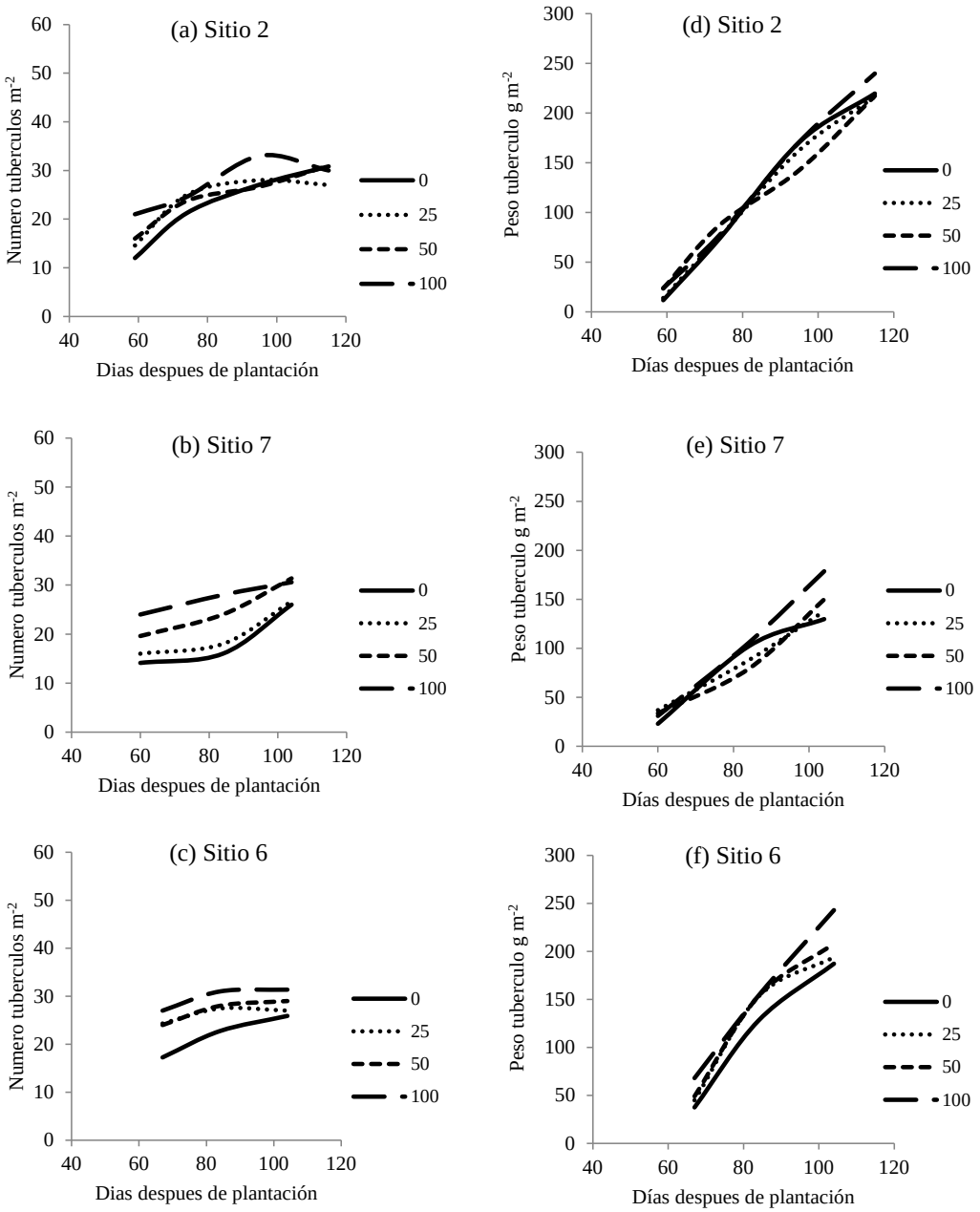


Figura 2: Efecto de la dosis de fertilización fosfatada (0, 25, 50 y 100 kg P ha^{-1}) sobre el número y peso promedio de los tubérculos a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo de papa, en suelos con alta (sitio 2), media (sitio 7) y baja (sitio 6) disponibilidad inicial de P.

El peso promedio de los tubérculos durante el ciclo de crecimiento también dependió de la fertilización y de la disponibilidad inicial de P en el suelo. En suelos con baja a media disponibilidad inicial de P (sitios 1, 6, 7 y 8), la fertilización incrementó el peso promedio de los tubérculos durante la mayoría del ciclo de crecimiento. Por el contrario, en el sitio 2, de alta disponibilidad inicial, el peso promedio de los tubérculos no fue significativamente diferente entre los tratamientos en ningún momento del ciclo. El peso promedio de los tubérculos fue 18 y 223 g a los 59 y 100 días después de plantación, respectivamente. A modo de ejemplo se muestra la evolución del peso promedio de los tubérculos[2] del sitio 2, 7 y 6 (Figura 2d, 2e y 2f)

Los resultados confirman que la nutrición fosfatada juega un rol importante en regular la cantidad y tamaño de los tubérculos durante la estación de crecimiento y como consecuencia a la cosecha. En suelos con disponibilidad inicial baja o media, el agregado de P promueve el aumento del número y del tamaño de los tubérculos durante todo el ciclo de crecimiento. En el sitio con alta disponibilidad inicial de P, la fertilización incrementó el número y tamaño de los tubérculos a los 60 días después de plantación, sin embargo en la medida que avanzó el crecimiento del cultivo no todos

los tubérculos producidos pudieron ser retenidos, y en el siguiente muestreo (etapa de llenado de tubérculos) el número y tamaño de los tubérculos de los tratamientos fertilizados y sin fertilizar no fueron estadísticamente diferentes. Esto explicaría la falta de respuesta en rendimiento total y comercial. Jenkins & Ali (2000) también concluyen que el balance entre número de tubérculos formados y retenidos claramente es influenciado por el nivel de P aplicado en relación al nivel de P residual en el suelo.

CONCLUSIÓN

El rendimiento total de tubérculos estuvo estrecha y positivamente asociado al rendimiento comercial, representando los tubérculos de tamaño no comercial (descarte) el 11% del total de tubérculos frescos. Bajo las condiciones de crecimiento del cultivo de papa en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, el número y tamaño de los tubérculos aumenta con el agregado de P en sitios con bajo o medio P Bray.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo presenta resultados parciales de la Tesis de Doctorado (FCA-UNMP) del Ing. Agr. Kevin Lattour y fue financiado por el proyecto de investigación Diagnóstico foliar de nutrientes en papa para industria aprobado por la UNMdP (Código: Min.: 15/A529 Univ.: AGR527/17).

BIBLIOGRAFÍA

- Caldiz, DO. 2006. Producción, cosecha y almacenamiento de papa en la Argentina. McCain Argentina SA, Balcarce-BASF Argentina SA (Eds.), Capital Federal. Argentina. 226 p.
- Echeverria HE & CM Giletto. 2015. Papa. En: Echeverría H.E.; García F.O. (eds.) Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 585-608.
- Hochmuth G; P Weingartner; C Hutchinson; A Tilton & D Jesseman. 2002. Potato yield and tuber quality did not respond to phosphorus fertilization of soils testing high in phosphorus content. *HortTechnology*, *12*(3), 420-423.
- Hopkins BG; JW Ellsworth; AK Shiffler; TR Bowen & AG Cook. 2010. Pre-plant versus in-season application of phosphorus fertilizer for Russet Burbank potato grown in calcareous soil. Journal of Plant Nutrition 33: 1026–1039.
- Maffei M; I Quintero & L Razuri. 2013. Effects of different soil water tension and fertilization levels on the components in potato yields (Solanum tuberosum L.). Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, *30*(4), 529-550.
- Rosen CJ & PM Bierman. 2008. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. Am. J. Potato Res. 85, 110-120.
- Viani PG. 2010. Incidencia de nitrógeno, fosforo y azufre sobre variables de calidad industrial en papa (cv. Innovator. Trabajo de tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. UNMdP**.**
- Zamuner EC; J Lloveras & H Echeverría. 2016. Comparison of Phosphorus Fertilization Diagnostic Methods of Potato in Mollisols. *Agronomy Journal*, *108*(3), 1237-1245.
- Zelalem A; T Tekalign & D Nigussie. 2009. Response of potato (Solanum tuberosum L.) to different rates of nitrogen and phosphorus fertilization on vertisols at Debre Berhan, in the central highlands of Ethiopia. *African Journal of Plant Science*, *3*(2), 016-024.

C3P87. MINERALIZACIÓN DE N APARENTE A ESCALA INTRAPARCELA

Zubillaga, M Mercedes; Di Beco, Eliana; Micheloud, José y Sanahuja, M. Eugenia

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. Av. San Martín 4453, CABA, Argentina. Email: mzubilla@agro.uba.ar

RESUMEN

La mineralización aparente (Nap) cuantifica la capacidad de los suelos de aportar N a los cultivos. La aproximación experimental a campo tiene un elevado costo en tiempo y recursos, por ello se propone integrar el análisis experimental a la utilización de modelos de simulación agronómicos. Los objetivos del trabajo fueron: cuantificar la variabilidad temporal del Nap estimado con CERES-Maíz y relacionar la variabilidad temporal y espacial con variables de sitio. El experimento fue realizado Vedia ubicado en la subregión de la Pampa Interior Plana. Se seleccionó un área de 9,6 ha, sobre la cual se realizó un muestreo sistemático (40 m x 60m) sobre 40 sitios georreferenciados. En cada nodo se cuantifico Nap a través de un balance de masas de N y además la altimetría relativa, carbono orgánico y textura. Para cada sitio intraparcela (S_1 al S_{40}) se corrió el modelo con una serie climática histórica (1981-2014) para evaluar la variabilidad temporal del Nap. El modelo CERES-N simuló el N mineralizado durante el ciclo del cultivo de maíz con un error promedio del 20%, mostrando sensibilidad a escala de lote, preferentemente relacionados con la calidad del sustrato a mineralizar y la capacidad de almacenamiento de agua. El parámetro SLNF igual a 2,5 ha sido seleccionado en la calibración de la subrutina CERES-N por su mejor ajuste. Los sitios con mayor calidad de suelo, ubicados en la posición más baja del lote, presentaron mayor variabilidad temporal del Nap con un rango de 105 a 190 kg N*ha^{-1}. Los sitios ubicados en las posiciones de loma muestran menores contenidos de Nap y rango de variabilidad, siendo los límites de 47 a 108 kg N*ha^{-1}. CERES-N v.3 se presenta como una herramienta promisoria para estimar el aporte de Nap y por ende para apoyar las decisiones de la fertilización N variable.

Palabras clave: Variabilidad intraparcela; variabilidad temporal; CERES-Maíz; agricultura de precisión

INTRODUCCIÓN

Para evitar la fertilización innecesaria de N es importante que los sistemas de recomendación de fertilizantes nitrogenados contabilicen la mineralización de N durante el ciclo del cultivo (Zebarth *et al.*, 2009). Los sistemas de recomendación de nitrógeno, generalmente representados por modelos simplificados (Schepers & Meisinger, 1994), definen a la dosis de N como la diferencia entre la demanda de N por el cultivo y la oferta de N por el suelo. La oferta del N disponible para un cultivo se representa por el N inorgánico a la siembra y del N mineralizado durante el ciclo del mismo. El desarrollo de sistemas de producción sustentables requiere de mayor conocimiento de la dinámica y variación espacial de las propiedades del suelo, así como de la respuesta de los cultivos. Distintas tecnologías adoptadas recientemente permiten evaluar la variabilidad espacial y temporal tratando de explicar la heterogeneidad en los rendimientos de los cultivos (Kravchenko & Bullock, 2000; Godwin *et al.*, 2003). La mineralización aparente (Nap) es comúnmente utilizada como variable de evaluación de la capacidad de los suelos de aportar N a los cultivos a campo y su utilización es especialmente aceptable en agroecosistemas como los pampeanos donde las pérdidas de N son bajas (Álvarez *et al*., 2015). Por lo tanto, en este análisis el Nap es un estimador del nitrógeno mineralizado por el suelo desde la materia orgánica humificada y la descomposición de los residuos durante el ciclo del cultivo de maíz. La aproximación experimental a campo tiene un elevado costo en tiempo y recursos para generar información que permita comprender las complejas interacciones entre suelo, clima y vegetal. Una manera de suplir esta limitación es integrar el análisis experimental a la utilización de modelos de simulación agronómicos. Estos modelos reproducen mediante algoritmos matemáticos procesos funcionales de los cultivos permitiendo reproducir su comportamiento en diversas condiciones e incorporando el efecto aleatorio del clima al diseño de estrategias de manejo del cultivo. Los modelos de simulación agronómicos pueden ser herramientas poderosas para evaluar la liberación de N desde residuos y humus pero solo si son validados a campo (Zubillaga *et al.*, 2007). En Argentina, a mediados de la década de 1990, los modelos de la familia DSSAT v3.5 (Jones *et al*., 1998; Ritchie *et al*., 1998) han sido utilizados para apoyar la planificación y manejo de los cultivos de granos en regiones pampeanas y extrapampeanas (Satorre *et al.*, 2005). CERES-N simula los procesos de mineralización, inmovilización, nitrificación y desnitrificación (Godwin & Jones, 1991). El modelo asume que el N en la fracción humus se descompone según una cinética de primer orden con una velocidad máxima de $8{,}3\times10^{-5}$ día^{-1} bajo condiciones no limitantes. Esta constante de mineralización se corrige por un factor que permite al usuario del modelo

modificarla según los suelos específicos y la época del año (SLNF). Por esto es de suma importancia contar con herramientas que permitan reproducir el comportamiento de los cultivos, de manera de predecir diferentes procesos y así desarrollar esquemas de decisión de manejo. La utilización de estos modelos requiere previamente de su calibración, validación y del reconocimiento de su dominio de aplicación. Los modelos de simulación que forman parte del DSSAT han sido calibrados y validados para la región Pampeana (Travasso & Delécolle, 1995; Travasso & Magrin 1998; Mercau & Satorre, 2001; Salvagiotti, *et al*., 2003). Las evaluaciones realizadas han demostrado que estos modelos simulan de manera aceptable la productividad y su variabilidad bajo diferentes situaciones productivas. Sin embargo, existe escasa información generada con el modelo CERES-Maíz a escala intralote considerando los rendimientos y dinámica del N del suelo. El objetivo general de este trabajo fue cuantificar la variabilidad espacial y temporal del Nap para el cultivo de maíz a escala de lote. En este sentido, se propone utilizar la subrutina N del modelo CERES (Godwin & Jones, 1991) para simular la mineralización de N a escala intraparcela. Los objetivos del trabajo fueron: cuantificar la variabilidad temporal del Nap estimado con CERES-Maíz y relacionar la variabilidad temporal y espacial con variables de sitio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área estudio

El experimento fue realizado en la localidad de Vedia (Partido de Alem, Buenos Aires, 34º23'S, 61º35'W) perteneciente al establecimiento Las Balas ubicado en la subregión de la Pampa Interior Plana. El clima es templado húmedo con precipitaciones medias de 1014 mm anuales (período 1970-2014) y temperaturas medias estivales de 22,3ºC e invernales de 10,1ºC. Se seleccionó un sector de una parcela del establecimiento con una equilibrada y homogénea distribución de los suelos de mayor representatividad de esta subregión de la Región Pampeana. Los suelos predominantes en la región son Hapludoles énticos y Hapludoles típicos, ubicados en las posiciones topográficas de loma y bajo respectivamente. El experimento se realizó en un lote bajo agricultura en siembra directa por los últimos seis años. Se sembró el híbrido de maíz Monsanto AW 190 MG, con una densidad de 76000 semillas ha^{-1} y la distancia entre hileras fue de 0,525 m. Se realizó una fertilización base con 100 kg de fosfato monoamónico (MAP) a la siembra.

Determinaciones en grilla georreferenciada

Se seleccionó un área de 9,6 ha, sobre la cual se realizó un muestreo sistemático sobre 40 sitios de muestreo de 60m x 40m cada uno, ubicados sobre una grilla georreferenciada. La metodología del balance de masas aplicado a la fracción de N mineral del suelo permite estimar un término que representa la mineralización aparente (Nap), definida como la mineralización neta desde el N orgánico del humus y la descomposición neta de los residuos del cultivo antecesor. El N mineralizado aparente (Nap) durante el ciclo del cultivo fue estimado para cada nodo de la grilla a través de un balance de masas de N, siendo el mismo la suma del N total acumulado en el vegetal (grano más rastrojo) más el N inicial menos el N residual (Schepers & Meisinger, 1994). Los momentos de muestreo y determinaciones para cuantificar el perfil de nitratos por la técnica de diazotación con SNEDD (Marbán, 2005) fueron dos: inicio del cultivo (N inicial) y a madurez fisiológica (N residual). A madurez fisiológica (R6) la biomasa aérea acumulada en grano y rastrojo; N acumulado por el vegetal en ambos compartimientos mediante la determinación de la concentración de nitrógeno (Page *et al*., 1982). En cada nodo (S_1 al S_{40}) de la grilla fue caracterizada la cantidad de C orgánico, textura y altimetría relativa.

Modelo Ceres-Maíz (subrutina N)

La subrutina N del modelo CERES_Maiz v.3.5 asume una cinética de primer orden para la mineralización de N orgánico del humus con una tasa máxima de mineralización de 8,3 10^{-5} $día^{-1}$ y ajustada por un factor (SLNF=2.5) que permite al usuario calibrar la tasa máxima (k_0) para los suelos específicamente. Para cada sitio intraparcela (S_1 al S_{40}) se corrió el modelo con una serie climática histórica para evaluar la variabilidad temporal del N mineralizado. Los datos de precipitación y temperaturas diarias del período 1981 a 2014 utilizados como serie histórica climática fueron suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional de la Estación Meteorológica de Junín y datos complementarios del Establecimiento Las Balas. El modelo fue evaluado con la metodología propuesta por Whitmore (1991). Se incluyeron coeficientes de correlación (*r*) y la raíz del cuadrado medio del error (RMSE). El coeficiente de correlación es una medida del grado de asociación entre los datos simulados y medidos. La raíz del cuadrado medio del error $\{RMSE=[\sum(simulado - medido)^2/N]^{0.5}\}$, cuantifica la dispersión entre los datos medidos y simulados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo CERES-N simuló el N mineralizado durante el ciclo del cultivo de maíz para la zona en estudio mostrando sensibilidad a los cambios de sitios a escala de parcela, preferentemente relacionados con la calidad del

sustrato a mineralizar y la capacidad de almacenamiento de agua (Figura 1). El parámetro SLNF ajusta la mineralización a partir de la materia orgánica del suelo, la simulación con SLNF=2,5 presentó mejor ajuste. El modelo tuvo un error (RMSE=31) cercano al 21,2 % del valor promedio observado de Nap de 149 kg N*ha^{-1}.

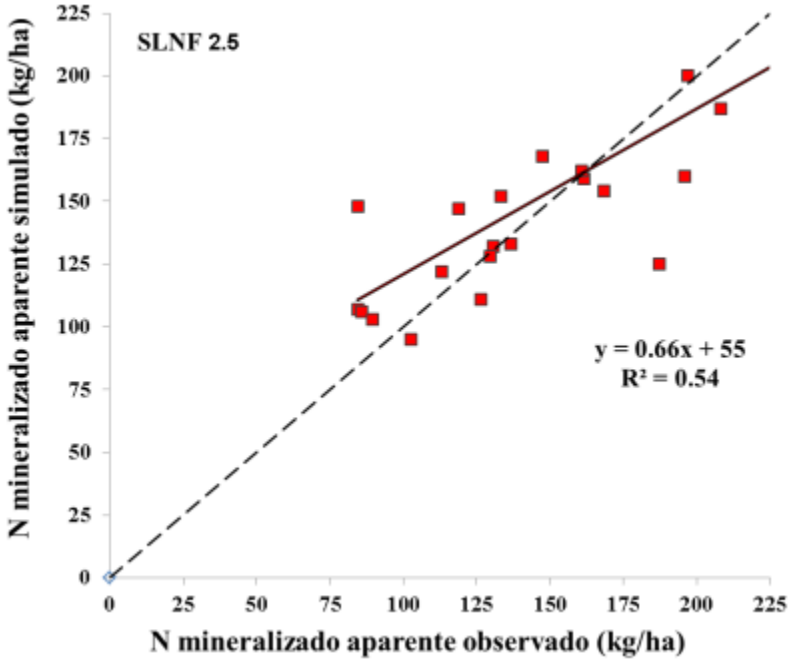


Figura 1. N mineralizado observado vs N mineralizado simulado con la subrutina CERES N v. 3.5. La línea punteada indica relación 1:1.

La mineralización de N aparente a escala intraparcela presento una respuesta diferencial según el escenario climático. La inclusión de la serie climática permite evidenciar que cada sitio del lote responde de manera diferente a las variaciones de temperaturas y precipitaciones anuales en el N mineralizado (Figura 2).

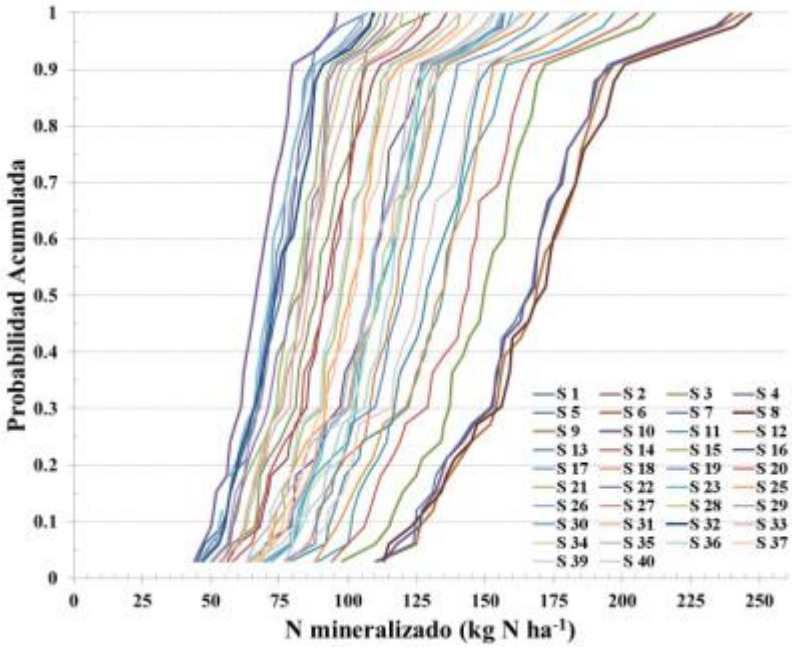


Figura 2. Probabilidad (frecuencia) acumulada del N mineralizado durante el cultivo de maíz en distintos sitios intraparcela (Serie histórica 1981-2014).

Los sitios ubicados a la izquierda de la Figura 1, presentan no solo una menor cantidad de N mineralizado sino también una menor variabilidad frente a la variabilidad climática. Para estos sitios se alcanza en promedio 65 kg N*ha^{-1}, del N mineralizado en el 50 % de los años con un CV= 20%. En cambio, los sitios ubicados hacia la derecha de la Figura, muestran en promedio 170 kg N*ha^{-1} de N mineralizado, en el 50 % de los años y además una mayor variabilidad interanual expresada por la mayor pendiente de la curva de probabilidad acumulada.

La relación de las variables climáticas con el N mineralizado durante el cultivo se presenta en la Figura 3. La principal variable que se relaciona con el N mineralizado durante el ciclo del cultivo de maíz ha sido las precipitaciones acumuladas desde septiembre a febrero. Dicha variable también modifica la temperatura máxima registrada en el período y por ende a la amplitud térmica.

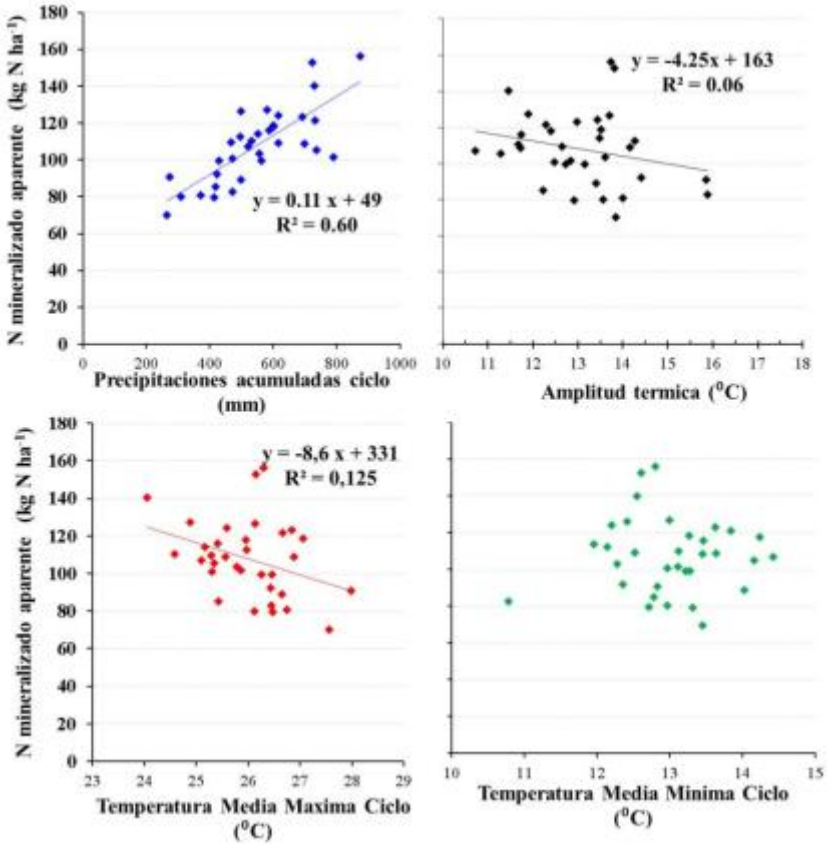


Figura 3: Relación del N mineralizado aparente (kg N*ha^{-1}) simulado para 40 sitios intraparcela y las variables climáticas de la serie histórica (1981-2014)

Las precipitaciones promedio acumuladas para el ciclo del cultivo fueron de 549 mm con un mínimo de 266 mm para la campaña 1999/2000 y un máximo de 875 mm para la campaña 2009/2010. En Argentina, se encontró que durante los meses de verano (Noviembre a Febrero) la relación entre precipitaciones y temperatura fue inversa (Rusticucci & Penalba, 2000). Por lo tanto, los veranos cálidos/frescos se asocian con precipitaciones por debajo/arriba de la media (Rusticucci & Penalba, 2000). Las precipitaciones acumuladas en el ciclo del cultivo (Septiembre-Febrero) se han relacionado significativamente de manera inversa con la temperatura máxima media (r= -0.33; p=0.05) y con la amplitud térmica (r= -0.38; p=0.03).

Las causas principales que podrían explicar el diferente comportamiento entre sitios son las características altimétricas, contenido de materia orgánica y textura de los suelos. La cantidad de agua disponible para la transpiración de los cultivos depende en primer lugar de las precipitaciones. Sin embargo, el tipo de suelo - a través de su capacidad de retención y almacenamiento de agua juegan un papel de gran importancia en la determinación de los balances hídricos (Quiroga *et al.*, 2005; Damiano, 2008). El comportamiento disímil entre sitios se relaciona con la variabilidad intraparcela de las características edáficas y topográficas existentes. El N mineralizado disminuye al aumentar la proporción de arena en los suelos. Cuando la concentración de arena fue menor las diferencias entre los valores alcanzados para cada probabilidad acumulada fueron mayores (Figura 4), es decir, a medida que disminuye el contenido de arena, se incrementa la variabilidad de N mineralizado en términos absolutos.

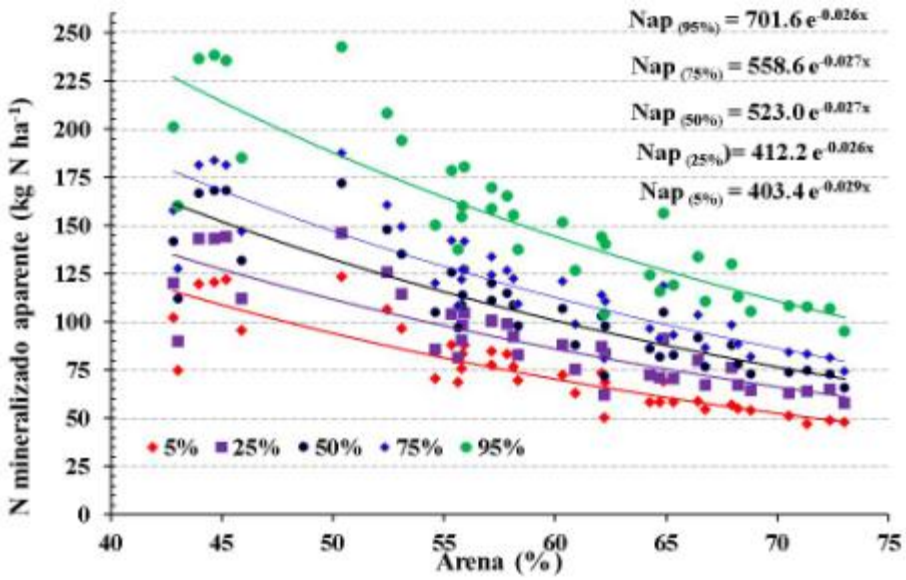


Figura 4. Probabilidades del N mineralizado simulado (5; 25; 50; 75 y 95 % de la probabilidad acumulada) según A. la concentración de arena de los sitios intralote y B. la concentración de C orgánica de los sitios.

La cantidad de N mineralizado aumentó con la concentración de C orgánico (Figura 5). La variabilidad del C orgánico a escala de lote fue de 1 % a 2,5%. Cuando los sitios presentan C orgánico del 1 % la probabilidad de alcanzar valores de N mineralizado (N_{ap}) superiores a 105 kg N/*ha^{-1} ha sido sólo del 5 %. Por otro lado, en un 95% de los años han alcanzado valores superiores a 50 kg N*ha^{-1}. En cambio, en el extremo superior de C orgánico registrado (2,4%) la cantidad mínima es de 120 kg N*ha^{-1} y solo se logran valores superiores a 240 kg N*ha^{-1} en solo un 5 % de los casos. El N mineralizado a escala intraparcela presentó variabilidad temporal.

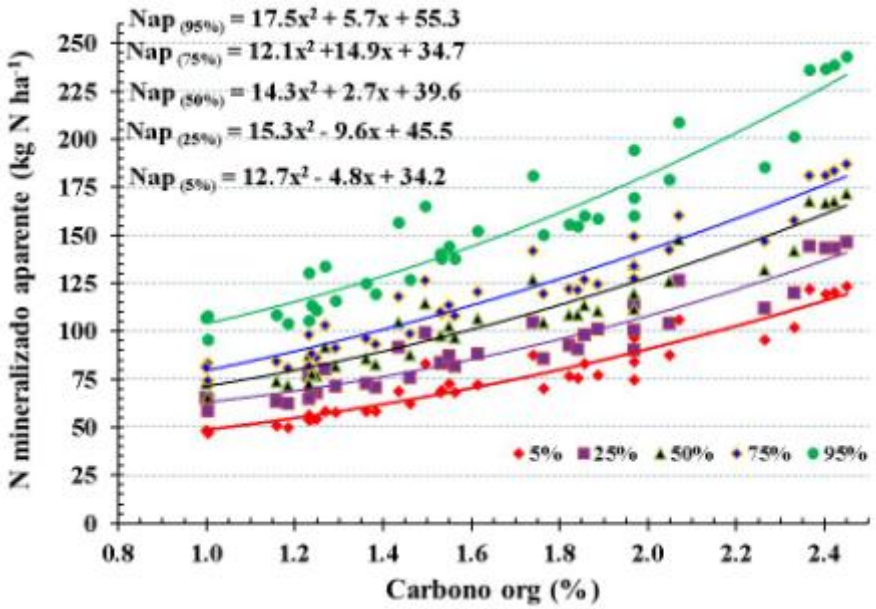


Figura 5: Probabilidades del N mineralizado simulado (5; 25; 50; 75 y 95 % de la probabilidad acumulada) según la concentración de C orgánica de los sitios.

Los sitios de mayor calidad de suelo (menor arena y mayor carbono orgánico) ubicados en las posiciones más bajas de la parcela han presentado mayor variabilidad temporal. Estos resultados permitirían un manejo optimizado de los insumos al evaluar la probabilidad de la cantidad de N mineralizado durante el ciclo del cultivo de maíz según la calidad del sitio de la parcela.

CONCLUSIONES

El modelo CERES-N simuló el N mineralizado durante el ciclo del cultivo de maíz para la zona en estudio con un error promedio del 20%, mostrando sensibilidad a los cambios de sitios a escala intraparcela, preferentemente relacionados con la cantidad del sustrato a mineralizar y la capacidad de almacenamiento de agua. El análisis de la variabilidad temporal del N mineralizado a escala de parcela, permite estimar la probabilidad de ocurrencia de niveles de aportes por esta vía. Los sitios con mejor calidad de suelo han mostrado una mayor variabilidad temporal relacionada principalmente con la concentración de arena y carbono orgánico. En consecuencia, el modelo CERES-N v.3 se presenta como una herramienta promisoria para estimar el aporte de N mineralizado durante el ciclo del cultivo y por ende para apoyar las decisiones de ajustar la dosis de N de la fertilización variable a escala de parcela.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación a la Universidad de Buenos Aires (UBACyT 20020150100155BA).

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R. 2015. Fertilidad de suelos y fertilización en la Región Pampeana. Ed Editorial Facultad de Agronomía UBA. 485 pp.
- Godwin, DC & CA Jones. 1991. Nitrogen dynamics in soil-plant systems. In: Hanks, J. Ritchie, J.T. (Eds.) Modeling plant and soil systems. Agron. Monogr. 31. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, pp. 287-322
- Godwin, RJ & PC Miller., 2003. A review of the technologies for mapping within-field variability. Biosyst. Eng. 84: 393-407.
- Jones, JW; GY Tsuji; G Hoogenboom; LA Hunt; PK Thornton; PW Wilkens; DT Imamura; WT Bowen & U Singh. 1998. Decision support system for agrotechnology transfer; DSSAT v3. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.), Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 157 /177.
- Kravchenko, AN & DG Bullock. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. Agron. J. 92: 75-83
- Marban, L. 2005. Tecnologías en análisis de suelos. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Pág. 131-138. Buenos Aires, Argentina.
- Mercau, J; E Satorre, et al. 2001. Evaluación a campo del comportamiento del modelo Ceres en cultivos de maíz del norte de la provincia de Buenos Aires. Proceedings of VII Congreso Nacional de Maíz, Pergamino, Argentina.
- Page, AL. 1982. Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties. 2º ed. (Part2), in the series Agronomy. American Society of Agronomy, Inc. SSSA, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin, USA, 1159pp.
- Rusticucci, M & O. Penalba. 2000. Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature. Climate Res.16: 1-15.
- Salvagiotti, F & J Castellarín. 2003. El modelo de simulación CERES como herramienta en el diagnóstico de la fertilización nitrogenada en trigo. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 17.
- Schepers, JS & JJ Meisinger. 1994. Field indicators of nitrogen mineralization. In: Havlin J, Jacobsen J (eds) Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations. SSSA Spec. Pub. No. 40. SSSA-ASA. Madison, Wisconsin USA
- Travasso, MI & GO Magrin. 1998. Utility of CERES-Barley under Argentine conditions. Field Crops Res. 57: 329:333.
- Travasso, MI & R Delécolle. 1995. Adaptation of the CERES-Wheat model for a large area yield estimation in Argentina. European J. of Agronomy 4: 347:353.
- Whitmore, AP. 1991. A method for assessing the goodness of computer simulation of soil processes. J. Soil Sci. 42: 289-299.
- Zebarth, BJ; C Dury; N Tremlay & AN Cambouris. 2009. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern. Canada: A review. Can. J. Soil Sci. 89:113–132.
- Zubillaga, M M; M L Cabrera; D Kissel & J Rema. 2007. Modelling field scale N mineralization in coastal Plain soil. Ecol Modell. 207: 243-250.

C3P88. USO DE SENTINEL Y LA FERTILIZACIÓN N EN MAÍZ TARDÍO A ESCALA INTRAPARCELA

Zubillaga, M Mercedes; Leanes, Lorenzo; Osinaga, Natalia y Pérez, Maximiliano

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. Departamento de Ingeniería y Uso de la Tierra. Catedra de Fertilidad y Fertilizantes. Av. San Martín 4453, CABA, Argentina. Email: mzubilla@agro.uba.ar

RESUMEN

El retraso en la fecha de siembra significa una mejor sincronización entre los requerimientos del cultivo y la oferta del suelo, esperándose una menor respuesta a la fertilización N en los maíces tardíos. Los índices espectrales (IE) y la diferencia de vegetación normalizada (NDVI) permiten mapear ambientes con distinta productividad al relacionarse con variables biofísicas. Los objetivos fueron: evaluar la respuesta a la fertilización N en dos ambientes delimitados a escala de lote, comparar los IE construidos con diferentes sensores remotos, y determinar su relación con los rendimientos. El experimento fue conducido en la localidad de Fortín Tiburcio. La parcela estudiada presentó variabilidad asociada a Hapludoles énticos en la zona de baja productividad (BP) y Hapludoles típicos en zona de alta productividad (AP). Se realizó un diseño factorial completo en 3 bloques con: 2 ZM (AP y BP) y 3 niveles de N (0,80 y 130 kg ha^{-1}). Los rendimientos medios fueron 8110 kg ha^{-1}, hubo interacción ZM*Dosis de N en la respuesta a la fertilización. El rendimiento tuvo una relación positiva con la dosis de N en los ambientes de BP. Las diferencias de rendimientos entre ZM fueron significativas en los tratamientos sin fertilización pudiendo atribuirse a la mayor mineralización de N de AP. La reflectancia del cultivo se capturó con un radiómetro multiespectral portátil y a partir de una imagen del satélite Sentinel 2A en la etapa de 7 hojas expandidas. Los valores de NDVI de ambos sensores presentaron alta correlación (r^2=0,73). El rendimiento correlacionó mejor con los registros capturados con el sensor proximal (r^2=0,83) vs Sentinel (r^2=0,69). El IE evaluado presentó diferencias significativas según la dosis de N y las ZM. En conclusión, el uso de NDVI permitiría desarrollar modelos de dosificación variable según ZM a escala intraparcela. Los índices capturados desde ambas plataformas tuvieron buen ajuste.

Palabras claves: agricultura de precisión; radiómetro multiespectral, NDVI

INTRODUCCIÓN

En la región pampeana el cultivo de maíz se ha implantado tradicionalmente en siembras tempranas (Septiembre-Octubre), sin embargo, en los últimos años, han aumentado los sistemas de producción en donde el maíz se siembra en fechas tardías (Noviembre-Diciembre). La disponibilidad de nitrógeno (N) en la región pampeana es uno de los factores que con mayor frecuencia condiciona el rendimiento del cultivo de maíz, por lo que la aplicación de este nutriente se encuentra ampliamente difundida. A medida que la fecha de siembra se retrasa mejora la sincronía entre los requerimientos del cultivo y la oferta del suelo. Este último término, aumenta por la mayor mineralización del N orgánico de los suelos, ya que el cultivo de maíz se implantará en una época de mayor disponibilidad de agua y mayores temperaturas.

Los principales suelos que caracterizan a la Pampa Arenosa son Hapludoles típicos y énticos (INTA, 1989), encontrándose dicha variabilidad a nivel intralote que se refleja también en los rendimientos. Por esta característica se potencian las ventajas del manejo por ambientes en dicha región (Zubillaga *et al.*, 2006). A escala de lote, la respuesta a la fertilización en maíces tempranos es diferencial según los ambientes y condiciones climáticas de la campaña. En un ensayo en el oeste de Buenos Aires, se encontró que la dosis óptima económica (DOE) varió según la productividad de los ambientes intraparcela, con DOE de 154,58 y 70 kg N ha^{-1}, para las zonas de alta, media y de baja productividad respectivamente (Redel *et al*., 2014). Resultados similares han sido citados por numerosos autores, encontrando interacción entre zonas de manejo (ZM) y dosis de N a escala intraparcela (Bongiovanni, 2002; Mamo *et al*, 2003; Anselin *et al.*, 2004; Gregoret *et al.*, 2006). Sin embargo, escasa información se releva de experimentos de fertilización en siembras tardías (Barraco *et al.*, 2014; Lardone & Barraco, 2016) y menos aún evaluando la respuesta a N en diferentes ambientes a escala intraparcela.

La variabilidad en la productividad de los cultivos puede ser detectada a través de índices espectrales (IE) provenientes de imágenes satelitales. La Agencia Espacial Europea (ESA, por su siglas en inglés) está desarrollando una nueva familia de satélites llamados Sentinel. A mediados del año 2015 se liberó el satélite Sentinel 2A con una mejor resolución temporal (10 días), espacial (10x10 metros) y espectral (cuenta con 13 bandas, centradas en las longitudes de

onda de 443, 490, 560, 665, 705, 740, 783, 842, 865, 940, 1375, 1610 y 2190 nm) que las imágenes Landsat, de distribución libre. La reflectancia espectral permite describir la nutrición nitrogenada de los cultivos (Zubillaga & Urricariet, 2005; Bodo & Schmidhalter, 2008). El uso de los IE calculados a partir de imágenes satelitales resultaría en una herramienta promisoria para evaluar la variabilidad de la respuesta de nitrógeno en el cultivo de maíz tardío.

Se propone como objetivos evaluar la respuesta a la fertilización N en dos ambientes contrastantes delimitados en un lote de producción y comparar los IE construidos con imágenes Sentinel 2A y sensores proximales; y determinar su relación con los rendimientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área estudio y tratamientos

El ensayo fue conducido en el establecimiento La Rinconada (34°24’58’’ Sur; 61°08’20’’ Oeste), localidad de Fortín Tiburcio (Provincia de Buenos Aires), subregión Pampa Arenosa subhúmeda. La parcela de estudio presentó variabilidad asociada a dos tipos de suelos: Hapludoles énticos de baja productividad (BP) en las posiciones más elevadas del relieve y Hapludoles típicos de alta productividad (AP), desarrollados entre las lomas. Se diseñó un experimento de fertilización nitrogenada en ambas ZM. El híbrido utilizado fue DK 7310 VT3Pro, se fertilizó a la siembra con 80 kg de superfosfato triple (equivalente a 46 kg de P_2O_5 por hectárea). La siembra se realizó el 1/12/16, con densidad objetivo de 66.000 plantas por hectárea (30 cm entre plantas en la hilera, 52 cm entre hileras), siendo soja de primera el cultivo antecesor. El ensayo contó con tres parcelas testigo (N0) en cada ZM y parcelas con dosis crecientes de N (80 y 130 kg N ha^{-1}). La fuente nitrogenada fue urea (46-0-0) y fue aplicada a la siembra.

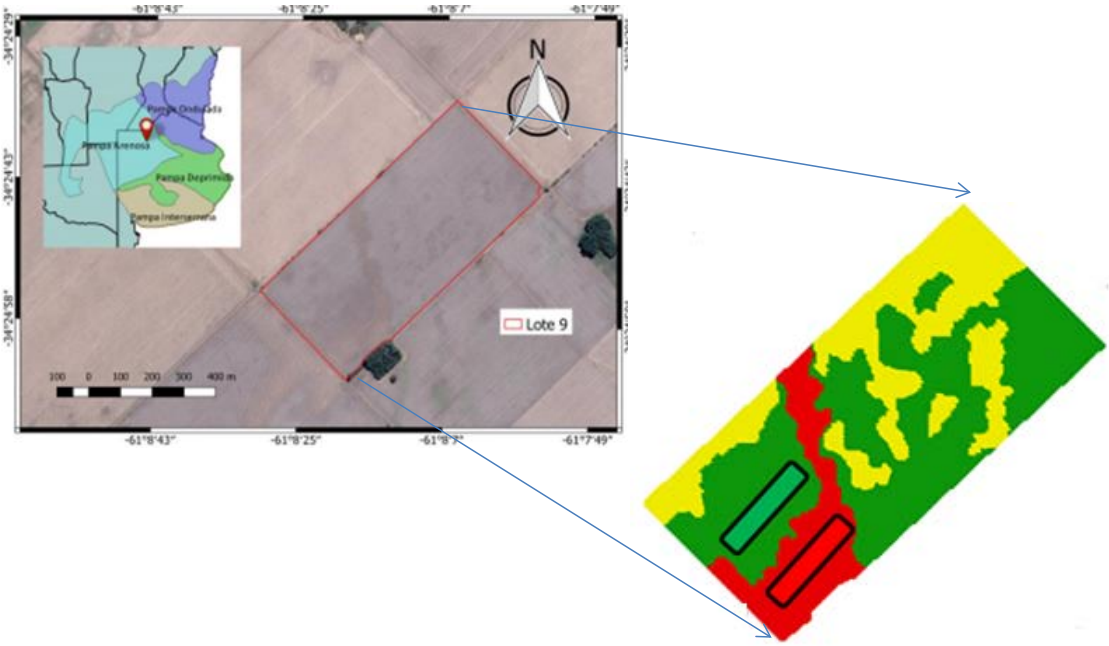


Figura 1: Ubicación del Establecimiento y delimitación de ambientes: ambiente de baja productividad (rojo) y alta productividad (verde). Los rectángulos indican la zona de las franjas de las dosis N por ambiente (0-80-130 kg N ha^{-1}).

Determinaciones

A madurez fisiológica del cultivo (5/4/17) se realizó la cosecha manual de $2m^2$ por unidad experimental. Se cuantifico el número de granos por espiga y el peso de 1000 granos. Se estimó la eficiencia agronómica para cada tratamiento (EA= kg de aumento en la producción / kg de N aplicado).

Se tomaron registros de reflectancia del canopeo, el 5/1/17, en el estadío de 7 hojas expandidas del cultivo (V7) (Ritchie & Hanway, 1982) con un radiómetro multiespectral Cropscan MR16. En el mismo estadío fenológico (7/1/17) se descargaron imágenes del satélite Sentinel 2A. Con los datos de ambas plataformas se calculó el NDVI según la siguiente ecuación: NDVI = (NIR - Red / NIR + Red) (Rouse *et al.*, 1974; Tucker, 1979). Siendo NIR: Valor de reflectancia en el Infrarrojo cercano (entre 750 y 900 nm de longitud de onda) y Red: valor de reflectancia en el rojo (entre 630 y 700

nm).Se utilizaron la imágenes correspondientes a las bandas 4 (rojo) y la banda 8 (infrarrojo cercano) de Sentinel, ambas con una resolución espacial de 10 metros, para calcular dicho IE utilizando el software QGIS 2.18.4 'Las Palmas'. Del radiómetro espectral se tomaron los valores de reflectancia espectral en los 660 (rojo) y 810 nm (infrarrojo cercano).

La mineralización aparente de N (Nap) se estimó por el método de balance de masas (Schepers & Meisinger, 1994), según la siguiente ecuación: Nap = Nveg – ($N\text{-}NO_{3i}$ – $N\text{-}NO_{3r}$) Siendo Nveg: N acumulado en biomasa vegetal aérea (rastrojo más grano), y $N\text{-}NO_{3i}$ y $N\text{-}NO_{3r}$ el contenido de N de nitratos inicial y residual respectivamente (N en el suelo hasta una profundidad de 90 cm, medidos pre siembra o a madurez fisiológica del cultivo por la técnica de diazotación con SNEED (Marbán, 2005). También se determinó el carbono orgánico por combustión húmeda con el método de Walkley-Black (Nelson & Sommers, 1996)

Se realizó análisis de la varianza (ANOVA) y se utilizó el test de LSD ($p \leq 0,05$) para la comparación de medias, previa comprobación del supuesto de normalidad mediante el test de Shapiro Wilks. La relación entre variables se evaluó ajustando regresiones simples. Se empleó para ello el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la ZM y la dosis de N sobre el cultivo de maíz

La campaña 2016/17 estuvo marcada por elevadas precipitaciones desde fines del invierno y principios de primavera y no hubo déficit de precipitaciones importantes durante el ciclo del cultivo, registrándose en este periodo 607 mm (SMN, 2017). Los rendimientos medios de maíz fueron 8110 kg ha^{-1} (rango: 4100-9800 kg ha^{-1}) y se encontró interacción ZM*Dosis de N. El rendimiento tuvo una relación positiva con la dosis de fertilizante nitrogenado aplicado en los ambientes de BP (Figura 2A) aumentando un 76% con la dosis más alta (8621 kg ha^{-1}) respecto al testigo (4885 kg ha^{-1}). Esto coincide con Proot *et al.*, (2011), que citan una respuesta significativa en Hapludoles énticos a la fertilización nitrogenada en una campaña con elevadas precipitaciones en la misma región. En la ZM AP no hubo respuesta (Figura 2A), el rendimiento promedio fue de 9123 kg ha^{-1}. El número de granos por superficie presento interacción ZM*Dosis de N (Figura 2B) y tuvo un comportamiento similar al del rendimiento. En cambio el peso de 1000 granos solo fue afectado por la dosis de N, diferenciándose el tratamiento sin fertilizar del resto ($p<0.05$). La eficiencia agronómica fue diferente entre ambientes ($p<0.05$) siendo de 31 y 7 kg grano kg N $aplicado^{-1}$ para BP y AP respectivamente.

Los ambientes de AP presentaron mayor Nap (110 kg N ha^{-1}), N-Nitratos acumulado hasta los 90 cm de profundidad al inicio del cultivo (55 kg N ha^{-1}) y carbono orgánico 11,5 g kg^{-1}, que los de BP (Nap = 45 kg N*ha^{-1}, N-Nitratos = 44 kg N*ha^{-1} y carbono orgánico (8,3 g kg^{-1}). Esto puede explicar la escasa respuesta a la fertilización en los Hapludoles típicos.

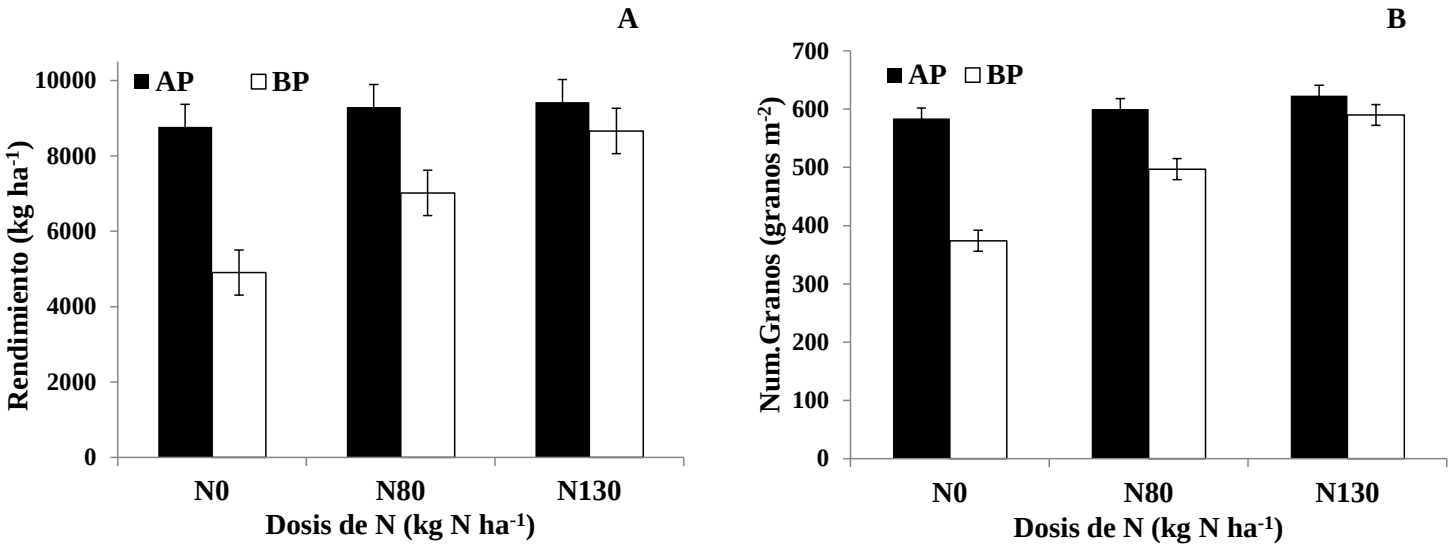


Figura 2: A. Respuesta a la fertilización N del cultivo de maíz tardío para ambientes de alta productividad (AP) y de baja productividad (BP). **B.** Número de granos según zona de manejo.

Efecto de la ZM y la dosis de N sobre el NDVI

El NDVI presentó diferencias según dosis de N sólo para el ambiente de BP ($p<0.05$) (Figura 3). El NDVI calculado a partir del radiómetro proximal permitió diferenciar los tratamientos con agregado de N del testigo, mientras que la imagen Sentinel permitió diferenciar sólo el tratamiento N130 (Figura 3). Los IE muestran mayor diferencia entre ZM para N0.

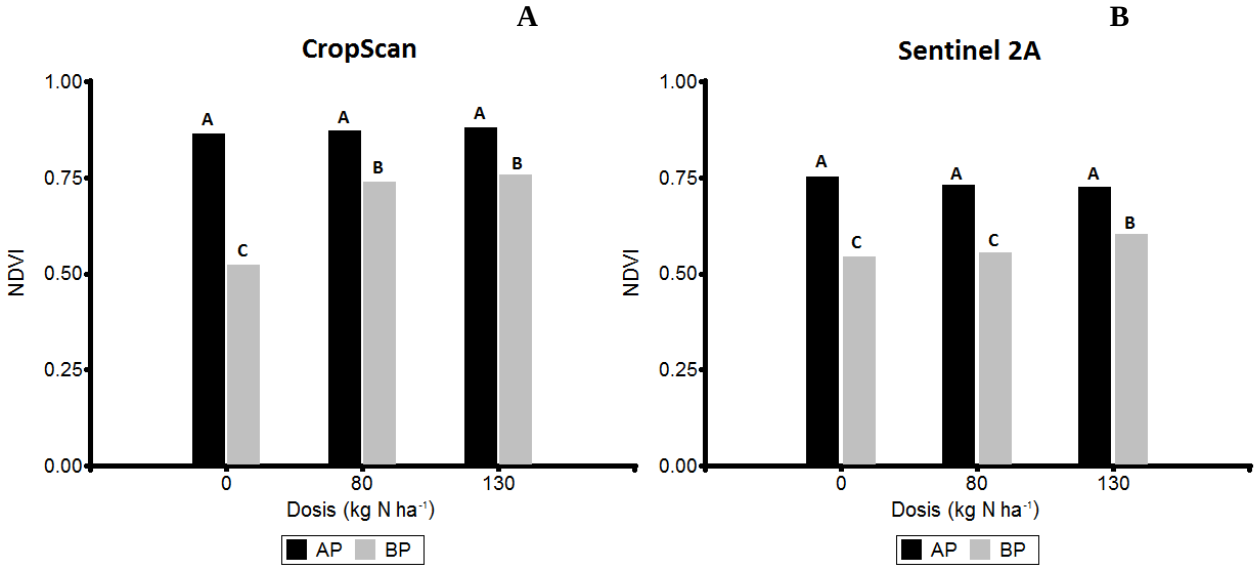


Figura 3: NDVI en función de la dosis de N para ambientes de alta productividad (AP) y de baja productividad (BP). **A** Capturados con sensor proximal y **B** capturados con imagen Sentinel.

El rendimiento correlacionó mejor con los datos de NDVI adquiridos con el sensor proximal que con Sentinel 2A. Los valores de NDVI de los sensores Cropscan y Sentinel 2A presentaron alta correlación entre sí ($r^2=0.72$). La amplitud entre los valores extremos fue mayor para los datos capturados con el sensor proximal, pudiendo detectar mejor las diferencias entre dosis de N aplicada, ya que esta capturado a una mayor escala de resolución.

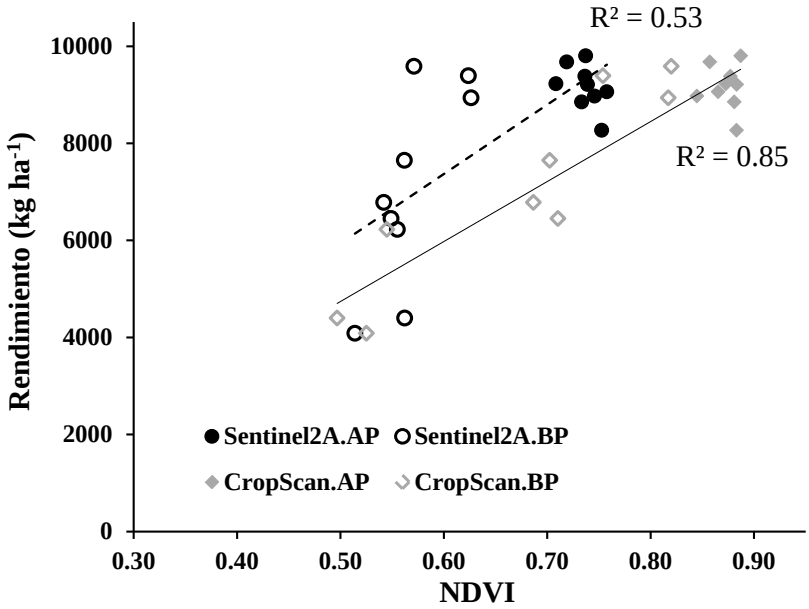


Figura 4: Correlación del rendimiento con NDVI capturados por Cropscan y Sentinel 2A para ambientes de alta productividad (AP) y de baja productividad (BP)

Dada las características del ensayo, no pudieron determinarse otros IE sensibles ligados al borde rojo con la imagen Sentinel, dado a que las unidades experimentales fueron menores a 20 m, y estas longitudes de onda tienen una resolución espacial de 20 m.

CONCLUSIONES

En la campaña 2016/17, hubo interacción dosis de N por ambiente. Los ambientes de menor productividad tuvieron una respuesta a la fertilización hasta 80 kg N ha^{-1}. En cambio, los ambientes de mayor productividad no presentaron respuesta a la fertilización. Debe considerarse que no hubo déficits hídricos en esta campaña y además que la mineralización de N durante el ciclo del cultivo fue casi el doble en el ambiente más productivo. El índice verde NDVI permitió capturar la variabilidad de los rendimientos del experimento, tanto los provenientes del sensor proximal como los de Sentinel 2A. Ambas plataformas presentaron un buen ajuste entre sí. Estos resultados nos aproximan a la recomendación de dosis de N variable a escala de lote a través del uso de imágenes Sentinel de alta resolución espacial y temporal, recientemente lanzados y de disponibilidad gratuita. El uso de NDVI permitiría desarrollar modelos de dosificación variable según zona de manejo a escala intraparcela, al permitir la estimación del rendimiento potencial y ajustar la dosis al mismo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación a la Universidad de Buenos Aires (UBACyT 20020150100155BA). Se agradece al Ing. Agr. Juan Gori por la disposición del lote donde se llevó a cabo la experimentación.

BIBLIOGRAFÍA

- Anselin, L; R Bongiovanni & J Lowenberg-DeBoer. 2004. A spatial econometric approach to the economics of site-Specific nitrogen management and corn production. Am. J. Agr. Econ. 86: 675-687.
- Barraco, M; P Girón; A Lardone & W Miranda. 2014. Nutrición nitrogenada en maíces tardíos sobre diferentes antecesores. Memoria Técnica 2013/2014. EEA INTA General Villegas. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_mt2014_barraco_nutricion_nitrogenada.pdf
- Bodo, M & U Schmidhalter. 2008. Estimating the nitrogen nutrition index using spectral canopy reflectance Measurements. Europ. J. Agronomy 29: 184-190
- Bongiovanni R. 2002. A spatial econometrics approach to the economics of site-specific nitrogen management in corn production. Ph.D. Thesis, Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, In (EUA), 280 p
- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Gregoret, MC; R Bongiovanni; J Dardanelli & M Díaz Zorita. 2006. Respuesta sitio-específica al nitrógeno en maíz en ambientes semiáridos. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta (Argentina). p 338.
- INTA. 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, escala 1:500.000. 527 p. Bs. As. Argentina.
- Lardone, A & M Barraco. 2016. Antecesores y fertilización nitrogenada de maíz en siembra tardía, en la Pampa Arenosa. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rio Cuarto, Córdoba (Argentina). 6 pág.
- Mamo, M; GL Malzer; DJ Mulla; DR Huggins & J Strock. Spatial and Temporal Variation in Economically Optimum Nitrogen Rate for Corn.2003. Agron. J. 95: 958-964. July-August. 2003.
- Marban, L. 2005. Tecnologías en análisis de suelos. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Pág. 131-138.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1996. In: Sparks DL, Pages AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME, Eds. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of Soil Analysis. Madison: Soil Science Society of America 1996: pp. 961-1010.
- Proot A; M Barraco; C Scianca & C Alvarez. 2011. Efecto de la fertilización nitrogenada y de la densidad de siembra sobre los rendimientos y la eficiencia de uso de agua en maíces tardíos en la pampa arenosa. EEA INTA General Villegas.
- Redel M & MM Zubillaga. 2014. Aproximaciones para el manejo sitio-específico de la fertilización nitrogenada en maíz a través de índices espectrales. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. N^0 15 IPNI Cono Sur, Buenos Aires, pp 15-21.

- Rouse, JW; RH Haas; JA Schell & DW Deering. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) Third Earth Resources Technology Satellite–1 Symposium. Volume I: Technical Presentations, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317.
- Schepers, JS & JJ Meisinger. 1994. Field indicators of nitrogen mineralization. In J. Havlin y J. Jacobsen (ed). Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations. SSSA Spec. Pub. N°40 SSSA-ASA. Madison, Wisconsin USA.
- Tucker, CJ. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sens.Environ. 8: 127-150.
- Zubillaga MM & S Urricariet. 2005. Assessment of Nitrogen Status in Wheat Using Aerial Photography. Commun. Soil Sci.Plant Anal. 36: 1787-1798.
- Zubillaga, MM; M Carmona; A Latorre; M Falcon & J Barros. 2006. Estructura espacial de variables edáficas a nivel lote en Vedia – Provincia de Buenos Aires. En: Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta. Argentina. 5pp.