



XXVI

Congreso Argentino
de la Ciencia del Suelo

Suelo: Legado social de edición limitada

Tucumán 2018

COMISIÓN 5

Génesis, clasificación,
cartografía y
mineralogía de suelos



COMISIÓN 5: Génesis, clasificación, cartografía y mineralogía de suelos

C5P1. SISTEMA DE INFORMACIÓN DE SUELOS DEL INTA (SISINTA): PRESENTE Y FUTURO

Angelini, Marcos E.; Rodríguez, Darío M.; Olmedo, Guillermo F.; Pasquier, Mauricio L.; Schulz, Guillermo A.; Aleksa, Alicia S.; Angelini, Hernán P.; Babelis, Germán C.; Barrios, Raúl A.; Bustos, María V.; Carboni, Gervasio; Casabella, María P.; Colazo, Juan C.; de Bustos, María E.; de la Fuente, Juan C.; Díaz, Ricardo C.; Di Fede, Beatriz E.; Escobar, Dardo; Escobar, Liliana E.; Faule, Lautaro; Garay, Jorge M.; Godagnone, Rubén E.; Hurtado, Paula; Irigoin, Julieta; Kurtz, Ditmar B.; Liotta, Mario A.; Medina Herrera, Daniela; Miraglia, Horacio N.; Morales Poclava, María C.; Navarro, María F.; Rigo, Santiago; Rossi, Juan P.; Sánchez, Julio M.; Valdetaro, Rocío A.; Vicondo, Manuel E. y Vizgarra, Lidia A.

C5P2. IDENTIFICACIÓN DE SERIES DE SUELOS EN DEPARTAMENTO MONTEROS - TUCUMÁN MAPA A ESCALA DETALLADA

Arroyo, Esteban A.; Aranda, Nelson D. y Sanzano, G. Agustín

C5P3. LA FREÁTICA EN LA GÉNESIS DE SUELOS HIDROMÓRFICOS DEL CENTRO DE SAN LUIS (ARGENTINA).

Barbosa, Osvaldo A.; Álvarez-Rogel, José; Riscosa, Daniel A.; Cerda, Ricardo A.; Belgrano Rawson, Diego N y Mores, Jorge L.

C5P4. DETECCIÓN DE CAMBIOS CON IMÁGENES DE SATÉLITE EN EL DEPARTAMENTO PELLEGRINI, SANTIAGO DEL ESTERO

Boix, Liria y Murua, Pedro.

C5P5. CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE PAMPA AUSTRAL: CAMBIOS POR MATERIALES PARENTALES Y USO DE LA TIERRA

Bravo, Oscar

C5P6. INDICE DE DESARROLLO DEL PERFIL EN ARGIUDOLES DE LA REGION PAMPEANA

Bravo, Oscar

C5P7. FACTOR CLIMÁTICO PARA PREDICCIÓN DE EROSIÓN EÓLICA EN LA PROVINCIA DEL CHACO

Goytía, Silvia Y. y Rojas, Julieta M.

C5P8. PERMEABILIDAD EN HORIZONTES CON LAMELAS

López, J., Degioanni, A. y Becerra, M.A.,

C5P9. MAPEO DIGITAL DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN UN SECTOR DEL DEPARTAMENTO ANTA – SALTA.

Morales, Cecilia; Cáceres Díaz, Raúl O.; Perez Brandán, Carolina; Huidobro, Jorgelina

C5P10. CONSIDERACIONES ACERCA DEL ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS SUELOS EN EL NORESTE DE SANTIAGO DEL ESTERO

Moretti, Lucas M.; Vizgarra, Lidia A.; Morrás, Héctor J.M.; Schulz, Guillermo A.; Rodríguez, Darío M.; Paladino, Ileana R.; Bressan, Emiliano M y Laghi, Joana D.

C5P11. MATERIAL PARENTAL Y PEDOGÉNESIS DE SUELOS VERTICOS DEL DEPARTAMENTO LA PAZ, ENTRE RÍOS

Morrás, Héctor J.M.

C5P12. USO DE LOS MAPAS DE SUELOS EN LA TASACIÓN DE INMUEBLES RURALES

Palacin, Esteban A.; Cattini, Micaela S.; Da Cruz, Mónica B.; Di Benedetto, Walter A.; Ibarra, Macarena F.; Juaristi, Lina J.; Lies, Martín A.; Mendiondo, Martín; Orona, Jessica A.; Rodriguez, Pablo R.; Viñas Redondo, Agustina y Santanatoglia, Oscar J.



C5P13. ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS CULTIVADOS CON CAÑA DE AZÚCAR EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN - FACTORES DETERMINANTES

Sanzano, G. Agustín; Arroyo, Esteban A.; Aranda, Nelson D.; Morandini, Miguel; Romero, Juan I.; Sotomayor, Carolina; Sosa, Francisco, y Rojas Quinteros, Hugo.

C5P14. APLICACIÓN DEL ENFOQUE GEOPEDOLÓGICO PARA EL RELEVAMIENTO SEMIDETALLADO DE SUELOS EN EL NORESTE DE SANTIAGO DEL ESTERO

Vizgarra, Lidia A.; Moretti, Lucas M.; Rodríguez, Darío M.; Schulz, Guillermo A.; Tenti Vuegen, Leonardo; Mas, Laura I. y Avalos, Andrea M.

C5P15. ESTUDIO DE SUELOS DEL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Zamora, Eduardo M.; Faule, Lautaro; Vicondo, Manuel E. y Carnero, Mariana.



C5P1. SISTEMA DE INFORMACIÓN DE SUELOS DEL INTA (SISINTA): PRESENTE Y FUTURO

Angelini, Marcos E.¹; Rodríguez, Darío M.¹; Olmedo, Guillermo F.²; Pasquier, Mauricio L.³; Schulz, Guillermo A.¹; Aleksa, Alicia S.¹; Angelini, Hernán P.⁴; Babelis, Germán C.⁵; Barrios, Raúl A.⁶; Bustos, María V.⁷; Carboni, Gervasio¹; Casabella, María P.¹⁰; Colazo, Juan C.⁸; de Bustos, María E.⁹; de la Fuente, Juan C.¹; Díaz, Ricardo C.¹; Di Fede, Beatriz E.¹; Escobar, Dardo¹⁰; Escobar, Liliana E.⁶; Faule, Lautaro¹¹; Garay, Jorge M.⁶; Godagnone, Rubén E.¹; Hurtado, Paula⁸; Irigoin, Julieta¹; Kurtz, Ditmar B.⁶; Liotta, Mario A.⁵; Medina Herrera, Daniela¹⁰; Miraglia, Horacio N.¹; Morales Poclava, María C.¹²; Navarro, María F.¹; Rigo, Santiago¹; Rossi, Juan P.¹; Sánchez, Julio M.¹; Valdetaro, Rocío A.⁸; Vicondo, Manuel E.⁷ y Vizgarra, Lidia A.¹³

¹ INTA-CIRN, Instituto de Suelos, N. Repetto y Los Reseros s/n, Hurlingham (1686), Buenos Aires, Argentina; ² INTA EEA Mendoza, San Martín 3853, Luján de Cuyo (5507), Mendoza, Argentina; ³ programador Freelance; ⁴ INTA EEA Balcarce, Ruta 226 Km 73,5 Balcarce (7620), Buenos Aires, Argentina; ⁵ INTA EEA San Juan, Calle 11 y Vidart, Villa Aberastain (5427), San Juan, Argentina; ⁶ INTA EEA Corrientes, Ruta Nacional 12 Km 1008, Corrientes, Argentina; ⁷ INTA EEA Manfredi, Ruta Nacional 9 km 636 Manfredi (5988), Córdoba, Argentina; ⁸ INTA EEA San Luis, Ruta Nacional 7 y 8, Villa Mercedes (5730), San Luis, Argentina; ⁹ INTA EEA Catamarca, Ruta Provincial N° 33 km 4, Sumalao (4705), Valle Viejo, Catamarca, Argentina; ¹⁰ Ministerio de Agroindustria, Av. Paseo Colón 982 (C1063ACW) CABA Argentina; ¹¹ Contrato Fundación ArgenInta; ¹² INTA EEA Salta, Ruta Nacional 68 Km 172, Cerrillos (4403), Salta, Argentina; ¹³ INTA EEA Quimilí, Ruta Provincial N° 6 Km 9 (3740) Quimilí, Santiago del Estero. angelini.marcos@inta.gob.ar

RESUMEN

Durante más de 30 años, a partir de 1964, en Argentina se relevó casi la totalidad del territorio con la finalidad de elaborar mapas de suelos. En ese lapso de tiempo, fue necesaria la descripción y muestreo de más de 10.000 perfiles. Gran parte de esa labor se encuentra en la actualidad únicamente preservada en formato papel, con el consiguiente riesgo de sufrir pérdidas y/o deterioro con el paso del tiempo. Por tal motivo, en 2011 se crea el Sistema de Información de Suelos del INTA (SISINTA), una plataforma de software abierto compuesta por una base de datos espacial y una interfaz web de usuario. La interfaz gráfica permite la carga de datos de forma simple y rápida. El formato de carga simula las planillas de campo utilizadas por INTA para la descripción de suelos, respetando la organización de estos datos. Estos datos pueden ser posteriormente descargados mediante la opción de búsqueda y exportación. El sistema además cuenta con un servicio de web-mapping que permite la visualización, y selección de perfiles en base a su distribución geográfica.

Palabras clave: base de datos, repositorios digitales, perfiles edáficos

INTRODUCCIÓN

Desde mediados de la década del 60, y de manera casi ininterrumpida durante más de treinta años, en Argentina se relevó casi la totalidad del territorio con el fin elaborar los mapas de suelos nacionales a través del Plan Mapa de Suelos de la Región Pampeana (INTA, 1964). El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) fue el organismo que lideró la iniciativa y el responsable de la elaboración de la cartografía de suelos a diferentes escalas. Publicaciones como el Atlas de Suelos de la República Argentina, escalas 1:500.000 y 1:1.000.000 (SAGyP - INTA, 1990), las cartas de suelos provinciales (escalas 1:50.000 y 1:100.000) y el Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, escala 1:500.000 (SAGyP-INTA, 1989) se encuentran entre los logros más significativos de esa etapa.

Para la realización de la cartografía de suelos nacional fue necesaria la descripción y muestreo de más de 10.000 perfiles, muchos de los cuales fueron seleccionados para ser representativos de las áreas que ocupaban. Si bien parte de la información relevada fue publicada en mapas o cartas de suelos, en muchos casos los datos de campo están preservados únicamente en formato papel, con el consiguiente riesgo de sufrir pérdidas y/o deterioro con el paso del tiempo.

Esta situación no ha sido exclusiva de la Argentina, ya que experiencias semejantes se llevaron a cabo en otros países como Brasil, donde un proceso similar derivó en el desarrollo del Sistema de información de suelos brasileños (Simoes *et al.*, 2015). Con el mismo objetivo de salvaguardar la información y hacerla accesible, el ISRIC -



WorldSoilInformation desarrolló WoSIS, una base de datos espacial georeferenciada de perfiles de suelos (Batjes, N. et al., 2016). Una publicación reciente presenta un detalle a nivel mundial de este tipo de proyectos (Arrouayset *al.*, 2017).

En este contexto, en el año 2011 se crea el Sistema de Información de Suelos de INTA (SISINTA), disponible en la URL <http://sisinta.inta.gob.ar>. Con SISINTA se busca, además de salvaguardar los datos primarios, hacerlos accesibles para los usuarios a través de una plataforma que permita su visualización y facilite su armonización. El objetivo de esta comunicación es describir las características del sistema así como de los datos de los perfiles de suelos que se encuentran en la base de datos.

SISINTA como plataforma de datos de suelos

El SISINTA es una plataforma de software abierto compuesta por una base de datos espacial y una interfaz web de usuario. La interfaz gráfica permite la carga de datos de forma simple y rápida, ya que el formato de carga simula las planillas de campo utilizadas por INTA para la descripción de suelos, respetando la organización de estos datos. Cuenta con una sección donde se detallan las características del paisaje, otra de descripción de propiedades de los horizontes o capas del suelo, una solapa de datos analíticos, y un mapa con la ubicación del perfil. Además, presenta la opción de adjuntar fotos y documentos que aporten información adicional al perfil de suelo. Estos datos pueden ser posteriormente descargados mediante la opción de búsqueda y exportación a un archivo de texto separado por comas (formato csv). El sistema además cuenta con un servicio de web-mapping que permite la visualización y selección de perfiles en base a su distribución geográfica.

El desarrollo de SISINTA se realiza en un sistema de control de versión llamado Git (Torvalds&Hamano, 2010) y se encuentra alojado en GitHub, una plataforma para proyectos versionados (<https://github.com/INTA-Suelos/SiSinta>). Este tipo de desarrollo permite, entre otras características, que SISINTA pueda ser adoptado y/o modificado por otras instituciones, así como también que nuevos módulos puedan ser implementado por terceras partes, contribuyendo al crecimiento del sistema. El lenguaje de programación de SISINTA es Ruby on Rails (Bächle&Kirchberg, 2007). El sistema es capaz también de intercambiar datos con otras bases de datos de suelo y almacenar datos localmente como una forma de preservar su soberanía.

La base de datos de SISINTA

El SISINTA es también una base de datos colaborativa que cuenta con más de 4.300 perfiles de suelo, de los cuales 3.600 presentan sus coordenadas geográficas. La estructura de base de datos contiene más de cien variables geográficas, morfológicas y analíticas de cada perfil de suelo. Dado que algunos de los perfiles cargados aún se encuentran bajo análisis, se mantienen como con acceso restringido. Esta capacidad del sistema de discriminar entre datos de libre acceso (públicos) y de acceso restringido (privados) posibilita a que cualquier institución u organización interesada en cargar sus datos de suelo puede utilizar SISINTA como plataforma, y a la vez, restringir el acceso de aquellos datos bajo análisis, pero siempre manteniendo la propiedad intelectual de la información generada. De esta manera, sólo se comparte la localización geográfica y denominación del perfil, permitiendo que terceras partes puedan consultar al propietario sobre el uso de los datos privados.

La Tabla 1 y Figura 1 muestran la distribución espacial de perfiles georreferenciados (públicos y privados) por provincia colectados hasta el momento. Puede observarse que la distribución es bastante dispar entre provincias, y también dentro de cada provincia. Aunque esta situación refleja el estado actual de la base de datos, el volumen y distribución de perfiles de suelos existentes es mucho mayor. El INTA aún tiene datos de perfiles que están siendo actualmente digitalizados, pero también se estima que universidades y organismos provinciales podrían colaborar con datos con los cuales incrementar la base de datos de SISINTA.

La construcción de esta base de datos ha permitido el desarrollo de nuevos productos, como por ejemplo el desarrollo de cartografía digital de suelo en base al modelado de ecuaciones estructurales (Angelini et al., 2017) y el mapa de carbono orgánico del suelo de Argentina, como aporte al mapa mundial de carbono orgánico de suelo (FAO, 2017). El aporte de SISINTA tanto a la comunidad científica como a otros usuarios de información de suelos presenta un gran potencial, ya que el análisis de la información básica recolectada por diferentes grupos, no quedaría restringida al grupo que la recabó, sino que podría ser integrada en trabajos más complejos. Ello posibilita hacer un uso más eficiente de la información, vincular distintos grupos de trabajo y mejorar la calidad y cantidad de estudios de un recurso tan importante como es el suelo.



Tabla 1: Número de perfiles disponibles por provincia.

Provincia	Número de perfiles
BUENOS AIRES	1.036
ENTRE RÍOS	316
SAN LUIS	311
CORRIENTES	304
MENDOZA	266
CÓRDOBA	241
SALTA	221
SANTA FE	210
NEUQUÉN	108
SANTIAGO DEL ESTERO	96
SAN JUAN	77
FORMOSA	61
CHUBUT	55
TUCUMÁN	53
LA PAMPA	51
MISIONES	45
SANTA CRUZ	43
RÍO NEGRO	39
LA RIOJA	38
TIERRA DEL FUEGO, ANTÁRTIDA E ISLAS DEL ATLÁNTICO SUR	38
JUJUY	21
CHACO	20
CATAMARCA	17
TOTAL	3667

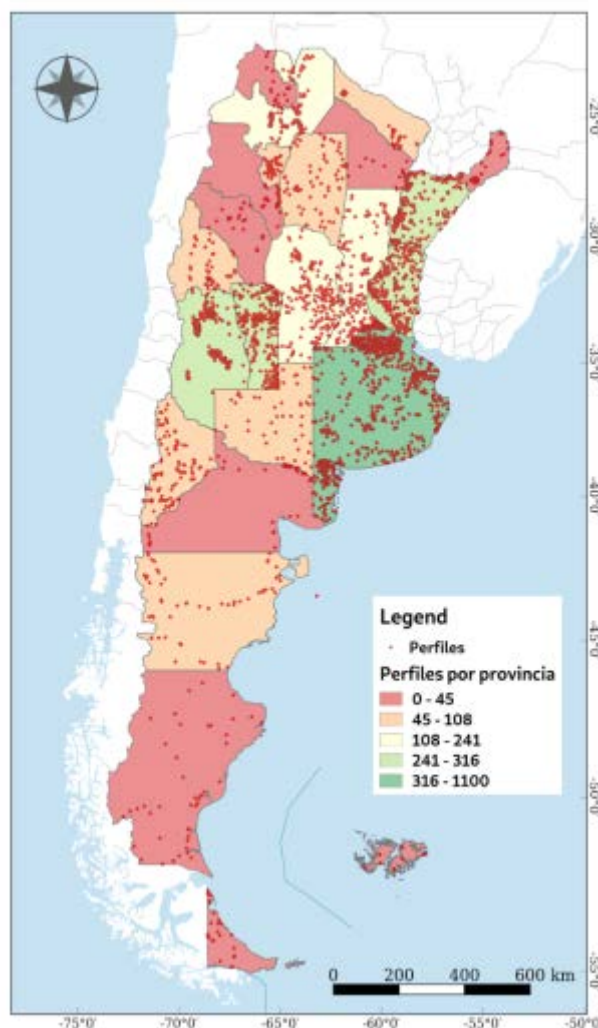


Figura 1: Distribución de perfiles de suelos por provincia.

El futuro de SISINTA

El sistema informático de SISINTA se encuentra en constante desarrollo. Hacia futuro no sólo se planea mejorar las características actuales de búsqueda y exportación de datos, sino también incorporar herramientas de visualización y análisis de datos, tal como puede realizarse con el paquete AQP (por las siglas en Inglés, *Algorithms for Quantitative Pedology*) (Beaudette et al., 2013), y la conexión con otras bases de datos, como ser WoSIS (Batjes et al., 2017) y SISLAC (<https://github.com/FAO-GSP/SISLAC>).

En cuanto a la base de datos de SISINTA, se espera que esta siga incrementando el número de perfiles a través de la incorporación de datos que se encuentran en las distintas reparticiones de INTA, así como también en otros organismos gubernamentales o de ciencia y técnica que decidan sumarse a esta iniciativa. Por ejemplo, se planea que para fines de 2018 se incorporen una gran cantidad de perfiles de suelos del Atlas de Suelos de la República Argentina, que cubrirán zonas con baja densidad de muestras, como son San Juan y las provincias de la Patagonia. Próximamente se incorporarán también perfiles correspondientes a la región Antártica correspondientes al estudio realizado por Godagnone (2001), lo cual convertirá a SISINTA en la única base de datos de suelos de libre acceso con datos en este continente. El aumento en la participación de grupos portadores de datos de suelos beneficiará, no solo al INTA, sino a toda la comunidad a través del incremento de estudios de suelos y de la creación de nuevos mapas que ayuden a una mejor toma de decisiones en el manejo de este recurso.



CONCLUSIONES

En este manuscrito se describieron las principales características de SISINTA en cuanto a las capacidades del sistema así como también a los datos que componen su base de datos. Las principales conclusiones de dicho trabajo son:

- SISINTA es la primer plataforma colaborativa de Argentina para el almacenamiento de datos de suelos de acceso libre.
- Dado que SISINTA ha sido desarrollado bajo normas del software libre, su desarrollo y modificación está al alcance no solo del INTA, sino también de cualquier institución pública o privada que tenga interés en la misma.
- SISINTA es el primer sistema de Argentina que permite compartir datos de suelos entre reparticiones del INTA, así como también entre instituciones públicas y privadas, nacionales e incluso internacionales.
- Se espera que SISINTA promueva a la comunidad técnica y científica al desarrollo de nuevos estudios, tal como ha sido el mapa de carbono orgánico global de la FAO, y que aliente a los portadores de datos de suelos a sumarse a este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de SISINTA ha sido financiado a través de los siguientes proyectos INTA: AERN 295521 (<https://inta.gob.ar/proyectos/AERN-295521>), PNSUELO 1134031 (<https://inta.gob.ar/proyectos/PNSUELO-1134031>), PNSUELO 1134033 (<https://inta.gob.ar/proyectos/PNSUELO-1134033>) y del aporte del Ministerio de Agroindustria de la Nación.

BIBLIOGRAFÍA

- Angelini, ME; GBM Heuvelink & B Kempen. 2017. Multivariate mapping of soil with structural equation modelling. *European Journal of Soil Science*.
- Arrouays, D; J Leenaars; A Richer-de-Forges; K Adhikari; C Ballabio et al. 2017. Soil legacy data rescue via GlobalSoilMap and other international and national initiatives. *GeoResJ*, 14:1-19.
- Bächle, M & P Kirchberg. 2007. Ruby on rails. *IEEE software* 24, no. 6.
- Batjes, NH; E Ribeiro, A van Oostrum, J Leenaars, T Hengl & J Mendes de Jesus. 2017. WoSIS: providing standardised soil profile data for the world. *Earth System Science Data* 9, no. 1: 1.
- Beaudette, DE; P Roudier & AT O'Geen. 2013. Algorithms for quantitative pedology: a toolkit for soil scientists. *Computers & geosciences* 52: 258-268.
- FAO. 2017. The Global Soil Organic carbon Map V1.0. URL <http://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/4-information-and-data/global-soil-organic-carbon-gsoc-map/en/> (accedido el 19 de marzo de 2018)
- Godagnone, RE. 2001. Suelos Antárticos: Clasificación, Taxonomía y Cartografía. No. 631.47989. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina) e Instituto Antártico Argentino.
- INTA. 1964. Plan Mapa de Suelos de la Región Pampeana. Resolución CD No. 218/1964.
- SAGyP-INTA (1989). Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, escala 1: 500000. Proyecto PNUD ARG/85/019. Buenos Aires, Argentina.
- SAGyP - INTA. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina (Escala 1: 500.000 y 1: 1.000.000). Proyecto PNUD ARG/85/019, Buenos Aires. Tomo I: 731 pp, Tomo II: 677 pp.
- Simões, M; S Oliveira; H Gonçalves; R Ferraz; M Aglio & C Manzatto. 2015. Organização da Informação de Solos do Brasil: Banco de Dados de Solos e Geoportal com Acesso a Mapas Digitais via Internet. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal, Brasil.
- Torvalds L & J Hamano. 2010. Git: Fast version control system. URL <http://git-scm.com>.



C5P2. IDENTIFICACIÓN DE SERIES DE SUELOS EN DEPARTAMENTO MONTEROS - TUCUMÁN MAPA A ESCALA DETALLADA

Arroyo, Esteban A.; Aranda, Nelson D. y Sanzano, G. Agustín

Sección Suelos y Nutrición Vegetal. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. William Cross 3150. Las Talitas. Tucumán, Argentina.

earroyo@eeaoc.org.ar

RESUMEN

En la provincia de Tucumán la extensa variabilidad de suelos en gran parte del área productiva es consecuencia de la densa red hidrográfica que desciende de las sierras del Aconquija y se interna en la llanura, tomando cursos divagantes que generan diferentes tipos de suelos. La información de suelos en nuestra provincia, aunque de larga data, tiene una cobertura parcial de las áreas productivas. El presente trabajo tiene como objetivo la identificación de suelos a nivel de serie en la zona centro-sur del departamento Monteros, aportando información edáfica a una escala que podría ser utilizada fácilmente por los productores a nivel de lote. Esta área comprende alrededor de 6.000 ha, donde el principal cultivo es la caña de azúcar y comparte espacio con otras producciones como citrus, arándano y cultivos para autoconsumo tales como batata, maíz dulce y hortalizas. En la etapa de gabinete se utilizó para la separación de áreas homogéneas imágenes satelitales Landsat8, información de cartas de suelos y datos analíticos de estudios de suelos realizados a pequeños productores cañeros entre los años 2013 a 2017, contabilizando 73 puntos de observación y a tres profundidades: 0-30 cm, 30-60 cm y 60-90 cm, con 20 determinaciones analíticas para cada profundidad. Se realizó un análisis visual de las imágenes satelitales, así como de la textura del suelo para separar áreas preliminares de tipos de suelos. En la etapa de campo se procedió a la apertura de calicatas en cada área delimitada para poder relevar tipos de suelos. Posteriormente se efectuó la corrección y/o confirmación de los límites de las unidades cartográficas, sumándose 50 observaciones con pala barreno. Como resultado se identificaron tres series de suelos, empleando las normas establecidas por "SoilSurveyStaff" en claves para taxonomía de suelos (edición 1996): Serie El Cercado: Hapludolfluvéntico suelo profundo, moderadamente bien drenado a imperfectamente drenado, de textura franca, reposando sobre texturas gruesas, ligeramente ácidos y no salinos, del tipo A-AC-AC1-2C-3C-4C; Serie Capitán Cáceres: Hapludolfluvéntico, suelo profundo, bien drenado, de textura franca reposando sobre textura gruesa, lo que evidencia el origen aluvional, moderadamente a ligeramente ácido, no salino, del tipo A-AC-2AC-3C y Serie El Churqui: Udipsament típico suelo profundo, suavemente ondulado, de textura gruesa a muy gruesa, no salino, fuertemente a ligeramente ácido, del tipo A-C-2C-3C-4A. Se construyó el mapa de suelos a escala 1: 80.000 utilizando el software QGIS 2.14.11-Essen.

Palabras claves: taxonomía, cartografía, mapas



C5P3. LA FREÁTICA EN LA GÉNESIS DE SUELOS HIDROMÓRFICOS DEL CENTRO DE SAN LUIS (ARGENTINA).

Barbosa, Osvaldo A¹; Álvarez-Rogel, José²; Riscosa, Daniel A¹; Cerda, Ricardo A¹; Belgrano Rawson, Diego N¹ y Mores, Jorge L¹.

¹Facultad de Ingeniería y Cs Agropecuarias, Universidad Nacional de San Luis. Avenida 25 de mayo 384. Villa Mercedes (San Luis). Argentina. baldibarbosa@yahoo.com.ar

²Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, nº48. 30203 Cartagena (Murcia). España.

RESUMEN

Los humedales son ambientes que están permanente o frecuentemente inundados, lo que determina el desarrollo de suelos hidromórficos y de vegetación hidrófita, si bien el problema es más complicado cuando la misma es salina. En estos sectores entonces, se desarrollan suelos salinos o salino-alcalinos. Estas sales juegan un importante papel tanto en la formación y evolución como en la clasificación de estos suelos. Nuestro objetivo fue tipificarlos de acuerdo a sus rasgos de salinización/sodificación y modelar el movimiento del agua y las sales del sector para determinar la posible génesis de los mismos. El área de estudio se localiza a los 33° 37' de latitud Sur y 65° 25' longitud Oeste, al norte de la ciudad de Villa Mercedes en la depresión que se denomina "Bajo la salada", con una elevación máxima de 505 msnm ocupando una superficie de 120,7 ha. En los estudios previos se determinaron los tipos fisonómicos y suelos del sector, en ellos se determinaron parcelas de seguimiento en las cuales se determinó el nivel freático y diferentes parámetros químicos del agua. Los valores de CE y la presencia/ausencia de dispersión en los perfiles mostraron que el Monte halófilo es el único que presenta suelos de características normales siendo los otros tipos fisonómicos salinos-alcalinos. Los procesos pedogenéticos y los movimientos del agua y sales determinan Haplustoles típicos en el Monte halófilo, Ustortentes y Epiacuentes típicos en el Matorral halófilo y Epiacuentes típicos en los demás tipos fisonómicos. Se concluye que: a) los suelos son salino sódicos excepto para el monte halófilo; b) el modelado del movimiento de agua y sales indican la alta incidencia de ellos y c) la génesis de los suelos del humedal es compleja y dependiente de la ubicación topográfica que presentan los perfiles.

Palabras claves: Suelos hidromórficos, génesis, freática.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son ambientes que se identifican como áreas geográficas que están permanente o frecuentemente inundadas o con el suelo saturado (Tiner, 1999), lo que determina el desarrollo de suelos hidromórficos y de vegetación hidrófita (Barbosa *et al.*, 2014), si bien el problema es más complicado cuando la misma es salina. En estos sectores entonces, se desarrollan suelos salinos o salino-alcalinos, que son aquellos en los que existe una acumulación de sales más solubles que el yeso tan elevada que interfiere el crecimiento de las plantas. Estas sales juegan un importante papel tanto en la formación y evolución como en la clasificación de estos suelos (Ferradas, 1994). Por otro lado, el movimiento de las sales dentro del perfil del suelo y su acumulación en la superficie está asociado con la concentración salina del nivel freático (de Oliveira, 1997) y es causada por difusión, convección o ambos procesos simultánea o sucesivamente (Lavado *et al.*, 1992).

Estas aguas cargadas de sales se acumulan en las depresiones, a veces subterráneamente constituyendo mantos freáticos salinos, o bien superficialmente, dando lugar a charcas, lagunas, lagos salinos, etc. Esto se ve facilitado por el hecho de que, con frecuencia, las depresiones tienen mal drenaje natural por sus condiciones topográficas y porque en las áreas bajas suelen acumularse arcillas arrastradas por aguas de escorrentía, que afectan la permeabilidad (Richards, 1974). En situaciones de déficit hídrico (como ocurre en la provincia de San Luis), las concentraciones de sales son tan elevadas que llegan a cristalizar en la superficie del suelo. No sólo es importante la cantidad de sales sino también su tipología, por su distinto efecto sobre las propiedades físicas del suelo y su toxicidad y el desequilibrio de nutrientes que pueden provocar en las plantas. Numerosos autores (Pizarro, 1985; Porta *et al.*, 2003) estudiaron las características generales de las sales más comunes y sus efectos sobre los suelos y las plantas.



No hay suficientes estudios, pero existen indicaciones que muestran que en algunas áreas chaqueñas la tala indiscriminada del monte y la introducción de agricultura conduce a una paulatina salinización de los suelos (Zurita, 2008). Inclusive, para la provincia de San Luis se alertó sobre la posibilidad de ocurrencia de este tipo de fenómeno, como consecuencia del desmonte de bosques xerofíticos en planicies semiáridas (Nosetto *et al.*, 2005).

En el sector árido y semiárido de la región chaqueña, la evapotranspiración es el principal componente de salida de agua dentro del balance hídrico y es un proceso regulado por la vegetación. El desmonte y el cambio en la cobertura vegetal, tiende a reducir la evapotranspiración. Esta alteración genera fuertes aumentos en los restantes componentes del balance hídrico, entre los que predomina el drenaje profundo (Scanlon *et al.*, 2006). Esto da lugar a un proceso de recarga del agua subterránea y, consecuentemente, ascensos gradual y paulatino del nivel freático (George *et al.*, 1997; Santoniet *et al.*, 2010). En estos casos, la agricultura conduce a un proceso de recargas con lixiviación de sales del suelo y subsuelo inicialmente, que luego de varias décadas podrían derivar en un ascenso de la capa freática y con ellas las sales llegan hasta el *solum*. Esto se registró en procesos de salinización por ascenso de capas freáticas en Australia y otras partes del mundo (George *et al.*, 1997).

Debido a los escasos antecedentes de estudios sobre estos suelos y sus relaciones, nuestro objetivo fue tipificarlos de acuerdo a sus rasgos de salinización/sodificación y modelar el movimiento del agua y las sales del sector para determinar la posible génesis de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza por autopista 55, 7 km al norte de la ciudad de Villa Mercedes en la depresión que se denomina “Bajo la salada”. Se ubica a los 33° 37′ de latitud Sur y 65° 25′ longitud Oeste, con una elevación máxima de 505 msnm ocupando una superficie de 120,7 ha.

Para el mismo sector, Pacheco *et al.* (2010) determinaron los tipos fisonómicos y Barbosa *et al.* (2014) los suelos que se muestran en la Tabla 1. Se determinaron 12 parcelas para cada tipo fisonómico y en cada una de ellas se observó la profundidad al nivel freático (con barreno) en forma mensual. Se muestreo el agua para determinar diferentes parámetros químicos en forma bimestral y trimestral.

Tabla 1: Tipos fisonómicos, especies dominantes y clasificación taxonómica de suelos.

Subpaisaje	Tipo fisonómico	Especie dominante	Suelo
Sector llano	Monte halófilo (Mth)	<i>Prosopiscaldeniay</i> <i>Geoffroeadecorticans</i>	Haplustol típico
Sector alto	Matorral halófilo (Mh)	<i>Atriplexspp</i> (zampa)	Ustortente típico / Epiacuate típico
Sector bajo con salinidad en superficie	Parches de arbustal halófilo rastrero (Pahr)	<i>Sarcocornianeei</i> (jume)	Epiacuate típico
	Pradera halófila abierta (Pha)	<i>Distichlisspicata</i> (pasto salado)	Epiacuate típico
	Pradera halófila densa (Phd)		Epiacuate típico
Cauce y lagunas temporarias	Playa salina (Ps)	Suelo desnudo	Epiacuate típico

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Mth que se encuentra en el subpaisaje sector llano del paisaje manto arenoso casi plano se corresponde con los suelos que poseen la suficiente profundidad al manto freático para que se desarrolle el bosque de Caldén, si bien en el sector de estudio éste ha desaparecido por la tala. La caracterización interna del perfil modal del suelo de este subpaisaje en las dos zonas de estudio, tuvo como resultado un Haplustol típico que se lo puede asociar al complejo Villa Reynolds,



de acuerdo a la carta de suelos (INTA-Gobierno de la provincia de San Luis, 2000). Por otro lado, en el paisaje depresión salina fueron obtenidos diferentes suelos (Ustortentes típico y Epiacuentes típico) que comprendían los tipos fisonómicos de Mh, Pahr, Ph (abierta y densa) y Ps, en la medida en que fue variando la profundidad del nivel freático y la salinidad, asociándose a la unidad cartográfica de grupo no diferenciado “Bajo Las Saladas” de la carta de suelos (INTA-Gobierno de la provincia de San Luis, 2000). Por lo tanto es correcta la apreciación de que la parte llana conforma una unidad cartográfica de complejo y que la depresión salina se la puede asociar a un grupo no diferenciado como figura en la carta de suelo del sector de estudio.

De acuerdo a la CE y a la presencia/ausencia de signos de dispersión en los perfiles típicos de suelos de cada uno de los tipos fisonómicos se clasificaron los suelos cuyos resultados muestran que el Mth es el único que presenta suelos de características normales en ambas zonas de muestreo. De esta manera, todos los otros tipos fisonómicos presentan propiedades de suelos salinos-alcalinos.

Una de las principales observaciones que se pueden realizar observando los datos analíticos, es la ausencia de carbonatos con los altos valores de pH encontrados. Esto indicaría la presencia de carbonatos cálcicos altamente insolubles, que se encontrarían diseminados en la matriz del suelo.

Los suelos desarrollados en el Mth y Mh por estar en el sector más alto son un lugar de recarga del humedal y no están afectadas por inundaciones, si bien en el Mh de la zona 2 aparece la freática más cercana a la superficie. En ellos la lixiviación es un proceso importante pero también lo es el ascenso capilar que provoca la presencia de sales cercana a la superficie. En estos tipos fisonómicos, la posición en el relieve ocupa un lugar muy importante dentro de los factores formadores, ya que estas sales estarán más cercanas a la superficie cuando más próxima sea su posición al sector deprimido. Por lo tanto, estos tipos fisonómicos presentan suelos más desarrollados, si bien es escasa su evolución, siendo su clasificación Haplustoles típicos en el Mth de ambas zonas; y, Ustortentes y Epiacuentes típicos en el Mh de la zona 1 y 2 respectivamente. Por otro lado, los horizontes A no presentan o es muy ligera la reacción al HCl, denotando la escasa cantidad de carbonatos presentes superficialmente.

Se observa claramente como a medida que se avanza del Mth hacia la Ps aumenta el espesor de los horizontes A y la textura es cada vez más fina, especialmente en la zona 1. El aumento del espesor del horizonte A ocurre porque los procesos de melanización se ven favorecidos por los de sodificación (dispersión), si bien es muy escasa la cantidad de materia orgánica presente en estos horizontes.

Desde el Mh hacia la Ps los suelos son influenciados por el microrelieve que determina una dinámica distinta de la freática, siendo más alta, salina y estable, además incluye inundaciones estacionales, flujos superficiales por dispersión y ascensos capilares en horizontes subsuperficiales, algunos confinados. Esto determina las particulares condiciones ambientales en donde se instalan los diferentes tipos fisonómicos que dominan estos sectores.

Los Pahr, las Ph (abiertas y densas) y la Ps de las dos zonas de muestreo presentan Epiacuentes típicos que poseen horizontes A de mayor espesor hacia las Ps y generalmente fuerte reacción al HCl por lo tanto presencia de carbonatos en forma superficial; especialmente en la zona 2.

En la zona 1 de muestreo desde los Pahr hacia la Ps existe arrastre de sedimentos y materia orgánica dispersada en forma superficial que proviene de los paisajes superiores. En estos perfiles comienza a existir un horizonte A gleyzado y enterrado. Estos horizontes serían posiblemente el nivel del suelo superficial cuando existía una laguna de poca profundidad, hecho producido hace aproximadamente unos 60 años (Oscar E. Coser, comunicación personal, 2016).

La morfología de los perfiles refleja un continuo hidrológico desde aquellos donde domina la recarga hacia los que esta se encuentra impedida. Desde los Haplustoles de los Mth hacia los Epiacuentes de los Pahr, Ph y Ps. En los primeros, donde domina la recarga la lixiviación llega a ser un proceso importante de evolución de los suelos. La presencia de un nivel freático fuertemente salino y altamente sódico en los Pahr, Ph y Ps, impide la penetración superficial del agua, acción que perjudica el desarrollo de los perfiles. En ellos, el ascenso freático y la presencia de un nivel freático superficial determina la aparición de procesos de gleyzación en donde es evidente la suspensión de la evolución del perfil.

Por otro lado, años secos y húmedos exhiben extremos hidrológicos diferentes, pero los patrones morfológicos que pueden ser observados (razgos redoximórficos) para cada sitio permanecen casi invariables en el suelo. Sin embargo,

cuando no existe un excedente de agua en el humedal que le permite drenar sales el proceso de salinización es importante, y al contrario, cuando las precipitaciones son abundantes, el proceso de desalinización es el dominante en el sector.

Modelado del movimiento del agua superficial y subsuperficial.

En el Mth las precipitaciones en exceso drenan en profundidad hacia el nivel freático, y si bien existe ascenso capilar, este no es importante debido a la profundidad que se encuentran las raíces y la freática; por lo que no afecta la rizósfera y el normal desarrollo de las especies que se encuentran en este tipo fisonómico. Por otro lado, las pérdidas más importantes de agua ocurren por evapotranspiración de la gran biomasa del Mth. Esto es coincidente con la mayor evolución del perfil y la clasificación del suelo encontrado (Haplustol típico).

Sucede lo mismo en el Mh, pero el ascenso capilar es importante porque provee de sales a menor profundidad del suelo, por lo que la vegetación tiene que estar especialmente adaptada a ellas. También es importante la cobertura de los suelos, ya que en ciertos lugares en donde el Mhse encuentra abierto, es notable la presencia de sales en superficie, mostrando la envergadura de este movimiento vertical ascendente de agua. Asimismo las pérdidas por evapotranspiración son menores por la menor biomasa de este tipo fisonómico. El suelo de este tipo fisonómico corresponde a un Ustortente típico en la zona 1 y a un Epiacuate típico en la zona 2. En épocas húmedas, especialmente cuando el Mh termina en forma de barranca, en la base, aparece la freática en forma de afloramiento.

En los tipos fisonómicos Pahr, Ph y Ps; cuando se producen las precipitaciones sufren el sellado de los primeros centímetros de suelo por la alta concentración de sodio, que provoca un escurrimiento superficial de tipo laminar hacia los sectores más bajos. El fenómeno es importante, debido que inunda periódicamente los sectores más planos cóncavos ocupados por las Ps y algunas veces forma lagunas temporarias (por el tiempo en que permanece encharcado). En estos periodos húmedos, es común la inundación de tipos fisonómicos como la Phd en ambas zonas y los Pahr en la zona 2, y en contadas ocasiones la Pha de la zona 1 y 2.

Por otro lado, los ascensos capilares de estos tipos fisonómicos mantienen los suelos saturados de agua y sales por mucho tiempo, por lo que las plantas deben afrontar este tipo de estrés por un periodo mayor. Las pérdidas por evaporación son importantes, especialmente en los Pahr, Pha y en las Ps; mientras la evapotranspiración no llega a ser significativa en estos tipos fisonómicos. Sucede todo lo contrario en la Phd donde esta situación se invierte.

Todo estos procesos se correlacionan perfectamente con la aparición de rasgos redoximórficos en todos estos perfiles (gley, revestimientos de poros y masas de hierro, manchas de dispersión y fuerte olor desagradable producto de procesos de sulfato reducción), como así también con la clasificación taxonómica encontrada (Epiacuates típicos).

En la figura 1 se modeliza el movimiento del agua superficial y subsuperficial para cada tipo fisonómico con el suelo obtenido.

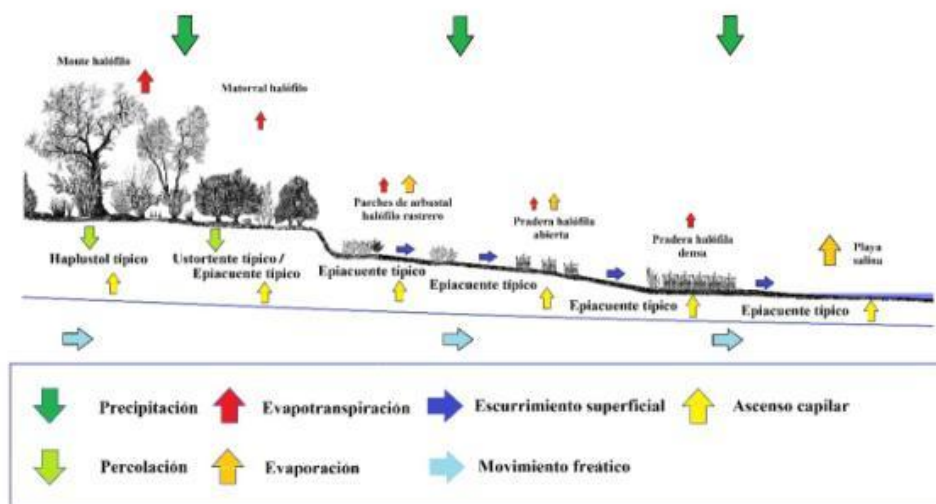


Figura 1: Modelización del movimiento del agua superficial y subsuperficial para cada tipo fisonómico y con su correspondiente clasificación de suelo.

Modelado del movimiento de las sales.

La depresión salina por poseer escasa pendiente, se caracteriza por que predominan dos tipos de movimientos de agua. El vertical por ascenso capilar del agua freática, naturalmente salina, que de esta manera llega a superficie donde finalmente se evapora, permaneciendo la sal. El horizontal, dominado por escurrimiento superficial y movimiento lateral de la freática. Por lo tanto, estos movimientos del agua tienen especial importancia en el modelado y movimiento de las sales en estos tipos de ambientes, destacando lo que sucede en periodos secos y húmedos. En la figura 2 se modela el movimiento de las sales en el sector de estudio.

Durante las épocas secas, especialmente a la salida del invierno (agosto y septiembre) con predominio de vientos generalmente del norte, por lo tanto secos y cálidos, en los tipos fisonómicos donde el suelo desnudo abarca mucha superficie (Ps, Pha y Pahr) el viento levanta la sal pulverulenta que ha llegado a través de escurrimiento superficial o del ascenso capilar y precipitado en superficie por evaporación; trasladándola a otros tipos fisonómicos, algunas veces en forma de torbellinos blancos.

En los periodos más lluviosos, las sales son lavadas por las precipitaciones. En los tipos fisonómicos como el Mth y el Mh, se lavan las hojas y ramas, llegando al suelo en donde percolan hacia la freática. En los Pahr y Ph, con suelos Epiacuentes típicos, las hojas son lavadas de sales (especialmente las praderas de *Distichlis* que acumulan sales en sus hojas), escurriendo superficialmente ya que dichos suelos se sellan en superficie por su alto contenido de sodio. En las zonas más bajas, Ps, donde llegan todas las sales escurridas de los tipos fisonómicos superiores y cuando el agua finalmente es evaporada, la sal nuevamente aparece en superficie para iniciar nuevamente todo el proceso. Asimismo, todos estos tipos fisonómicos poseen sales superficialmente por ascenso capilar de la freática salina.

Los iones que se encuentran en mayor cantidad en los suelos y freática del sector de estudio son el Na^+ y el SO_4^- , dando lugar a Na_2SO_4 como la sal más frecuente. Esta sal varía su composición molecular en función de la humedad del suelo, dando lugar a dos especies minerales:



En el primer caso (1) la sal encontrada es tenardita que se asocia a períodos de sequía, y en el segundo (2) es mirabilita que se la relaciona a períodos húmedos.

Por efecto de la evaporación, esta sal es transportada a la parte superficial del suelo con el resto de las sales, pero la influencia de la temperatura sobre su solubilidad condiciona su presencia en superficie. Durante la época fría y si la misma es húmeda, cuando las otras sales pueden ser lavadas hacia horizontes más profundos o escurridas fuera del humedal, la mirabilita queda en superficie debido a que su insolubilidad aumenta con el descenso de temperatura. Estos cambios, en función de la temperatura y la humedad, pueden hacer variar la especie cristalizada, encontrándose muchas veces ambas especies en el humedal. En épocas de fuerte evaporación se forma tenardita.

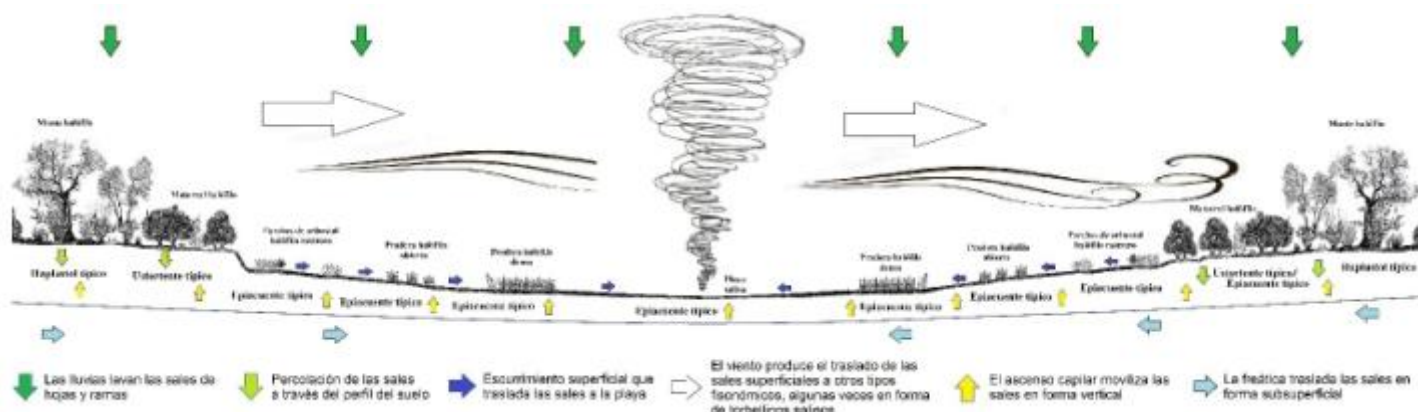


Figura 2: Modelado del movimiento de las sales en el sector de estudio.

CONCLUSIONES

Se concluye que: a) los suelos son salino sódicos excepto para el monte halófilo; b) el modelado del movimiento de agua y sales indican la alta incidencia de ellos en los procesos de salinización/desalinización, y c) la génesis de los suelos del humedal es compleja y dependiente de la ubicación topográfica que presentan los perfiles.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbosa, O.A.; J. Alvarez-Rogel; M.C. Pacheco Insausti; J.L. Mores; F.M. Galarza; R.A. Cerda & S.B. Pereyra. 2014. Características morfoedológicas y nivel freático para algunos suelos hidromórficos de San Luis. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 5 a 9 de mayo de 2014. Bahía Blanca, Argentina.
- de Oliveira M. 1997. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. En: Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Ed. H.R. Gheyi, J.E. Queiroz e J.F. de Medeiros. XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Campina Grande, Brasil. 383p.
- Ferradas R. 1994. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Monografía Cátedra de Manejo y conservación de suelos. FICES-UNSL. 19 p.
- George, R.J.; D.J. McFarlane & R.A. Nulsen. 1997. Salinity threatens the viability of agriculture and ecosystems in Western Australia. *Hydrogeology J.* 5:6-21.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) & Gobierno de la provincia de San Luis. 2000. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja Villa Mercedes.
- Lavado, R.S.; G. Rubio & M. Alconada. 1992. Grazing management and soil salinization in two pampean wetlands. *Turrialba (IICA)*.
- Nosetto, M.D.; E.G. Jobbágy & J.M. Paruelo. 2005. Land use change and water losses: The case of grassland afforestation across a soil textural gradient in Central Argentina. *Global Change Biology* 11:1101-1117.
- Pacheco, M.C.; O.A. Barbosa; J.L. Mores & J. Álvarez-Rogel. 2010. Physiognomy of the central sector of the "Bajo la salada" (San Luis, Argentina). XXVIII Reunión Anual de la Sociedad de Biología de Cuyo. Mendoza. *Biocell* 35(1):A24.
- Pizarro F. 1985. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid.
- Porta J.; M. López-Acevedo & C. Roquero. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 930 p.
- Santoni C.S., E.G. Jobbágy & S. Contreras. 2010. Vadose zone transport in dry forests of central Argentina: The role of land use. *Water Res.* 46: W10541, doi:10.1029/2009WR008784.
- Richards L.A. 1974. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed Limusa. 6Ta Ed. México.
- Scanlon, B.R.; K.E. Keese; A.L. Flint; L.E. Flint; C.B. Gaye; W.M. Edmunds & I. Simmers. 2006. Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrol. Processes* 20: 3335–3370.
- Tiner R. 1999. Wetland indicators. A guide to wetland identification, delineation, classification and mapping. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 392 p.
- Zurita J.J. 2008. La salinidad. Su incidencia en las provincias de Chaco y Formosa. En: Tailesnik E; K Grunberg & G Santa María (ed.). La salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria. Ed. de la Universidad Católica de Córdoba, Córdoba. 81-91.



C5P4. DETECCIÓN DE CAMBIOS CON IMÁGENES DE SATÉLITE EN EL DEPARTAMENTO PELLEGRINI, SANTIAGO DEL ESTERO

Boix, Liria y Murua, Pedro.

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Santa Fé. Echague 7151. Santa Fé. Argentina. lmaboix@gmail.com

RESUMEN

El crecimiento agrícola ha sido constante en el país y Santiago del Estero es una de las provincias que presenta un importante aumento en el área de superficie cultivada en el NOA para los últimos años. Resulta de interés conocer la dinámica en el tiempo del uso del suelo e inventariar tales cambios con precisión mediante análisis de imágenes de satélite. Este trabajo aplica técnicas de detección de cambio y realiza un análisis multi-temporal con imágenes Landsat, en el Dto Pellegrini, para un periodo de 30 años. En el análisis se calculan y comparan diferentes índices de vegetación, se cuantifica el crecimiento y se generan mapas de la región resaltando el uso de imágenes de sensores de satélites multitemporales. Las técnicas aplicadas son (1) Comparación de índices de vegetación, (2) Diferenciación de imágenes y (3) RGB-ndvi.

Palabras claves: Índices de vegetación, Imágenes Landsat, Detección de cambios

INTRODUCCIÓN

La detección de cambio es un estudio importante muy aplicado al monitoreo y manejo de los recursos naturales y desarrollo urbano porque permite un análisis cuantitativo de la distribución espacial en el área de interés. Mediante técnicas de teledetección tiene la ventaja de permitir estudios multitemporales que visualicen los cambios, crear mapas y realizar monitoreo de usos del suelo y cobertura de la tierra, como así también realizar comparaciones visuales y enfoques cuantitativos (Wickware & Howarth 1981). Su aplicación en combinación con índices de vegetación permite discriminar y resaltar características propias de la vegetación y por lo tanto muy usados en el análisis de paisajes agrícolas (Pinteret *et al.*, 1994). El más usado es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), debido a su estrecha relación con la biomasa foliar y su simplicidad de cálculo e interpretación (Hayes *et al.*, 2002; Saderet *et al.*, 2003; Volcani *et al.*, 2005). A pesar de ser el NDVI el índice más aplicado para el estudio de la vegetación, otros estudios han aplicado otros índices tales como el SAVI, EVI demostrando ser también efectivos dependiendo de las características del suelo (Chuvieco, 2006). Los índices de vegetación reducen la información espectral en un valor, que se relaciona con una propiedad o característica de la vegetación en particular, combinado la banda NIR (causada por la refracción de la energía debido a la estructura celular de la hoja) y banda Roja causada por la absorción de la clorofila. En los casos de que la cubierta vegetal no es completa, se debe considerar la contribución del suelo subyacente a la señal de reflectancia y facilitar la identificación de cambios sobre la superficie (Coppinet *et al.*, 2004; Jinet *et al.*, 2005a).

La provincia Santiago del Estero ha mostrado en esta última década una tendencia de cambio creciente en cuanto a la producción de cultivos de granos, que se enlaza a factores socioeconómicos, culturales y ambientales. Según informe INTA SE 2016, la provincia presenta un importante aumento en el área de superficie cultivada: la producción de soja, que es el de mayor producción, abarca un 99,1% y registró un récord histórico de producción con 2.949.636 toneladas en 2010 (3,1% del total nacional), equivalente a 869.000 hectáreas (4,4% del total nacional). La producción de maíz se incrementó un 227% entre el 2010 y 2015 con un área aproximada de 490.200 hectáreas (8,1% del total nacional); el sorgo que se utiliza como forraje para la ganadería (10,9%) y, en menor medida, el trigo (4,0%). El Departamento Pellegrini, en esta provincia se destaca en el NOA por este crecimiento, a lo que se suma además, la producción de pastos, siendo el Gatton Panic la especie más difundida que si bien corresponde a zonas tropicales con una necesidad histórica de 1000 mm anuales, tiene la capacidad de adaptarse a las limitaciones que presenta el noroeste de Sgo. que cuenta con unos 550 mm al año, condición que debe a su morfología y fisiología, otorgándole alta resistencia a la desecación.

Los cambios son muy dinámicos, y los de la vegetación dependen de las características del suelo, varía en el espacio y en el tiempo ocupando diferentes extensiones. Es de interés contar con esta información a escala

regional de forma integrada que permita considerar la heterogeneidad espacial de los recursos. Este trabajo aplica técnicas de detección de cambios mediante análisis comparado de índices de vegetación usando datos multitemporales de imágenes Landsat para el periodo 1986-2017, de tal manera de visualizar y cuantificar el crecimiento agrícola y la clases de cobertura de la tierra para esta zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Delimitación del área de estudio

El área de estudio es el departamento Pellegrini en las coordenadas 26.20°S 64.24°W (Figura 1) de 7.330 Km², ubicado al noroeste de la provincia de Santiago del Estero. La vegetación natural predominante en la provincia es el bosque Chaqueño semiárido, xerófito y abierto (SAyDS, 2004), el denominado bosque nativo forma parte de la región del Parque Chaqueño. La temperatura media del mes más cálido es de 26,8 oC y la del mes más frío es de 13,9oC y el periodo libre de heladas es de 273 días (INTA, EEA Santiago del Estero), los valores de evapotranspiración potencial son mayores a la precipitación durante los 12 meses del año, lo cual indica un balance hídrico medio mensual bajo para todo el año. La provincia cuenta con bosques naturales de diferentes aptitudes maderables, donde predominan el quebracho colorado y el quebracho blanco, especies fundamentales del bosque original; entre otras especies se encuentran el itín, el algarrobo y el vinal.

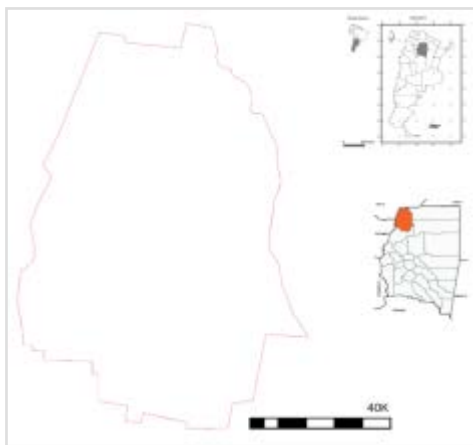


Figura 1: mapa del área de estudio

Pre-procesamiento de imágenes

Se utilizaron imágenes Landsat 5TM C1 Level-1 para los años 1986 de fecha 7 de enero y 2007 de fecha 1 de enero (Path 230 Row 78&79) y Landsat 8 OLI/TIRS Level-1 para el año 2017 de fecha 11 de diciembre (Path 230, Row 78) descargadas del sitio Web (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), de 30 m de resolución y Datum WGS84 UTM. Las imágenes seleccionadas cuentan con calidad visual y son libres de nubes. Se utilizó el software IDRISI para realizar la corrección atmosférica y eliminación de valores nulos (offset) de los datos, se convirtieron los valores originales a reflectancia de la superficie (SR) y brillo temperatura (BT) (ToA-satellitereflectance) mediante el modelo de corrección atmosférica DOS1 (Dark Object Substraction) para permitir la comparación y el mosaicado de diferentes imágenes de satélite y mejorar los resultados en el análisis (Maseket *al.*, 2006). A posteriori, la corrección radiométrica se aseguró que las imágenes coincidan geométricamente y los pixel correspondiente a la misma área estén equiparados para trabajar en la misma escala de valores, las tres imágenes corresponden a la misma estación con pocos días de diferencia entre sí. La imagen Landsat 8 cubre el departamento Pellegrini en su totalidad, por lo tanto se tomó esta imagen como referencia para georectificar las imágenes Landsat 5TM mediante puntos de control (Ground Control Points) proyección UTM, Datum WGS84 (EPSG32630), seleccionando modelo polinomial de primer orden y remuestreo de convolución cúbica, se realizó un mosaico para completar la figura del Depto. Pellegrini, y se recortó la imagen en el área de interés.

Procesamiento de imágenes



Finalizado el pre-procesamiento de las imágenes, para el cálculo de los índices de vegetación se utilizó el software Q-gis V.2.14 del paquete Osgeo4W, aplicando las siguientes fórmulas:

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}} \quad [1]$$

$$SAVI = \frac{(P_{NIR} - P_{RED})}{(L + P_{NIR} + P_{RED})} * (1 + L) \quad [2]$$

$$EVI = 2.5 * \left[\frac{(P_{NIR} - P_{RED})}{P_{NIR} + 6 * P_{RED} - 7.5 * P_{BLUE} + 1} \right] \quad [3]$$

Donde P_{NIR} , P_{RED} y P_{BLUE} corresponde a los valores de reflectancia de la vegetación en la porción infrarroja cercana, roja y azul del espectro (las bandas 4, 3 y 1 respectivamente para las imágenes Landsat5TM y bandas 5, 4 y 2 para el Landsat 8). El valor de la variable L en SAVI es 0.5 para su cálculo por considerarse el valor que mejor se adapta a la región para los cultivos de granos en su mayoría. Se prosiguió con la aplicación de las técnicas de detección de cambios:

Técnica comparación índices de vegetación, como puede verse en la Figura 2, se identifica el índice NDVI como el que mejor representa la zona de interés con los valores más altos para la vegetación y por consiguiente para cuantificar los cambios. Se clasifica los valores 0.1-0.3 como baja densidad de vegetación, de 0.3-0.4 densidad media y 0.4 a > densidad alta, para la evaluación del espacio verde despejado en el departamento Pellegrini, durante el período de 1986 a 2017. Para la discriminación de las áreas de cultivos se crea una máscara de tal manera de separar la vegetación nativa de la vegetación de cultivos y así discriminar las diferentes coberturas. Se resalta que el valor del índice NDVI para los cultivos varían entre 0.1-0.7 según el etapa de crecimiento y estado del suelo. La siguiente Tabla 1 muestra la dinámica de cambio de la vegetación nativa con su densidad y el desarrollo y aumento de área cultivada para este período.

Tabla 1. Cambios en la densidad del índice NDVI para el período 1986-2017

Clasificación	Valor del pixel	1986		2017	
		Area (Ha)	(%)	Area (Ha)	(%)
vegetación-alta	0.4 >	111.599,5	14.6	58.793,6	7.6
vegetación media	0.3-0.4	388.444,9	50.6	170.824,9	22.2
vegetación baja	0.1-0.3	135.207,1	17.6	88.176,5	11.6
cultivos	0.1-0.7	39.772,1	5.2	363.444,5	47

Técnica de diferenciación, se aplica para identificar la dirección del cambio, implica la resta celda a celda, o en este estudio el valor de NDVI a NDVI, para lograr una nueva imagen de los valores de reflectancia que aumentaron y disminuyeron, pudiendo interpretarse como cambio de clases (Steve *et al.*, 2009). Para ello se aplica la siguiente ecuación identificada como diferencia entre imágenes multitemporales:

$$NDVI_c = NDVI_t2 - NDVI_t1 + C \quad [4]$$

En la cual, $NDVI_c$ es la imagen resultado, $NDVI_t2$ y $NDVI_t1$ corresponde a las imágenes del segundo y primer periodo respectivamente. C es una constante para evitar valores negativos, de valor igual a 1 para este caso.

De esta manera se compara aritméticamente bandas procedentes de dos fechas, Figura 3, equiparables radiométricamente y geométricamente. La nueva imagen, resultado de la diferencia, discriminará aquellas zonas que hayan experimentado cambios. Los histogramas, Figura 4, de las imágenes se identifica con las cubiertas vegetal fotosintéticamente activa, con mayor heterogeneidad en la imagen de 1986 y menor en 2017. El histograma de la diferencia las máximas frecuencias corresponden a zonas estables, mientras que las áreas dinámicas (zonas que han cambiado) se encuentran en los extremos y el ancho está relacionado con el contraste-diferencias entre los años.

Técnica de RGB-NDVI, busca generar una composición color formada por imágenes correspondientes a tres años distintos, y realizar un análisis visual que complementa las técnicas anteriores. Se crea una composición de color mediante la teoría aditiva de color (Figura 5). Las tres imágenes NDVI se combinan en azul, verde y rojo, un método muy usado en la detección de cambios en paisajes agrícolas puesto que los cultivos toman diferentes apariencias (estado de cobertura de la tierra) a raíz del laboreo, cosecha, tipos de cultivos que giran en el mismo sitio, etc. (Saderet *et al.*, 2003).

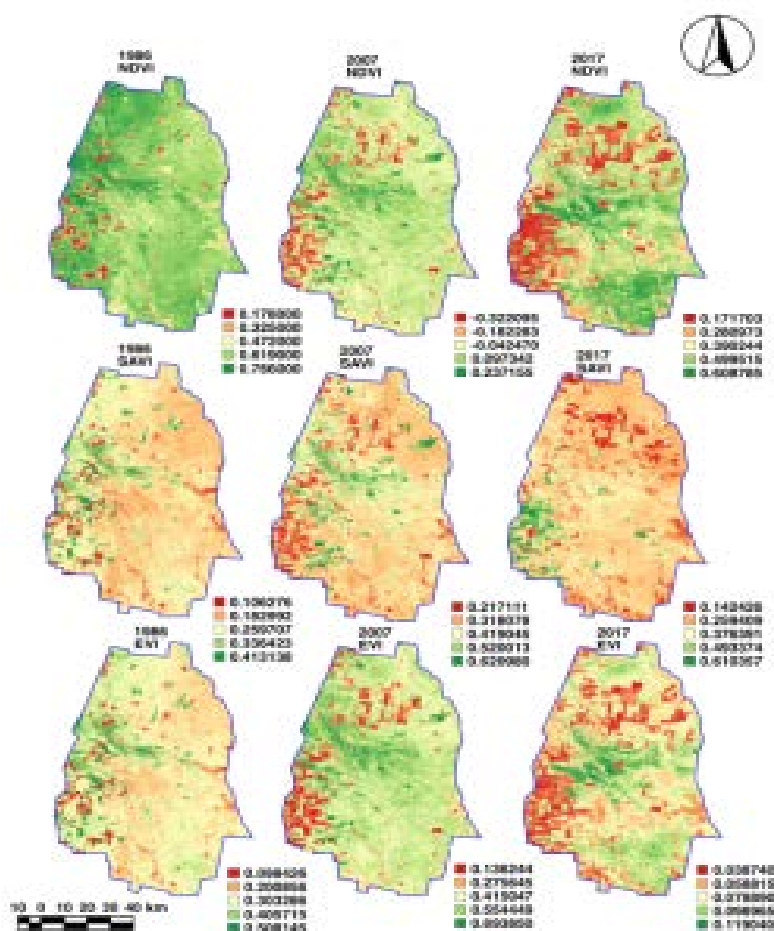


Figura 2: Índices de vegetación NDVI, SAVI y EVI para las tres fechas seleccionadas con sus valores

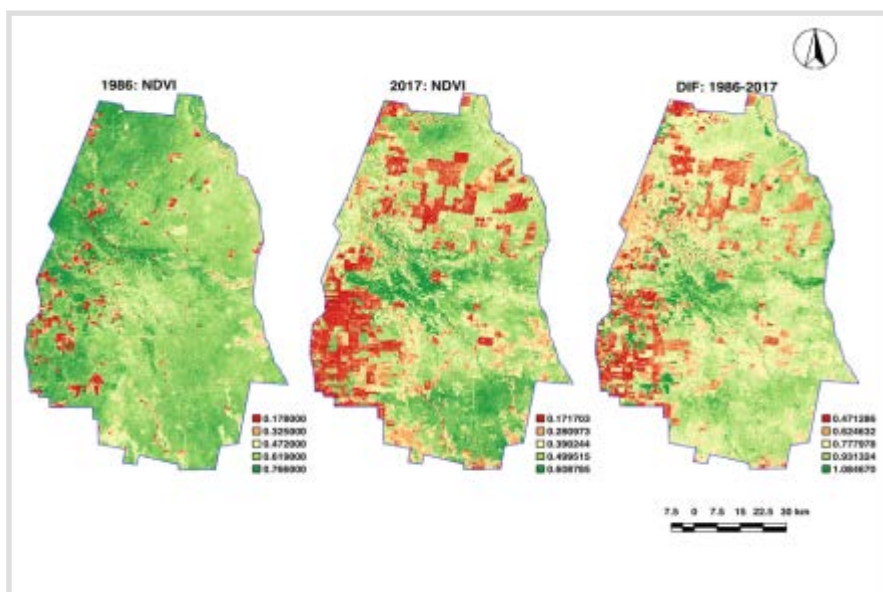


Figura 3: Resultado aplicación técnica imagen de diferencia con las imágenes índice NDVI

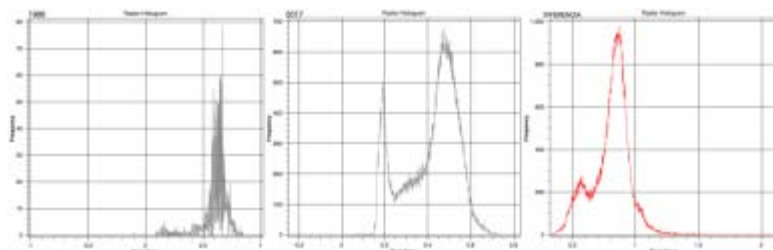


Figura 4: Histogramas resultado de la aplicación técnica imagen de diferencia

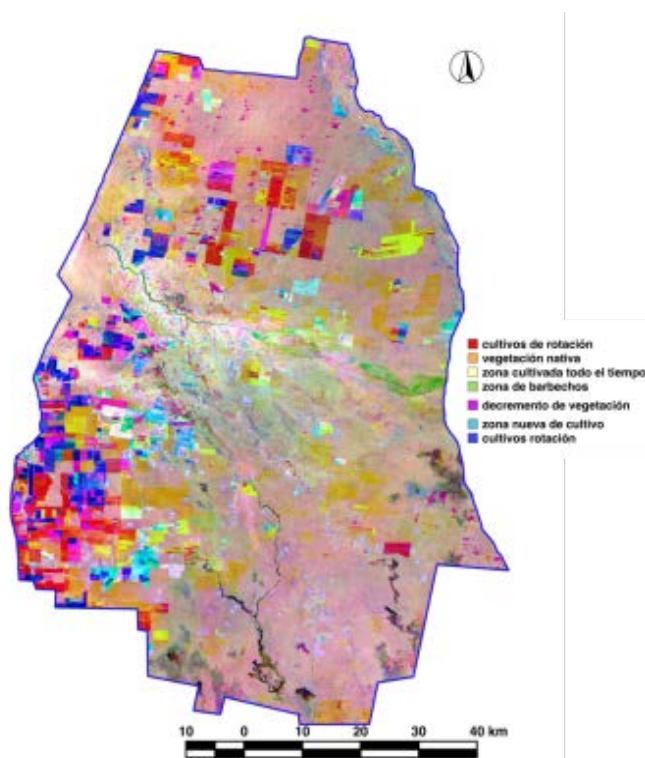


Figura 5: Resultado aplicación técnica RGB-ndvi mediante la teoría aditiva de color realizada con el año 1986 en azul, 2007 en verde y 2017 en rojo



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cálculo de los índices de vegetación permite seleccionar el que mejor refleja la vegetación de la zona, es el NDVI a pesar de ser una zona cuyos cultivos no siempre cubren la totalidad de la superficie, que a su vez debe considerarse su estado de crecimiento. El NDVI visualiza la dirección y magnitud de cambio creciente desde la primera a la segunda fecha que se corresponde al cambio espectral en las mismas. La técnica de diferenciación muestra la expansión de la actividad agrícola en el área de estudio, el resultado de la resta de imágenes muestra mayor ocupación del suelo a consecuencia de la modificación de los rasgos espaciales y en consecuencia también mayor cubierta espectral, que al restarse los valores de NDVI se crea una nueva imagen cuantitativa, presentando las zonas estables con valores cercanos a cero, mientras las que han experimentado cambio ofrecen valores distintos a cero (positivos o negativos). La ecuación aplicada asigna valores nulos para las zonas sin cambios, valores mayores a cero cuando el cambio ha provocado un aumento en el coeficiente de retrodispersión y valores menores a cero cuando el cambio se refiere a un descenso en el coeficiente de retrodispersión.

La técnica RGB-NDVI, la imagen resultante aparece en tonos de color debido a que las tres fechas combinadas presentan comportamiento espectral diferente. Esta técnica sirve para una interpretación visual puesto que no indica la dirección del cambio, se crea un mapa delimitando las zonas de cultivos en diferentes colores, las más claras corresponden a zonas cultivadas todo el tiempo.

Las firmas espectrales entre las variedades estudiadas resultan similares en el espectro, lo que hace difícil su diferenciación, pero con la ayuda del análisis visual puede identificarse y separarse aquellas zonas de cultivos jóvenes en áreas antes no cultivadas (color azul) o por recambio de otras distinta a su variedad (color rojo), ambas caen bajo la misma categoría puesto que el cultivo puede estar en distintos estados de crecimiento. Los cultivos de esta zona corresponden a soja, maíz, poroto para la fecha de las imágenes seleccionadas. Por otro lado, el monte degradado para sistemas silvopastoriles o explotado para madera o carbón, no podrá discriminarse con la vegetación nativa. Si bien las tres imágenes tienen pocos días entre sí (1986 es del 7 de enero, 2007 del 1 de enero y 2017 del 11 de diciembre) corresponden a imágenes con buena calidad visual y evidencian los rasgos de las zonas cultivadas, sin nubes, debe usarse imágenes satelitales de más alta resolución para mejor discriminación de coberturas.

CONCLUSIONES

La aplicación de las técnicas de detección de cambios en este trabajo muestra un aumento de cubierta cultivada de aproximadamente un 42% más para el año 2017 en relación a 1986. Cuando el entorno forestal se modifica, su aspecto espectral cambia en consecuencia, el cambio espectral debe a consecuencia de alteraciones en la densidad o estado fonológico de la vegetación, que para esta zona debe tenerse en cuenta la rotación de cultivos estacionales en la misma explotación agrícola, que mantiene la estructura espacial, pero alterando la respuesta espectral. Por otro lado, los cambios espaciales responden a cultivos dispuestos en nuevos desarrollos agrícolas. La cartografía y la información lograda aquí sienta una base informativa para futuros trabajos en la región, como puede ser el uso de imágenes de mayor resolución para mejor discriminación entre coberturas y la producción de forrajes que ha presentado aumento de producción en el NOA de la provincia (INTA, 2016) debido a que constituye una parte importante de la alimentación animal, y cuya producción se ha desplazado a zonas como esta consideradas de menor productividad por las limitaciones del suelo y disponibilidad de agua, provocando la inserción de nuevos pastos megatérmicos, a consecuencia del proceso de agroindustrialización que se produce en el sur del País.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la facultad de ciencias agropecuarias de la Universidad Católica de Santa Fé por el apoyo brindado en la realización de esta primera etapa del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Chuvieco, E. 2006. Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio. Ariel Ciencia. Barcelona.
- Coppin, P; I Jonckheere; K Nackaerts; B Muys & E Lambin. 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. International Journal of Remote Sensing, 25:1565-1596.
- Hayes, D & S Sader. 2002. Analyzing a forest conversion history database to explore the spatial and temporal characteristics of forest change. Landscape Ecology 17:299-314.



- Masek J; EE Vermote; N Saleous; R Wolfe; F Hall; K Huemmrich & T Lim. 2006. A landsat surface reflectance dataset for north america, 1990-2000. IEEE Geoscience and Remote Sensing, 3(1):68-72.
- Pérez, H.E. 1992. Las pasturas cultivadas en la EEA INTA Santiago del Estero. En: Jornadas de actualización técnica en producción bovina en áreas de secano de Santiago del Estero. INTA, Santiago del Estero. 162: 23-25.
- Sader, S; M Bertran & E Wilson. 2003. Satellite change detection of forest harvest patterns on an industrial forest landscape. Forest Science. 49:341-353.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAYDS). 2004. Parque Chaqueño. En: Atlas de los Bosques Nativos Argentinos, Proyecto Bosques Nativos y Áreas protegidas. Argentina. 244 pp.
- Volcani, A; A Karnieli & TSvoray. 2005. The use of remote sensing and gis for spatio-temporal analysis of the physiological state of a semi-arid forest with respect to drought years. Forest Ecology and Management. 215:239-250.
- Wickware, GM & PJ Howarth. 1981. Change Detection in the Peace – Athabasca Delta Using Digital Landsat Data. Remote Sens. Environ. 11:9-25.



C5P5. CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE PAMPA AUSTRAL: CAMBIOS POR MATERIALES PARENTALES Y USO DE LA TIERRA

Bravo, Oscar

Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. San Andrés 800 (8000), Bahía Blanca. Buenos Aires, Argentina.
obravo@uns.edu.ar

RESUMEN

En la Pampa Austral los niveles de almacenamiento de carbono orgánico alcanzados en la condición climática del pastizal han disminuido en función del tipo de uso y de la resiliencia del componente edáfico. El objetivo de la presente contribución es establecer los niveles de almacenamiento de carbono de suelos bajo pastizales y su variabilidad en función de los materiales parentales y por el cambio de uso sobre el almacenamiento, tasas de retención y distribución vertical de carbono orgánico. El estudio incluyó 110 perfiles de suelos abarcando tres tipos de materiales parentales (sedimentos eólicos recientes, loésicos y aluviales) sometidos a distintos usos (agrícola, agrícola-ganadero, ganadero-agrícola, ganadero y forestal). Los suelos de sedimentos aluviales superan en 80 y 153% en almacenamiento de carbono a suelos generados sobre sedimentos loésicos y eólicos recientes. Los sedimentos loésicos presentaron un valor de COS superior en un 40% a los sedimentos eólicos recientes. Se han detectado efectos por el uso: sobre sedimentos eólicos recientes se midieron niveles de 33 y 39 Mg ha⁻¹ en CO0-25 para A-G y G-A, presentando diferencias con los 51 y 83 Mg ha⁻¹ obtenidos para G y F, respectivamente ($P < 0,05$). En sedimentos loésicos F logró un nivel de 86 Mg ha⁻¹, superando en un 40 % a los almacenamientos de G, GA, AG y A ($P < 0,05$). Los valores observados indican que $F > G > A$ en los dos tipos de materiales. La distribución vertical muestra bajos niveles de COS con poca variabilidad en A, mientras que en G presentó acumulación subsuperficial y decrecimiento leve. F exhibe los mayores niveles de acumulación y marcada asimetría (117 a 4 Mg ha⁻¹). La forma de compartimentalización del CO con la profundidad es asimétrica y poco estable bajo árboles implantados, alcanzando mayor profundidad y simetría en el caso de las pasturas.

Palabras claves: Almacenamiento de carbono, sedimentos loésicos, distribución asimétrica.

INTRODUCCIÓN

La Pampa Austral es un espacio de 8,3 Mha, que se ubica en el sector distal de la región Pampeana y que presenta una amplia diversidad florística, faunística y pedológica. Este bioma se caracteriza por un relieve plano a poco ondulado, recortado por los sistemas serranos de Tandilia y Ventania, donde sobre suelos generados a partir de materiales transportados se ha desarrollado una pseudo-estepa de gramíneas cespitosas bajo un clima templado de transición (Cabrera, 1971; Soriano *et al.*, 1992; Amiotti & Bravo, 2010). Se han reconocido más de 400 especies vasculares nativas y varias especies endémicas por encima de los 500 metros en las Serranías. En la fauna de mamíferos podemos citar al zorro gris pampeano, el gato del pajonal, peludos, vizcachas y como endémicos a diversas especies de tuco-tuco (Bilenca & Miñarro, 2004). La diversidad pedológica se manifiesta por la presencia de 4 Órdenes, 10 Subórdenes, 17 Grandes Grupos y 28 Subgrupos (Bravo, 2013). La distribución de las tasas de suelos se rige por la interacción entre el clima, la posición en el paisaje y el material parental. La diversidad de los componentes naturales descriptos se ve comprometida por los agroecosistemas, que desarrollan desde hace más de una centuria actividades ganadero-agrícolas. El sector austral ha sufrido una marcada intensificación, con un aumento del 35 al 42% en cultivos anuales y una reducción del área de pastizales de 51,6 a 35,1% (Viglizzo *et al.*, 2006). Los niveles de almacenamiento de carbono orgánico en los suelos alcanzados en la condición climática del pastizal pampeano han disminuido en función del tipo de uso y de la resiliencia del componente edáfico: Miglierina *et al.* (2000) han informado reducciones del 30 al 56% en los contenidos de carbono en horizontes A en función de tipos de suelos, rotaciones y cultivos. Estas situaciones podrían mitigarse por el cambio de uso de las tierras hacia pastizales o forestaciones. Un aspecto destacado en el almacenamiento de carbono orgánico se asocia a la compartimentalización, con menor posibilidad de liberación a la atmósfera cuando los usos de la tierra permiten ubicar al carbono por debajo de los 30 cm de la superficie. El objetivo de la presente contribución es establecer los niveles de almacenamiento de carbono orgánico de suelos bajo pastizales y su variabilidad en función de los materiales que le dan origen, así como los efectos por el cambio de uso sobre el almacenamiento, tasas de retención y distribución vertical de carbono orgánico.



MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se desarrolló en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Las localidades extremas de la zona analizada incluyen a Bahía Blanca al sur, General La Madrid al norte, Púan al oeste y Tres Arroyos al este. Las precipitaciones anuales oscilan entre 850 (NE) a 500 mm (SE). La evapotranspiración potencial varía entre 750 a 900 mm año⁻¹. La temperatura media anual es de 15 °C, con estaciones bien diferenciadas: veranos templado-calurosos e inviernos frescos. En el área de estudio se describieron 110 perfiles de suelo según las normas del Soil Survey Manual (Soil Survey Staff, 1993), procediendo al muestreo y caracterización físico-química de los mismos. En cada sitio de muestreo se estableció su geoforma (Geo), material parental (MP), uso del suelo y profundidad efectiva (PE). De cada perfil se identificaron los horizontes genéticos, evaluando en ellos el espesor, color, estructura, consistencia, presencia y abundancia de cutanes, raíces, reacción al HCl al 10 % y descripción de formaciones especiales. La densidad aparente (Db) se determinó en los horizontes superficiales por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986) y en los horizontes subsuperficiales se estimó a partir de la textura y el contenido de carbono orgánico (Saxton *et al.*, 1986). Los suelos fueron clasificados a nivel de familia por Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999).

Los materiales parentales fueron identificados como: 1.- **Sedimentos eólicos recientes** de textura moderadamente gruesa: abarcan texturas franco arenosas a arenosa francas, presentan colores de pardo oscuro a pardo. 2.- **Sedimentos loésicos**: corresponden a sedimentos modernos de origen eólico, de textura franca, franco limosa, franco arcillo limosa y franco arcillosa, con predominio de color pardo amarillento. 3.- **Sedimentos aluviales**: presentan texturas contrastantes de franco-arenosa a arcillosa, colores de pardo oscuro a pardo y rasgos de hidromorfismo. Los usos de la tierra fueron definidos como: agrícola (A), agrícola-ganadero (AG), ganadero-agrícola (GA), ganadero (G) y forestal (F).

Sobre muestras secas al aire y tamizadas por 2 mm se realizaron determinaciones de: textura por el método de la pipeta y carbono orgánico del suelo (CO) por el método de combustión húmeda (Nelson & Sommers, 1982). A partir de los datos de campo y laboratorio se calculó el carbono orgánico almacenado (COS) por cada perfil individual según la metodología propuesta por Batjes (1996):

$$\text{COS0-}\Sigma\text{Ti (Mg ha}^{-1}\text{)} = \Sigma \text{COi (kg Mg}^{-1}\text{)} \text{ Dbi (Mg m}^{-3}\text{)} \text{ Ti (m)} \cdot 10,000 \text{ m}^2/\text{ha}^{-1} \cdot 0,001 \text{ Mg/kg}^{-1}$$

Donde:

COS0- Σ Ti : Masa de COS en Mg ha⁻¹ almacenada en el perfil del suelo

COi:(kg Mg⁻¹): contenido de carbono orgánico para el horizonte i

Dbi (Mg m⁻³): densidad aparente del horizonte i

Ti (m): espesor del horizonte i

De la misma manera se determinó el CO almacenado en los 25 cm superficiales (CO0-25 en Mg ha⁻¹), así como el CO almacenado en la sección de control para familia (COSC, desde los 0,25 hasta 1 m de profundidad u horizonte 2Ckm, en Mg ha⁻¹) y el CO en 1 metro de profundidad (CO1m, Mg ha⁻¹). Las variables de estudio fueron sometidas a análisis de varianza (ANOVA) simples o dobles. En este último tipo de análisis se determinó el efecto de la interacción, considerándola como no significativa con P>0,25. En aquellos casos en los cuales se sospecharon efectos distorsivos generados por variables no incluidas como factores, se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA). Cuando los ANOVA o ANCOVA detectaron diferencias con P< 0,05 se efectuaron comparaciones de medias por diferencias mínimas significativas (DMS) para modelos desbalanceados (Di Rienzo *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono orgánico almacenado: efecto de los materiales parentales

Los sedimentos eólicos recientes, sedimentos loésicos y sedimentos aluviales presentan valores de 76, 107 y 193 Mg ha⁻¹ en COS y 71, 100 y 156 Mg ha⁻¹ para CO1m (n= 21, 81 y 8, respectivamente, P< 0,01). De tal forma los sedimentos aluviales presentan un aumento del 80 % y 154 % en el nivel de COS respecto a los sedimentos loésicos y eólicos recientes. La brecha entre estos dos últimos materiales es del 40 %. Si comparamos a los MP bajo un mismo Uso y tomando a PE como covariable se detectan diferencias entre MP para COS, COSC y CO1m (Tabla 1). Desde el punto de vista taxonómico los perfiles incluidos en la comparación presentada se diferencian a nivel de familia: los suelos desarrollados sobre sedimentos eólicos recientes de textura moderadamente gruesa se clasifican como Paleustoles petrocálcicos franco gruesos, térmicos, moderadamente profundos. Los suelos evolucionados sobre sedimentos loésicos corresponden a Paleustoles petrocálcicos franco finos, térmicos, moderadamente profundos. En los dos grupos el proceso pedogenético dominante es la melanización, a lo que se le suma la iluviación en algunos sedimentos loésicos,



permitiendo la diferenciación de horizontes Bt. Las mayores diferencias en CO se observan en 0-25 cm, donde los sedimentos loésicos retienen un 25 % más que los materiales eólicos recientes. Asimismo, considerando los horizontes AC de las dos situaciones, los sedimentos eólicos recientes presentan una reducción del 11 % en la retención de CO respecto a los sedimentos loésicos.

Tabla 1: Valores medios de COS, COSC y CO1m en función de los Usos y MP

	MP	n	COS	COSC	CO1m
			-----Mg ha ⁻¹ -----		
A	1	--	--	--	--
	2	12	90,2	35,5	85,95
	3	--	--	--	--
AG	1	10	61,8 a*	26,2 a	58,4 a
	2	28	97,2 b	39,4 b	93,7 b
	3	3	157,2 c	82,0 c	146,4 c
GA	1	7	91,9 a	42,9 a	81,8 a
	2	17	115,3 a	49,7 a	115,3 a
	3	--	--	--	--
G	1	3	127,1 a	50,5 a	110,5 a
	2	18	112,6 ab	45,3 ab	103,8 a
	3	5	182,0 b	75,9 b	140,1 a
F	1	1	86,9 a	10,0 a	70,8 a
	2	6	153,4 a	53,0 a	142,7 a
	3	--	--	--	--

*: en las columnas y dentro de cada uso, medias seguidas por distinta letra difieren por DMS con ($P < 0,05$); MP: materiales parentales; n: número de réplicas; --: ausencia de datos; A: uso agrícola; AG: agrícola-ganadero; GA: ganadero-agrícola; G: ganadero; F: forestal.

Cambios en el carbono orgánico almacenado por el uso de la tierra

Para establecer la influencia del Uso del suelo sobre CO0-25 y CO1m con la menor interferencia del resto de los factores, se ha realizado la comparación entre individuos que presentan un mismo tipo de material parental. Se consideró como covariable a la Geo, que no presentó significación estadística (P entre 0,37 a 0,94), indicando que las diferencias entre medias expresan los efectos del Uso. En la Tablas 2 y 3 se presentan las comparaciones de medias por usos para CO0-25 y CO1m respectivamente.

Tabla 2. Comparación de medias de CO0-25 por uso del suelo en función de los MP.

Uso del suelo	Sedimentos eólicos recientes	Sedimentos loésicos	Sedimentos aluviales
Agrícola (A)	--	50,9 ± 15,1* a	--
Agrícola-ganadero (A-G)	33,1 ± 7,4 a**	54,6 ± 15,5 a	64,8 ± 11,6 a
Ganadero-agrícola (G-A)	38,9 ± 8,3 a	56,5 ± 17,5 a	--
Ganadero (G)	51,1 ± 9,4 b	60,0 ± 17,4 a	68,9 ± 24,6 a
Forestal (F)	82,6 ± 0,1 c	86,1 ± 23,7 b	--

*: Desvío estándar; **: en las columnas, medias seguidas de distinta letra difieren por test de DMS con $P < 0,05$.

Se han observado diferencias en CO0-25 entre A-G y el resto de los usos (G-A, G y F) en los sedimentos eólicos recientes ($P < 0,05$). En el caso de los sedimentos loésicos F ha presentado mayor carbono que A, A-G, G-A y G ($P < 0,05$), mientras que no se han detectado diferencias entre usos en sedimentos aluviales ($P > 0,84$). En CO1m solamente se han establecido diferencias entre A-G y F para los sedimentos eólicos recientes y entre F y el resto de los tratamientos para los sedimentos loésicos ($P < 0,05$). No se encontraron diferencias entre usos para los sedimentos aluviales ($P > 0,95$).

Los cambios en CO1m amortiguan las variaciones observadas en CO0-25: no se observan diferencias por uso tanto en los sedimentos recientes ($P > 0,16$) como en los sedimentos loésicos ($P > 0,59$). Al calcular en CO1m contrastes a priori entre los usos donde predomina la agricultura (A y A-G) y aquellos donde hay una mayor proporción de verdes y pasturas (G-A y G), se detectan diferencias significativas a favor de las últimas en los sedimentos loésicos ($P < 0,05$), sin



que se observen diferencias al realizar la misma comparación para sedimentos eólicos recientes ($P > 0,25$). El contraste A y A-G versus F detecta diferencias en ambos materiales a favor de los árboles ($P < 0,01$).

Tabla 3. Comparación de medias de CO1m por Uso del suelo en función de los MP.

Uso del suelo	Sedimentos eólicos recientes	Sedimentos loésicos	Sedimentos aluviales
Agrícola (A)	--	85,9 ± 23,3* a	--
Agrícola-ganadero (A-G)	58,8 ± 16,2 a**	91,7 ± 30,5 a	164,1 ± 15,6 a
Ganadero-agrícola (G-A)	78,4 ± 20,2 b	107,3 ± 33,1 a	--
Ganadero (G)	81,4 ± 4,2 b	105,4 ± 40,9 a	151,6 ± 45,7 a
Forestal (F)	115,3 ± 0,5 c	135,3 ± 46,1 b	--

*: Desvío estándar; **: en las columnas, medias seguidas de distinta letra difieren por test de DMS con $P < 0,05$.

Si consideramos al uso con predominio de pasturas o campo natural (G) como línea base del CO0-25 y un período de 60 años (edad de las masas forestales analizadas), se pueden calcular para los sedimentos eólicos recientes tasas de liberación de 0,2 y 0,3 Mg ha⁻¹año⁻¹ de CO al cambiar el uso a G-A y A-G respectivamente. El cambio de G a F permite obtener una ganancia de 0,52 Mg ha⁻¹año⁻¹ de CO. En los sedimentos loésicos el pasaje de G a G-A, A-G y A produce tasas de liberación de 0,06; 0,09 y 0,15 Mg ha⁻¹año⁻¹ de CO, respectivamente. Si el cambio fuera de G a F puede alcanzarse una retención de 0,43 Mg ha⁻¹año⁻¹. Los sedimentos eólicos recientes liberan CO a una tasa 3 veces mayor a los sedimentos loésicos por intensificación del uso, mientras que la retención en F es un 20 % superior.

En CO1m la tendencia es similar: tomando como línea de base a G, los valores de referencia se ubican en 81 y 106 Mg ha⁻¹ para sedimentos eólicos recientes y sedimentos loésicos. La forestación aumenta el almacenamiento en 35 Mg ha⁻¹ para los primeros y en 30 Mg ha⁻¹ en loess, indicando una capacidad de secuestro de 0,58 y 0,5 Mg ha⁻¹año⁻¹. Asimismo, las reducciones de los niveles de base en A y AG son en promedio de 21 y 17 Mg ha⁻¹ para sedimentos recientes y loésicos, estableciendo tasas de liberación de CO que alcanzan a 0,35 y 0,28 Mg ha⁻¹. Al comparar el stock de CO1m en suelos de la región pampeana, Berhongaray & Alvarez (2010) informan contenidos de 131, 90 y 86 Mg ha⁻¹ de COS para uso forestal, ganadero y agrícola, similares a los observados en el presente estudio (niveles de 135, 105 y 85 Mg ha⁻¹, respectivamente). El uso forestal de la tierra es el único que modifica el contenido de CO almacenado en un metro de profundidad. El efecto se manifiesta principalmente en los primeros 25 cm. Riestra et al. (2012) han informado una tendencia similar en los 12 cm superficiales del suelo, con aumentos marcados de CO bajo uso Forestal respecto a la agricultura.

Cambios en la distribución vertical del carbono orgánico por el uso de la tierra

Para establecer la influencia del Uso sobre la distribución vertical del COS se han seleccionado 2 pedones por uso agrícola, ganadero y forestal, todos generados a partir de sedimentos loésicos (Figura 1). El uso forestal presenta una alta acumulación en los 25 cm superficiales, alcanzando los 112 Mg ha⁻¹, mientras que el uso ganadero presenta 78 y el agrícola llega a 48 Mg ha⁻¹. Esto indica un incremento del 44 y 133 % del CO0-25 para usos forestales respecto a ganadero u agrícola, respectivamente. En un estudio global de perfiles de suelos para un rango de precipitaciones de 500 a 1000 mm año⁻¹, Jobbágy y Jackson (2000) observaron que el uso forestal presenta mayor retención de COS que las pasturas y éstas que los arbustos, en los 20 cm superficiales del suelo.

La distribución vertical presenta niveles bajos de COS con poca variabilidad en el uso agrícola (41 a 16 Mg ha⁻¹). El uso ganadero tiene niveles medios a altos de COS con acumulación subsuperficial y decrecimiento en profundidad (92 a 22 Mg ha⁻¹). Los mayores niveles de acumulación con marcada asimetría se producen bajo el uso Forestal (117 a 4 Mg ha⁻¹). Resultados similares son informados por Jobbágy & Jackson (2000), quienes indican que el tipo de vegetación altera la distribución vertical del COS, siendo más profunda y homogénea en arbustos, intermedia en praderas y con gran acumulación superficial bajo árboles.

La mayor acumulación de CO en los horizontes A bajo uso forestal y la drástica reducción del carbono en subsuperficie podría relacionarse a la morfología de los pedones, con sucesión A-Bt-BC-C. La misma sucesión se presenta en los perfiles con uso agrícola (clasificados como Argiudoles típicos franco finos), que a partir de los 30 cm se estabilizan en niveles de 20 Mg ha⁻¹ de CO. Asimismo, el uso ganadero exhibe mayores niveles de retención en profundidad, asociado al efecto de crecimiento radicular continuo de las gramíneas nativas en perfiles morfológicamente favorables (A-AC-C) y con epipedones mólicos engrosados (Hapludoles páquicos franco finos). Los valores de CO presentan un decrecimiento regular con la profundidad. Si se considera el uso ganadero (pastizal natural) como la

condición de referencia, el uso agrícola muestra una reducción en el almacenamiento de CO, mientras que el forestal favorece la acumulación. Las mayores diferencias se observan hasta una profundidad de 0,5 m. El comportamiento de la reducción del CO con la profundidad bajo los distintos usos puede ser ajustado a modelos exponenciales negativos. Este tipo de ajuste, junto con logarítmicos y/o polinomiales son frecuentemente utilizados para estudiar la acumulación y distribución del CO en profundidad (Jobbágy & Jackson, 2000; Berhongaray & Alvarez, 2010). Los modelos de regresión muestran que el valor de 6 g kg^{-1} de CO se alcanza a profundidades de 0,5, 0,8 y 0,4 m para los Usos agrícola, ganadero y forestal, respectivamente. La forma de compartimentalización del CO con la profundidad es asimétrica y poco estable bajo árboles implantados, debido a la existencia de elevadas cantidades de carbono en la zona que puede ser rápidamente intervenida por el hombre (0-30 cm). Los pastizales permiten almacenar el CO en profundidades con menor riesgo de ser alteradas por labranzas, y por lo tanto, de compartimentalización más estable.

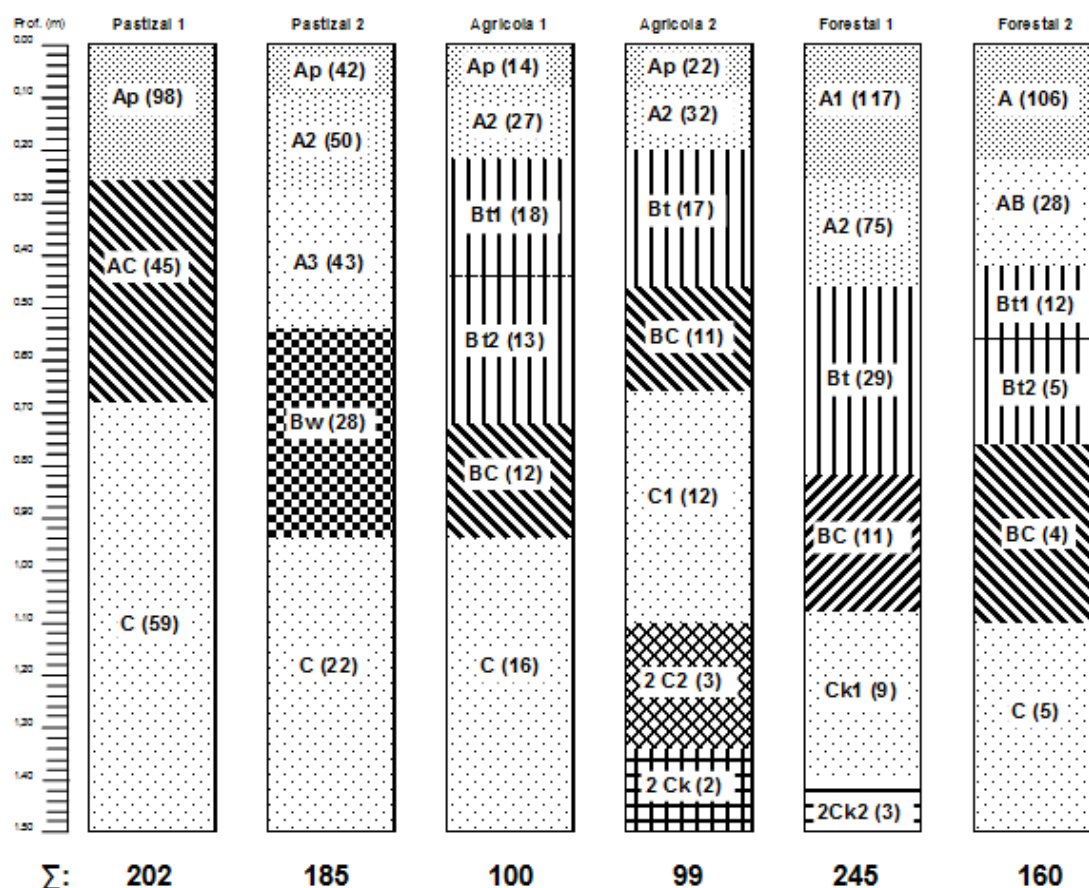


Figura 1: Distribución de COS en función de horizontes morfológicos y uso de la tierra. Entre paréntesis figura la retención de CO en Mg ha^{-1} por horizonte. Σ : sumatoria de CO en 1,5 m

CONCLUSIONES

Se han detectado diferencias en el carbono orgánico almacenado por efecto de los materiales parentales ($P < 0,01$). Los suelos evolucionados a partir de sedimentos aluviales alcanzaron valores de 193 Mg ha^{-1} de COS, superando en un 80 y 153% a los sedimentos loésicos y sedimentos eólicos recientes. Los sedimentos loésicos presentaron un valor de COS superior en un 40% a los sedimentos eólicos recientes.

Dentro de un mismo material parental, se han detectado efectos por el uso en los primeros 25 cm del perfil. En suelos que presentan como MP a sedimentos eólicos recientes se midieron niveles de 33 y 39 Mg ha^{-1} en CO0-25 para A-G y G-A, presentando diferencias con los 51 y 83 Mg ha^{-1} obtenidos para G y F, respectivamente ($P < 0,05$). En sedimentos loésicos F logró un nivel de 86 Mg ha^{-1} , superando en un 40% a los almacenamientos de G, GA, AG y A ($P < 0,05$). En los sedimentos aluviales no se apreciaron cambios al comparar los usos A-G versus G ($P > 0,84$). En CO1m se han detectado diferencias entre A-G y F para los sedimentos eólicos recientes, así como entre F y el resto de los



tratamientos en los sedimentos loésicos ($P < 0,05$). Los valores observados indican que $F > G > A$ con valores de 115, 81 y 69 Mg ha^{-1} para sedimentos eólicos recientes y 135, 105 y 89 Mg ha^{-1} para sedimentos loésicos.

El Uso ejerce una marcada influencia en la distribución vertical del COS. F ha presentado una alta acumulación en 0-25 cm con incrementos del 44 y 133% respecto a A y G, respectivamente. La distribución vertical muestra bajos niveles de COS con poca variabilidad en A, mientras que en G presentó acumulación subsuperficial y decrecimiento leve. F exhibe los mayores niveles de acumulación y marcada asimetría (117 a 4 Mg ha^{-1}). La forma de compartimentalización del CO con la profundidad es asimétrica y poco estable bajo árboles implantados, debido a que presenta elevadas cantidades de C en la zona que puede ser rápidamente intervenida por el hombre. Los pastizales permiten almacenar el CO en profundidades mayores de compartimentalización estable.

AGRADECIMIENTOS

A la Mag. E. Schmidt por su atenta lectura. A la SeGCyT- UNS por aportar fondos para la investigación a través del PGIUNS N° 24/A222 (2016-2019)

BIBLIOGRAFÍA

- Amiotti, N & O Bravo (ex-aequo). 2010. Análisis multiescalar de la relación Pedogénesis-Productividad en suelos de la Pampa Austral. En Actas XXII CACS. Rosario, Santa Fe.
- Batjes, NH. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European J. Soil Sci.* (47): 151-163.
- Berhongaray, G & R Alvarez. 2010. Modelización de los contenidos de carbono de los suelos pampeanos según el tipo de uso y vegetación. Actas XXII CACS, Santa Fe.
- Bilenca, D & F Miñarro. 2004. Identificación de Áreas Valiosas de Pastizal (AVPs) en las Pampas y Campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil. Fundación Vida Silvestre. Argentina. 353 págs.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk Density. In: *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods*. A. Klute editor. Agron. Mon. N° 9 (2nd ed.). 363-375.
- Bravo, O. 2013. Factores y procesos pedogenéticos que regulan el almacenamiento de carbono en suelos de la Pampa Austral. Tesis Doctoral, Dpto. de Agronomía, UNS. Bahía Blanca (BA), Argentina. 148 p.
- Cabrera, AL. 1971 Fitogeografía de la República Argentina. *Bol. Soc. Argentina de Botánica* 14: 1-42.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada; & CWRobledo. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Jobbágy, EG & RB Jackson. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecol. Appl.*, 10(2): 423-436.
- Miglierina, AM; JO Iglesias; MR Landriscini; JA Galantini & RA Rosell. 2000. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. 1: Soil physical and chemical properties. *Soil & Till. Res.*, (53): 129-135.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbiological properties*. A L Page, R H Miller and D R Keeny (Editors), ASA and SSSA, Madison, WI. 539-579.
- Riestra, D; E Noellemeyer & A Quiroga. 2012. Soil texture and forest species condition the effect of afforestation on soil quality parameters. *Soil Sci.* (177): 279-287.
- Saxton, KE; WJ Rawls; JS Romberger & RI Papendick. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (50): 1031-1036.
- Soil Survey Staff, 1993. *Soil Survey Manual. Handbook N° 18*. USDA. 437 pp.
- Soil Survey Staff, 1999. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 2nd ed. Agric. Handbook N° 436. USDA. 869 pp.
- Soriano, AR; JC León; OE Sala; RS Lavado; VA Deregibus; MA Cahuepé; OA Scaglia; CA Velazquez & JH Lemcoff. 1992. Río de la Plata grasslands. In: Coupland, R.T. (ed.). *Ecosystems of the world 8A. Natural grasslands*. Pp. 367-407. Elsevier, New York.
- Viglizzo, EF; FC Frank & L Carreño. 2006. Situación ambiental en las ecoregiones Pampa y Campos y Malezas. En: *Situación ambiental Argentina 2005*. A D Brown, U Martinez-Ortiz, M Acerbi, & J Corcuera Editores. Fundación Vida Silvestre, Buenos Aires, Argentina. 263-273.



C5P6. INDICE DE DESARROLLO DEL PERFIL EN ARGIUDOLES DE LA REGION PAMPEANA

Bravo, Oscar

Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. San Andrés 800 (8000), Bahía Blanca. Buenos Aires, Argentina.
obravo@uns.edu.ar

RESUMEN

En los estudios de calidad de suelos se seleccionan atributos del horizonte superficial que sean sensibles a diferentes usos, labranzas y rotaciones. Este tipo de análisis deja de lado la morfología y características evolutivas que pueden correlacionarse con los factores ambientales y productividad de los cultivos. Los índices de desarrollo permiten reflejar el grado de organización pedológica en el perfil del suelo, con relación directa a los rendimientos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el grado de evolución de suelos desarrollados en una climo-secuencia de la región pampeana, a través del cálculo de índices de desarrollo del perfil (IDP). La validación de estos índices se realizó en función de la precipitación media anual (PMA) y de la productividad del cultivo de trigo. La experiencia se desarrolló en suelos de la pampa ondulada y pampa austral. Se realizaron cálculos del índice de desarrollo combinado (IDPC) el cual incluye propiedades morfológicas y químicas, así como del índice de desarrollo morfológico (IDPM), que toma en cuenta solo datos obtenidos de la descripción morfológica. Los materiales parentales correspondieron a sedimentos loessicos, con texturas francas a franco arcillosa, con identificaron de epipedones molicos sobre endopedones argílicos y petrocálcicos a profundidades variables. El IDPC muestra alta correlación con la profundidad efectiva ($r^2= 0,88$, $P< 0,01$). El IDP corregido por profundidad muestra correlación significativa con la PMA ($r^2= 0,84$, $P< 0,05$). Asimismo, la evolución de los suelos se refleja claramente en la productividad, con valores de $r^2= 0,88$ ($P< 0,01$) entre rendimiento de trigo-IDP, con mejor comportamiento que el índice de productividad ($r^2= 0,64$, $P>0,40$). El IDPM fue adecuado para establecer diferencias en la evolución de los suelos, diferencias entre horizontes de un mismo suelo y respuestas en la productividad, con la ventaja de utilizar solamente rasgos morfológicos descriptos a campo.

Palabras clave: Índice de desarrollo del perfil, propiedades morfológicas, productividad.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad de los rendimientos de los cultivos puede ser explicada por modificaciones en el ambiente edáfico en interacción con variables climáticas y de manejo. Entre los aspectos a considerar se encuentran el tipo de suelo, sus propiedades físicas-químicas y la posición en el terreno (Kravchenko & Bullock, 2000). Para asegurar la sustentabilidad del sistema productivo es necesario utilizar un paquete tecnológico ajustado a cada situación, en base a las variaciones de suelo y clima que presentan los diferentes ambientes. Dichas variaciones pueden cuantificarse mediante el uso de índices. Los índices son el resultado de combinaciones de distintas propiedades y son utilizados para resumir información compleja sobre un fenómeno a estudiar con el objeto de detectar rápidamente cambios dentro de un sistema. Para los estudios de calidad de suelos se deben seleccionar atributos que sean sensibles a cambios de usos de la tierra, a las rotaciones y al manejo. Muchos de los parámetros biológicos y físicos están fuertemente influenciados por el contenido de materia orgánica la cual es una de las propiedades más afectada por las condiciones de manejo. La materia orgánica particulada, el carbono orgánico total, el nitrógeno potencialmente mineralizable y la biomasa microbiana son atributos sensibles a los cambios de uso en los agrosistemas (Needelman *et al.*, 1999). Uno de los problemas de estos índices de calidad es que quedan circunscriptos a los primeros decímetros del suelo. Es factible así encontrar diferencias entre ambientes que luego no se repiten en la productividad de cultivos, al no considerar la totalidad del perfil edáfico explorado por las raíces. El índice de productividad (IP) de Riquier *et al.* (1970) es un método paramétrico que supera dicha falencia al combinar la condición climática con variables edáficas superficiales y subsuperficiales permitiendo expresar la productividad potencial de los cultivos. El grado de desarrollo del perfil del suelo se utiliza como una medida cualitativa de la cantidad de cambios edafológicos que han tenido lugar en el material parental. Se ha utilizado en la estratigrafía del Cuaternario, donde los suelos se utilizan para correlacionar los depósitos no consolidados. Harden (1982) propone un índice que cuantifique el grado de desarrollo del perfil de suelo (IDP), tomando como referencia el material parental y calculando la diferencia en el desarrollo de propiedades morfológicas y químicas. El objetivo del presente estudio fue evaluar el grado de evolución de suelos de la región pampeana desarrollados sobre sedimentos loessicos situados en un gradiente de precipitación húmedo-subhúmedo. El grado de evolución se determinará a través de índices



que incluyen parámetros morfológicos (IDPM) y químicos del suelo (IDPC) que reflejan los procesos de edafogénesis. La confiabilidad de dichos índices se relacionara a la productividad del cultivo de trigo y la precipitación media anual de cada sitio analizado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo sobre 6 perfiles de suelos situados en la Región Pampeana, la cual se encuentra ubicada entre los 30 y 39° de latitud sur y 57 a 64° de longitud oeste. Presenta un relieve llano a ligeramente ondulado que es interrumpido por dos sistemas serranos: de Tandilia y de Ventania. Los perfiles estudiados pertenecen a las localidades de Fuentes (provincia de Santa Fe) y Tandil, La Dulce, Tres Arroyos, Coronel Suarez y Coronel Dorrego (Buenos Aires). El resto pertenecen al SO y SE de la Provincia de Buenos Aires, subregión pampa austral. Los suelos comparados presentan rotaciones agrícolas con distintas intensidades: Fuentes tiene un uso con predominio de soja de más de 25 años, con siembra ocasional de cultivos de maíz. El perfil de Tres Arroyos presenta una rotación trigo-verdeos invernales -girasol mayor a 20 años. El perfil de Dorrego presenta 10 cultivos de cosecha en nueve años, con una rotación girasol-trigo- soja cebada. El suelo de Tandil muestra en los últimos 10 años una rotación trigo-cebada-maíz. El lote de La Dulce se dedica a producción de semilla de trigo desde hace 15 años, con rotación trigo-trigo- natural-trigo-avena+vicia. El lote de Coronel Suarez tiene como rotación trigo-trigo-natural-maíz-avena en los últimos 20 años. En cada situación analizada se realizó la apertura de calicatas y descripción de los factores de sitio (Schoeneberger *et al.*, 2012) y de las características morfológicas de los perfiles de suelos, según las normas de Soil Survey Manual (USDA, 1993). De cada horizonte se tomaron muestras para su caracterización física y química, que fueron secadas al aire y tamizadas por una malla de 2 mm. Las determinaciones de laboratorio incluyeron: pH en suspensión suelo: agua en una proporción 1:2,5 (método potenciométrico), materia orgánica total (Walkey y Black), nitrógeno total (Kjeldhal), fósforo total (Bray y Kurtz N° 1) y textura (método de la pipeta de Robinson), separando arena (2000 a 50 μm), limo (50-2 μm) y arcilla (<2 μm), asignando la clase textural a cada muestra (Schoeneberger *et al.*, 2002). Los suelos fueron clasificados a nivel de familia por Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014). Para el cálculo del índice de evolución edáfica se utiliza la metodología propuesto por Harden (1982). Los índices calculados son: índice de rubefacción, de melanización, textura total, de consistencia en seco, índice de consistencia en húmedo, presencia de barnices, desarrollo de estructura, por pH, índice por materia orgánica, índice por fósforo total e índice por nitrógeno total. Asimismo para cada perfil del suelo se calculó el índice de productividad según la metodología de Riquier (FAO, 1970). El análisis estadístico incluyó la realización de correlaciones simples entre los índices calculados, la PMA y los valores de rendimiento de trigo obtenidos por consultas a informantes calificados (nivel de significación $P < 0.05$), definiendo el adecuado ajuste de los modelos por el estudio de residuales (Di Rienzo *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características generales de los perfiles analizados

Los seis perfiles analizados se disponen en un gradiente climático que va desde Fuentes con una precipitación media anual de 980 mm y continúa en las localidades de Tandil, La Dulce, Tres Arroyos, Coronel Suarez y Coronel Dorrego con PMA de 800, 870, 760, 800 y 710 mm año⁻¹, respectivamente. Todos los perfiles estudiados se desarrollaron a partir de sedimentos loessicos, con presencia de horizontes Bt y con marcados cambios en la profundidad efectiva (PE) por efecto del horizonte petrocálcico. El primero de los perfiles (Fuentes) se encuentra en la subregión pampa ondulada y se clasifica como Argiudol vértico, franco fino, térmico. El resto se ubica en la pampa austral y se clasifican como Argiudol petrocálcico, franco fino, térmico (Tandil, La Dulce, Coronel Suarez y Coronel Dorrego) y Argiudol petrocálcico, franco fino, térmico, somero (Tres Arroyos).

Características de los horizontes de referencia

En la Tabla 1 se presentan las características de los horizontes menos alterados. Los materiales presentan colores que oscilan entre pardo amarillento, pardo grisáceo y pardo, con estructura en bloques sub-angulares débiles a moderados en cinco de los seis casos analizados. Los contenidos de limo oscilan de 357 a 721 g kg⁻¹ y los niveles de arcilla entre 74 y 332 g kg⁻¹, con clases texturales de franca a franco arcillosa. Este nivel de dispersión es común en los sedimentos loessoides, que son definidos como loess primarios retrabajados por distintos agentes (fluvial, eólico) y con distintos períodos de depositación (discordancia temporal con horizontes cálcicos o petrocálcicos heredados). En tres de los seis casos analizados se utiliza el horizonte BC como referencia, ya que el horizonte infrayacente (2 Ck) es más antiguo. En el caso de Tres Arroyos se utilizó el horizonte que se ubica inmediatamente por debajo del Bt. En la Tabla 2 se presentan los

valores de IDP, así como la PE y PMA de los suelos bajo estudio. Los IDPC calculados muestran una amplia variabilidad, con valores bajos para Tres Arroyos, La Dulce y Cnel. Dorrego y altos para Tandil y Fuentes. Este mayor desarrollo pedogenético no estaría en concordancia con la ecuación universal de formación de suelos, dado que las condiciones de material parental, relieve, organismos y tiempo son relativamente homogéneas. El gradiente climático de los perfiles analizados no podría explicar una diferencia de magnitud 4 entre valores extremos de IDPC. En la Figura 1 se presenta la relación entre IDP y PE de los suelos, con una elevada correlación entre ambos ($r^2 = 0,88$, $P < 0,01$). Queda claramente expuesto que es necesario corregir el IDPC en función de la PE para realizar una correcta comparación de los suelos analizados. Los IDP corregidos a 1m (columna 3 de la Tabla 2) presentan menores variaciones, con un rango máximo de diferencia entre los perfiles de Fuentes y Cnel. Suarez.

Tabla 1: Características de los horizontes de referencia.

Local	Hte	CH	CS	E	Ar	lim	arc	MO	PT
Fuentes	C	10 YR 5/2	10 YR 5/3	Blsa fi de	172	721	107	1,6	148
Tandil	BC	10 YR 4/4	10 YR 5/4	Blsa fi mo	421	388	191	4,0	201
Dulce	C	10 YR 4/3	10 YR 5/4	Blsa fi mo	251	670	79	4,3	322
3 Arroyos	2Ck	10 YR 5/2	10 YR 5/3	Masivo	311	357	332	7,0	349
Suarez	BC	10 YR 4/2	10 YR 5/3	Blsa fi mo	370	449	181	4,0	456
Dorrego	BC	10 YR 3/3	10 YR 4/4	Blsa me de	508	418	74	3,8	384

Tabla 2: IPD, PE y PMA de los perfiles bajo estudio.

Localidad	IDPC*	PE** (cm)	IDP corr.† a 1m	IP %††	PMA‡ (mm año ⁻¹)	Rinde trigo Mg ha ⁻¹)
Fuentes	41,7	151	27,6	76	980	4,5
Tandil	37,2	136	27,3	81	910	5,0
La Dulce	21,5	85	25,3	68	870	3,5
Tres Arroyos	11,0	50	22,0	32	760	2,5
Cnel. Suárez	25,2	130	19,5	85	800	4,0
Cnel. Dorrego	19,3	88	21,9	68	710	3,0

*: Índice de Desarrollo del Perfil; **: Profundidad Efectiva; †: IDP corregido a 1 m; ††: Índice de Productividad en %; ‡: Precipitación media anual

Para establecer la relación entre desarrollo del perfil y el gradiente climático se ha graficado la relación entre IDP corregido a 1 metro de profundidad y la PMA (Figura 2). Se aprecia que a precipitaciones menores a 800 mm año⁻¹ el IDP corregido no presenta respuesta. A partir de este valor el IDP corregido responde linealmente al aumento de precipitación.

Los valores de IDP presentan un alto coeficiente de determinación ($r^2 = 0,88$, $P < 0,05$) con los rendimientos medios de trigo, pudiendo dicha variable utilizarse como adecuado predictor de rendimientos potenciales (Figura 3). Otro índice de amplia aceptación como lo es el IP, pese a presentar una tendencia positiva, no presenta relación estadística con los rendimientos en los perfiles bajo estudio ($P > 0,40$).

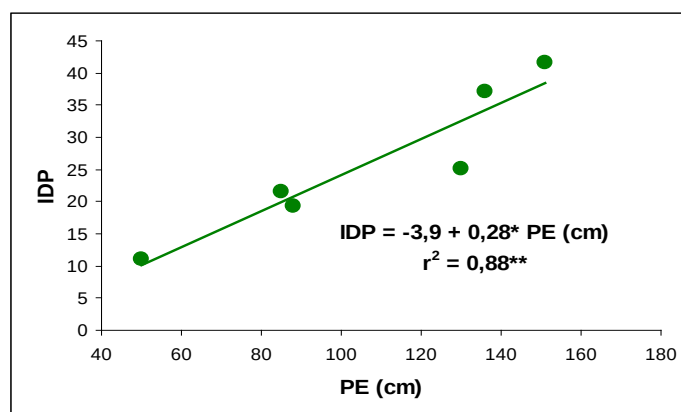


Figura 1: Relación entre IDPC y PE.

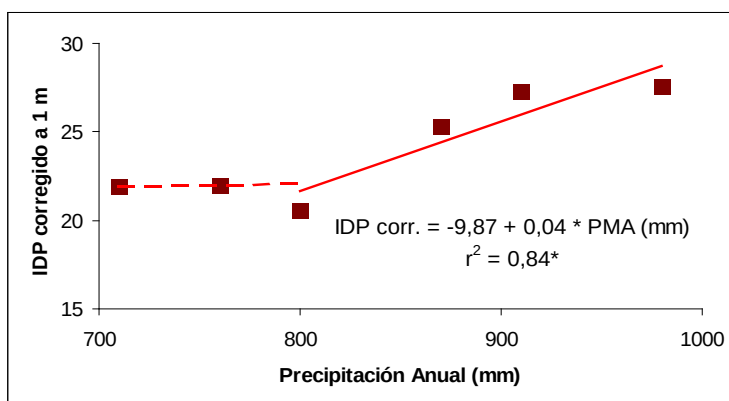


Figura 2: Relación IDP corregido-PMA

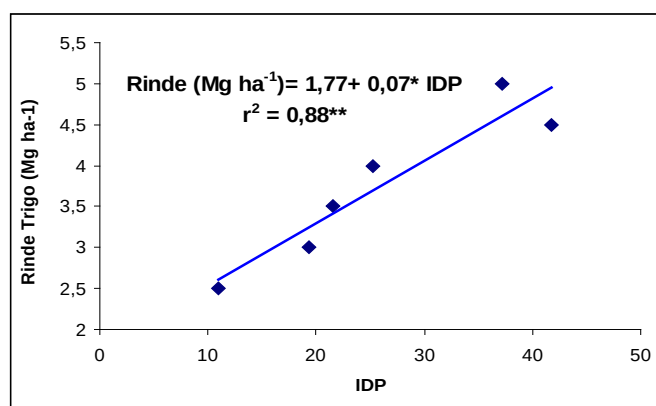


Figura 3: Relación IDP corregido-PMA

Comparación entre IDPC e IDPM

La metodología para el cálculo del IDPC considera características morfológicas, físicas y químicas de los horizontes de cada perfil, considerando que cuanto mayor sea el número de variables, más exacto será el valor del índice. En el presente trabajo se realizó el cálculo del mismo incorporando a las características surgidas de la descripción del perfil análisis químicos de pH, P total, N total y MO. En este punto queremos establecer que diferencias se producen si consideramos en el cálculo del índice variables morfológicas (índice de desarrollo morfológico del perfil, IDPM), ya que esta técnica sería una forma de valoración a campo, más rápida y económica. En la Tabla 3 se presentan el IDP y el IDPM.

Tabla 3: Valores de IDPC e IDPM.

Localidad	IDPC*	IDPM**
Fuentes	41,7	52,4
Tandil	37,2	46,7
La Dulce	21,5	23,1
Tres Arroyos	11,0	8,96
Cnel. Suárez	25,2	28,1
Cnel. Dorrego	19,3	21,7



Los valores de IDMP crecen en 5 de los 6 casos comparados, con la excepción del perfil más somero (Tres Arroyos), donde los índices químicos tienen mayor peso relativo en los valores de IDPC. Existe una estrecha correlación entre IDPC e IDPM ($r^2 = 0,997$, $P < 0,01$), expresando que el IDP puede predecirse adecuadamente a partir de los parámetros surgidos de la descripción del suelo. El contar con esta información de manera rápida y económica puede facilitar la toma de decisiones una vez finalizada la descripción del perfil.

CONCLUSIONES

Se ha calculado el IDP en seis perfiles desarrollados sobre sedimentos loessicos en un gradiente climático de 710-980 mm de PMA. Los horizontes utilizados como referencia presentaron colores pardos amarillentos a pardo, estructura en bloques sub-angulares débiles y clases texturales franca a franco arcillosa. La morfología de los perfiles analizados es común en cuanto a una sucesión de epipedón mólico (Ap-A2/Ad) sobre argílico (Bt) con marcados cambios en la profundidad efectiva por presencia del horizonte petrocálcico. Los valores de IDPC mostraron una alta variabilidad (41.7 a 11), que no puede ser explicado por los procesos pedogenéticos ni por el gradiente de precipitación. El IDPC presenta una estrecha relación con la profundidad efectiva ($r^2 = 0,88$, $P < 0,01$), siendo necesaria la corrección por profundidad del suelo para realizar una correcta comparación. Los índices corregidos a 1m presentaron un adecuado comportamiento. La relación entre desarrollo del perfil y el gradiente climático es positiva, sin respuesta de los IDP corregidos hasta los 800 mm año⁻¹ y con incrementos lineales a partir de dicho límite ($r^2 = 0,84$, $P < 0,05$). Los valores de IDPC presentaron un alto coeficiente de determinación con el rendimiento de trigo ($r^2 = 0,88$, $P < 0,01$), pudiendo utilizarse el IDPC para predecir los rendimientos. Otro índice de amplia aceptación como el IP no presentó relación estadística ($P > 0,40$). Los IDPM son tan eficientes como los IDPC para mostrar diferencias de evolución entre perfiles, diferencias de evolución en los horizontes de un perfil y en la predicción del rendimiento, con la ventaja de utilizar solamente rasgos morfológicos descriptos a campo que reflejan procesos de formación de suelo.

AGRADECIMIENTOS

A la SeGCyT- UNS por aportar fondos para la investigación a través del PGIUNS N° 24/A222 (2016-2019)

BIBLIOGRAFÍA

- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada; & CWRobledo. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Harden, WJ. 1982. A quantitative index of soil development from field descriptions: Examples from a chronosequence in central California. *Geoderma* 28(1):1-28.
- Kravchenko, AN & DG Bullock. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agron. J.* 92:75-83.
- 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.
- Riquier, J; DL Bramao & JP Cornet. 1970. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity. Paper AGL: TESR/70/6, December, 38 pp. FAO.
- Schoeneberger, PJ; DA Wysocki; E.C. Benham & Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Soil Survey Staff, 1993. Soil Survey Manual. Handbook N° 18. USDA. 437 pp.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.



C5P7. FACTOR CLIMÁTICO PARA PREDICCIÓN DE EROSIÓN EÓLICA EN LA PROVINCIA DEL CHACO

Goytía, Silvia Y. y Rojas, Julieta M.

EEA Sáenz Peña, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. goytia.yanina@inta.gob.ar

RESUMEN

La erosión eólica afecta a suelos de regiones semiáridas y subhúmedas de la Argentina, tanto por causa de sus características genéticas y afectadas por el uso del suelo como por variaciones climáticas representadas por eventos extremos de viento, temperaturas y precipitaciones. Se ha demostrado que existe mayor emisión de partículas provenientes de la erosión eólica en el aire con baja humedad relativa (menor a 20%), alta temperatura del aire (mayor a 30 °C) y alta velocidad de viento (28,8 km.h⁻¹). En la provincia del Chaco se realizan desde 2008 mediciones de fracción erosionable por el viento (% de agregados menores a 0,84 mm tomados de los 2,5 cm superficiales del suelo), con el objetivo de ajustar una ecuación de predicción que define la susceptibilidad a la erosión eólica y generar mapas de riesgo de erosión potencial. Sin embargo para la elaboración de cartografía es necesario calcular el factor climático (Factor C), un índice de erosividad que puede calcularse para cualquier localidad en base a información climática de largo plazo y expresado en % del factor C de Garden City, Kansas al cual se le ha asignado un valor de 100. El Factor C representa la influencia de la velocidad del viento y la humedad relativa en la ecuación matemática de la erosión eólica, cálculo que está supeditado a la cantidad y calidad de la información meteorológica disponible. En Chaco se dispone de cinco estaciones meteorológicas en las ciudades de Resistencia, Colonia Benítez, Sáenz Peña, Las Breñas, y Los Frentones. Las mismas son de diferentes características, ya que dos de ellas son meteorológicas (Servicio Meteorológico Nacional) y tres son agrometeorológicas (EEA INTA Sáenz Peña, EEA INTA Las Breñas, Estación Meteorológica Los Frentones). El objetivo de este trabajo fue calcular el Factor C con los datos disponibles para el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica (SIG) basado en un modelo de predicción eólica para la provincia del Chaco. Se utilizaron datos de velocidad media del viento expresados en metros por segundo tomados a 2 metros de altura y promedios mensuales de precipitaciones. La serie de datos de las cinco estaciones meteorológicas para el período 1982-2016 arrojó valores de Factor C entre 0,02 a 5,29% alcanzando los máximos valores en aquellos sitios donde la precipitación fue escasa y la velocidad del viento superior al promedio. La variación del Factor C estuvo afectada por la serie de datos climáticos utilizada ya que la frecuencia y cantidad de datos varió notablemente entre estaciones meteorológicas. En Chaco la isohieta disminuye de este (1.500 mm anuales) a oeste (800 mm anuales). El bajo número de estaciones meteorológicas y la variabilidad climática dentro de la provincia no sólo generó datos insuficientes para un cálculo preciso sino que hizo difícil uniformar la información disponible en un único Factor. A raíz de estos cálculos se concluye que para determinar el factor de erosividad por viento para una región deben contemplarse las diferencias climáticas, incluso dentro de la misma provincia y representarse estas diferencias en la cartografía.

Palabras clave: Factor C, cartografía de riesgo, región chaqueña



C5P8. PERMEABILIDAD EN HORIZONTES CON LAMELAS

López, J.¹, Degioanni, A.¹ y Becerra, M.A.^{1,2}

¹Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ex-ruta 36 Km 601. Río Cuarto, Argentina.

²Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Ing. Agr. Félix Aldo Marrone 746. Córdoba, Argentina.

adegioanni@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

Según la Taxonomía de Suelos una lamela es un horizonte iluvial, menor de 7,5 cm de espesor y que contiene más arcilla silicatada que el horizonte eluvial suprayacente. La arcilla acumulada en la lamela se dispone orientada sobre o uniendo granos de arena y el limo. Por lo general, estas formaciones morfológicas se encuentran en suelos con materiales sedimentarios de granulometría arenosa y con predominio de la fracción fina. En el sur de la provincia de Córdoba el Gran grupo de suelos más importante por su distribución geográfica, es el Haplustol, de textura franca arenosa a arena franca. En estos suelos se han comenzado a observar presencia de lamelas generalmente en la base del horizonte A (20 cm aproximadamente) de las que no hay registros en la cartografía publicada. Estas lamelas se presentan en forma de bandas continuas o discontinuas de 0,5 a 2 mm de espesor y de color oscuro. La mayoría de los estudios sobre lamelas hacen hincapié en su génesis aunque los datos sobre tasas de formación y variabilidad espacial son escasos o inexistentes para nuestro país. Por otra parte, si bien existen antecedentes sobre la discontinuidad de poros en la parte superior de la lamela que podría reducir la conductividad hidráulica, no existen experiencias sobre el impacto que pueden tener estas estructuras morfológicas sobre la permeabilidad. En tal sentido se realizó un ensayo de conductividad hidráulica saturada en porciones de horizonte A y AC de un Haplustol con presencia de lamelas (33°19'S; 64°34'O). Con cilindros de 7,7 cm de diámetro y 8,5 cm de altura se extrajeron muestras alteradas: 6 de la parte superior a la lamela, 6 conteniendo a la lamela y 6 de la parte inferior a la lamela. Se procedió a medir la K_s a través de un permeámetro de carga constante. Para el cálculo de la conductividad hidráulica se midió el volumen de agua percolado por unidad de área a través de un tiempo. Los datos obtenidos se sometieron a un ANAVA con Infostat. Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras de la parte superior e inferior de la lamela (K_s promedio = 2,4 cm h⁻¹ y 2,6 cm h⁻¹ respectivamente) en relación con la muestra que contiene la lamela (K_s promedio = 0,86 cm h⁻¹). Esta experiencia demuestra que la permeabilidad del horizonte con la presencia de estas formaciones morfológicas especiales se ve sensiblemente reducida.

Palabras claves: Haplustol, franca arenosa, conductividad hidráulica.



C5P9. MAPEO DIGITAL DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN UN SECTOR DEL DEPARTAMENTO ANTA – SALTA.

Morales, Cecilia; Cáceres Díaz, Raúl O.; Perez Brandán, Carolina; Huidobro, Jorgelina

INTA EEA SALTA – Grupo Recursos Naturales Ruta Nacional 68, km 172 – Cerrillos. Salta. morales.cecilia@inta.gob.ar

RESUMEN

El carbono orgánico del suelo (COS) es considerado como un indicador de la salud del mismo, presentando un efecto positivo en la sostenibilidad del sistema productivo. Influye sobre la mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, afectando la calidad, sustentabilidad y capacidad productiva. Sus niveles de concentración dependen de la estructura y distribución de la vegetación existente, las que a su vez están relacionadas con factores topográficos y geomorfológicos. El análisis de estos factores explica la variabilidad del contenido del COS. El objetivo del presente trabajo es realizar mapas continuos de niveles de COS a 20 cm de profundidad en un sector del departamento Anta. Se trabajó con una base de 70 muestras de suelo geoposicionadas a las que se les estimó los valores de COS. Se utilizaron como factores predictores a las variables morfométricas de la zona. Se aplicó el modelo estadístico *regression kriging* para representar la variabilidad espacial del COS. Los factores con mayor influencia fueron el índice de humedad topográfica, longitud de la pendiente, nivel basal de la red de canales y profundidad de Valle. Los contenidos de COS varían en un rango de 1,38 a 2,5%, permitiendo observar las variaciones existentes dentro de cada lote. El mapa obtenido resulta una herramienta útil para analizar la variabilidad espacial del COS para la planificación del uso y manejo del territorio.

Palabras claves: regresión kriging, variables morfométricas, suelo.

INTRODUCCIÓN

La intensificación de las actividades agrícolas asociadas a inadecuadas técnicas de manejo ha afectado los niveles de COS por lo que resulta de relevancia cuantificar las propiedades edáficas para manejar adecuadamente los suelos bajo producción agrícola (Sainz Rozas *et al.*, 2011).

El COS participa en diversos procesos del ecosistema. Su concentración está relacionada con el aporte de la biomasa y de la tasa de descomposición de la misma, lo que responde a los cambios de humedad, temperatura y acidez del suelo (Bernardeau *et al.*, 2014).

A nivel de lote, la variabilidad de las características edáficas se encuentra relacionadas a la topografía por influir en la dinámica del agua y la distribución de los sedimentos. Esta variabilidad ha sido objeto de numerosas investigaciones científicas, poniendo en evidencia que existe una relación entre sí (Martínez, 1998).

El suelo, generalmente, presenta características similares en lugares próximos y a medida que la distancia se hace mayor las diferencias tienden a incrementarse, poniendo en manifiesto que las características están correlacionadas espacialmente (Abarca, 2010). En los últimos años, se encuentra en auge la aplicación de técnicas de interpolación híbrida que combina dos enfoques conceptualmente diferentes para modelar y mapear la variabilidad espacial (Hengl *et al.*, 2007).

Una de estas técnicas híbridas de interpolación es conocida como “Regression Kriging”, la cual primero utiliza modelos de regresión en información auxiliar, y luego aplica *kriging simple* para interpolar los residuos del modelo de regresión (Hengl *op cit*) llegando a obtener la representación continua de la variable analizada.

Resulta relevante analizar en conjunto la información obtenida de manera discreta a través de datos analíticos con las variables topográficas de la zona, llegando a obtener mapas continuos de las variables en estudio, por lo que el objetivo del presente trabajo es mapear los niveles de COS en los primeros 20 cm de suelo en un sector del departamento Anta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomó como área en estudio a un cuadrante ubicado en el centro del departamento Anta, delimitado por las coordenadas 24° 05' 20" S; 64° 21' 19" W y 24° 54' 31" S; 64° 10' 30" W (Figura 1).



Figura 1: Localización área en estudio

Se colectaron muestras compuestas de suelo a 20 cm de profundidad, en 70 lugares distribuidos en lotes y cortinas forestales (Figura 2), las que se enviaron al Laboratorio de Suelos de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Salta (EEA INTA Salta) para efectuar los análisis químicos de COS. Los niveles de carbono se estimaron siguiendo la metodología propuesta por Walkey & Black (1965).



Figura 2: Muestras de suelo relevadas

A partir del modelo digital de elevación de 5 metros de resolución obtenido del IGN (IGN, 2017) se generaron variables geomorfométricas para describir la topografía de la zona. Este paso se realizó aplicando el software SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) enmarcado en free open source software (FOSS) desarrollado por el departamento de Física de Gottingen, Alemania (Conrad *et al.*, 2015).

Las variables geomorfométricas se determinaron aplicando la herramienta de geoproceto “Basic Terrain Analysis”, definiendo pendiente, aspecto, nivel basal de la red de canales, índice de curvatura, curvatura, longitud de la pendiente, índice multiresolución de fondo de valle y cresta, índice de humedad topográfica e índice de balance de masas.

El área estudiada se ubica en las hojas del IGN 2563-13-1-d, 2563-13-2-c, 2563-13-3-b, 2563-13-4-a; las que se unificaron con el software QGIS (2016) usando la herramienta de geoprocetamiento “mosaic” a fin de obtener un único raster al que se le aplicaron diversos algoritmos para definir las variables geomorfométricas.

Previo a trabajar sobre el modelo de elevación, se efectuó una corrección de valores anómalos aplicando el algoritmo propuesto por Planchon & Darboux (2001). Siguiendo la metodología propuesta por Hengl *et al.*, 2004. Se ajustó el modelo de regresión lineal múltiple entre el COS y las variables geomorfométricas aplicando el software R

Studio (R, 2017). La selección de las variables que influyen en la predicción del comportamiento del COS se efectuó aplicando regresión stepwise.

A partir de este modelo se estimó el valor del COS para cada celda en una grilla de 5 metros, los residuos de los modelos de regresión se interpolaron mediante kriging ordinario. Los valores medios de predicción del COS se estimaron efectuando la suma entre el resultado de la predicción obtenida por el modelo de regresión y la interpolación por kriging de los residuos. Regression-kriging es considerado como uno de los mejores predictores lineales insesgado (Hengl, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se detallan algunos estadísticos descriptivos de las variables edáfica analizada. En la Tabla 2, se muestran las variables seleccionadas por el modelo stepwise para la predicción de los valores de COS a una profundidad de 20 cm del suelo.

Tabla 1: Estadísticas descriptivas de carbono orgánico.

CO	
Min.	:0.790
1st Qu.	:1.340
Median	:1.740
Mean	:1.755
3rd Qu.	:2.100
Max.	:2.720

Tabla 2: Co-variables seleccionadas.

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.931858   1.026550  -1.882  0.06389 .
Topographi    0.040557   0.018480   2.195  0.03142 *
LS.Factor     0.238688   0.043598   5.475 6.07e-07 ***
Channel.Ne     0.006224   0.002180   2.855  0.00561 **
Valley.Dep     0.012529   0.005968   2.099  0.03930 *

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.422 on 72 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3459,    Adjusted R-squared:  0.3096
F-statistic: 9.521 on 4 and 72 DF,  p-value: 3.097e-06
  
```

Las variables que influyen en la predicción son índice de humedad topográfica (Topographi), longitud de la pendiente (LS.factor), nivel basal de la red de canales (Channel.Ne) y profundidad de valle (Valley.Dep).

Al aplicar el modelo de regresión Kriging, se llegó a obtener el comportamiento del COS dentro de la zona analizada (Figura 3).

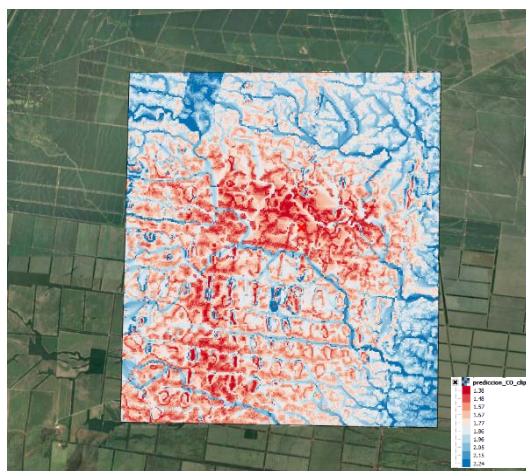


Figura 3: Predicción de COS a 20 cm del suelo.



CONCLUSIONES

Las variables que influyen en la predicción son índice de humedad topográfica (Topographi), longitud de la pendiente (LS.factor), nivel basal de la red de canales (Channel.Ne) y profundidad de valle (Valley.Dep). Variables que influyen en el contenido de humedad en el suelo, el que condiciona la existencia de biomasa terrestre, de manera que resulta lógico ya que los niveles de carbono orgánico están relacionados con la presencia de vegetación.

Un estudio posterior debe incluir variables referentes a cobertura y clima basándose en sensores remotos, ya que ambos también aportan información referente al comportamiento de la variable analizada

El enfoque metodológico planteado, resulta eficiente para realizar una aproximación exploratoria ya que representa el comportamiento de la variable estudiada, a fin de efectuar manejos diferenciales dentro de los lotes, favoreciendo la sostenibilidad y la competitividad de las actividades agropecuarias.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, O. 2010. Desarrollo de un modelo de geoprocesamiento para la valoración productiva y tributaria de tierras agrícolas en Venezuela. Tesis Doctoral. Universidad politécnica de Madrid. ETS de ingenieros en topografía, geodesia y cartografía.
- Bernardeau, A; F Alonso & F Gomariz. 2014. Elaboración de un mapa de carbono orgánico del suelo en la región e Murcia. XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Alicante.
- Black, C; DD Evan & RC Dinauer. 1965. Methods of Soil Analysis, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 653–708.
- Conrad, O; B Bechtel; M Bock; H Dietrich; E Fischer; L Gerlitz; J Wehberg; V Wichmann & J Böhner. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015. <http://www.saga-gis.org/>
- Hengl, T; G Heuvelink & A Stein. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. Geoderma 120 75-93
- Hengl, T; G Heuvelink & D Rossiter. 2007. About regression – kriging: from equations to case studies. Comput. Geosci. 33: 1301-1315.
- Hengl, T. 2009. A practical guide to geostatistical mapping. Hengl, Amsterdam
- IGN, 2017. Modelo Digital de Elevaciones Aerofotogramétrico de Salta (Sector 5.4)
- Martinez, J. 1998. Un análisis de la variabilidad espacial: Aplicación a variables edáficas. Dpto geografía. Universidad de Salamanca
- Planchon, O & F Darboux. 2001. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. Catena 46: 159-176
- QGIS Development Team. 2016. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Sainz Rozas, H; H Echeverría & H Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. Informaciones agronómicas – N° 2.IPNI.



C5P10. CONSIDERACIONES ACERCA DEL ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS SUELOS EN EL NORESTE DE SANTIAGO DEL ESTERO

Moretti, Lucas M.¹; Vizgarra, Lidia A.²; Morrás, Héctor J.M.³; Schulz, Guillermo A.³; Rodríguez, Darío M.³; Paladino, Ileana R.³; Bressan, Emiliano M.³ y Laghi, Joana D.³

¹INTA EEA Cerro Azul. Ruta Nacional N° 14 Km. 836(3313), Cerro Azul, Misiones. Argentina.

²INTA EEA Quimilí. Ruta Provincial N° 6 Km. 9 (3740), Quimilí, Santiago del Estero. Argentina.

³INTA, Instituto de Suelos. Nicolás Repetto y de Los Reseros s/n (1686), Hurlingham, Buenos Aires. Argentina.

moretti.lucas@inta.gob.ar

RESUMEN

Con la finalidad de avanzar en el conocimiento de la génesis y evolución de los suelos en el noreste de Santiago del Estero, se realizan análisis físicos, químicos y mineralógicos en dos perfiles de suelo contrastantes en el ámbito de la cuenca de los Bajos Submeridionales. Consisten en un Haplustoléntico, representativo de la planicie suavemente ondulada y en un Endoacuerite típico, característico de las vías de escurrimiento. El primero, está constituido por un horizonte Ap de textura fina, seguido en discontinuidad litológica por un horizonte transicional y capas sedimentarias de textura variable. Los valores de CIC de la arcilla calculados para los horizontes subsuperficiales resultaron muy elevados, sugiriendo una subestimación del contenido de arcilla por el análisis granulométrico. En este sentido, tanto la observación microscópica, como los valores de humedad equivalente obtenidos, indican también la presencia de pseudo-arenas y pseudo-limos en las fracciones más gruesas. Este hecho, junto con una mayor proporción de minerales interstratificados illita-esmectita (I-E) en profundidad, sugiere que este perfil se ha desarrollado a partir de materiales de suelos retrabajados (pedosedimento), relacionados con la dinámica tectónica y climática ocurrida desde el Pleistoceno en la región. El segundo perfil, caracterizado por una granulometría con tendencia granodecreciente y menor proporción de interstratificados I-E, se habría formado a partir de la acumulación continua de sedimentos fluviales en los cauces. En esta unidad de paisaje prevalecieron los procesos pedogenéticos, dando lugar a la formación de suelos clasificados como Vertisoles con un elevado grado de desarrollo. De esta manera, y si bien es necesario acotar estos eventos en un contexto espacio-temporal más preciso, es posible establecer un modelo preliminar que vincula los ciclos climáticos-tectónicos-sedimentarios con los pedológicos, que nos permite interpretar el patrón de distribución de los suelos para este sector de la provincia de Santiago del Estero.

Palabras claves: Génesis, mineralogía, Bajos Submeridionales

INTRODUCCIÓN

El noreste de la provincia de Santiago del Estero pertenece a la región del “Chaco oriental” (Iriondo, 1993) y comprende el sector distal del mega-abanico del río Salado. Consiste en una extensa planicie caracterizada por su escasa pendiente y la presencia de sedimentos de origen fluvial, lacustre y eólico, cuyo origen está relacionado con la alternancia de períodos secos y fríos, con otros húmedos y más cálidos, ocurridos durante el Cuaternario (Iriondo, 1993; Sayago, 1995). Durante el Pleistoceno, los procesos de aridización que afectaron a la región Chaco-pampeana se acentuaron especialmente durante el Último Máximo Glacial (Estadio Isotópico 2), condiciones bajo las cuales se habrían depositado sedimentos loésicos, cubriendo los suelos y los sedimentos fluviales y lacustres existentes. Posteriormente, durante el período más cálido y húmedo ocurrido en el Holoceno medio (Hypsitermal), se habrían reactivado los procesos de erosión hídrica, afectando tanto a los sedimentos eólicos como a los suelos en éstos desarrollados, quedando actualmente solo relictos de estos últimos en las áreas de interfluvio. A su vez, la dinámica de la erosión hídrica estuvo controlada por los procesos neotectónicos que afectaron a la región. En este sentido, el sistema del río Salado ha sufrido cambios graduales en su dirección de escurrimiento en sentido sur durante el Pleistoceno, desplazamiento vinculado con la avulsión de canales y la aparición de fallamientos longitudinales, denominados chaco-pampeano-bonaerenses (Castellanos, 1968). En el límite de las provincias de Santiago del Estero y Chaco, su curso es interrumpido por los bloques tectónicos elevados de las “Lomadas de Otumpa” (Rossello & Bordampé, 2005), lo que también ha provocado cambios geomorfológicos e hidrológicos en particular (Peri & Rossello, 2010).

Sin embargo, si bien han sido documentados los cambios climáticos, geomorfológicos y neotectónicos en la región chaqueña, la información acerca de su influencia en el tipo y distribución de los suelos es limitada y se encuentra

mayoritariamente concentrada en el norte de la provincia de Santa Fe. Una síntesis sobre los suelos y sus factores de formación en la Dorsal Occidental, en los Bajos Submeridionales y en la Dorsal Oriental de esta provincia fue publicado recientemente (Morrás, 2017a). También, un modelo geopedológico propuesto para la Dorsal Oriental (Morrás, 2017b) sugiere que el levantamiento de la misma ocurrido durante el Pleistoceno Medio habría iniciado un proceso de erosión de la facies superior de la Fm Ituzaingó. Posteriormente, bajo las condiciones áridas del Pleistoceno Superior se habría depositado el loess de la Fm Tezanos Pinto, luego erosionado por la reactivación de cauces fluviales durante el período húmedo del Holoceno Medio con la concurrencia de procesos neotectónicos. En consecuencia fueron exhumados los sedimentos de la facies intermedia de la Fm Ituzaingó, constituyendo el material parental de los suelos actuales.

Para el área aquí considerada y a partir del reconocimiento, clasificación y estudio micromorfológico de diferentes perfiles, también han podido realizarse interpretaciones acerca del origen y distribución de los suelos de la región (Morettiet *al.*, 2017). En este caso, los procesos neotectónicos habrían provocado la erosión de suelos preexistentes y el retrabajo de esos materiales, generando perfiles caracterizados por la presencia de numerosas discontinuidades litológicas.

En esta contribución se avanza en comprensión de la génesis de los suelos en el noreste de Santiago del Estero, para lo cual, se estudia la composición mineralógica y se discuten datos analíticos físicos y químicos en dos perfiles de suelo contrastantes, ubicados en el extremo noroccidental de la cuenca de los Bajos Submeridionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área en estudio

El área en estudio comprende el sector santiagueño de la denominada subcuenca “La Esperanza”, en el borde noroccidental de la cuenca de los Bajos Submeridionales, con una superficie aproximada de 11.000 has (Figura 1). Geomorfológicamente consiste en una llanura suavemente ondulada, limitada en el sector occidental por las Lomadas de Otumpa, levantamiento que trajo como consecuencia la reactivación de las corrientes fluviales a ambos lados de la dorsal. De acuerdo con el mapa de Suelos de la provincia de Santiago del Estero a escala 1:500.000 (Vargas Gil, 1990), los suelos dominantes corresponden a Argiudolesácuicos y Argiustolesúdicos, con drenaje deficiente y erosión hídrica como principales limitantes. No obstante, estudios recientes en el ámbito de la subcuenca, señalaron la presencia de Haplustolesénticos en los sectores planos y suavemente ondulados, mientras que acotados a los sectores bajos y en las vías de escurrimiento se identificaron Vertisoles, orden taxonómico no documentado hasta el momento en la cartografía disponible (Morettiet *al.*, 2017).

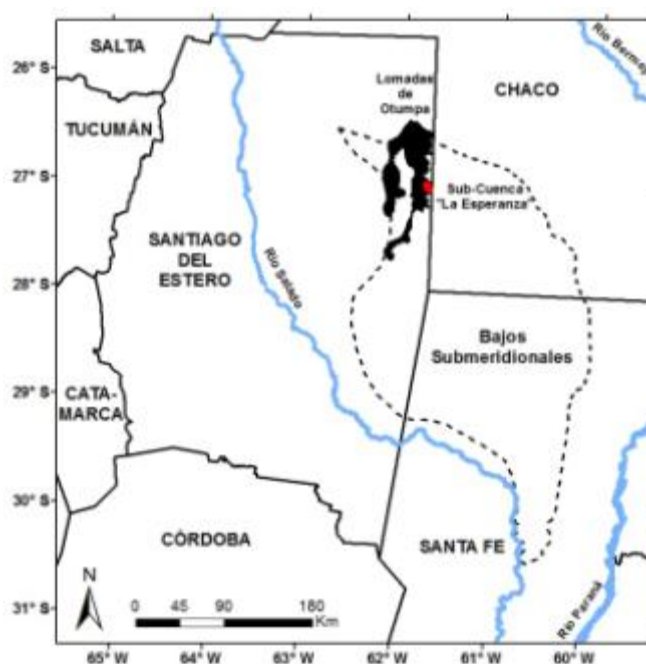


Figura 1: Ubicación del área en estudio.

Metodología

Se seleccionaron dos perfiles de suelos contrastantes, uno representativo de la planicie suavemente ondulada (perfil 50), de amplia extensión en la subcuenca, y otro de las vías de escurrimiento (perfil 27) (Figura 2). En cada caso, se realizó la descripción morfológica y se extrajeron muestras, a razón de una por horizonte genético identificado, para los análisis de laboratorio.

Las muestras fueron secadas en estufa a 40 °C, molidas y tamizadas a fin de obtener la tierra fina (fracción <2mm). Se efectuaron análisis físicos y químicos, de los cuales se seleccionaron: granulometría por el método de la pipeta de Robinson, materia orgánica por la técnica Walkley-Black, humedad equivalente por diferencia de peso en seco y en húmedo, y capacidad de intercambio catiónico (CIC) por saturación con ACNH₄. Además se calculó la CIC de la fracción arcilla a partir de la CIC total del suelo, descontando la CIC atribuible a la materia orgánica, que para este caso es estimada en 250 cmol+/kg. Los estudios mineralógicos se llevaron a cabo por difracción de rayos X (DRX) en la fracción arcilla, mediante un difractómetro Philips PANanalytical X'Pert PRO con anticátodo de Cu. Para la separación de la fracción <2µm, en primer lugar se procedió a la eliminación de la materia orgánica con peróxido de oxígeno y de los carbonatos con ácido acético. Luego se dispersó con hexametáfosfato de sodio, se obtuvo por sedimentación y se saturó con magnesio. Las determinaciones se realizaron a partir de muestras orientadas naturales, saturadas al etilenglicol y calentadas en estufa a 520°C durante 2 horas.

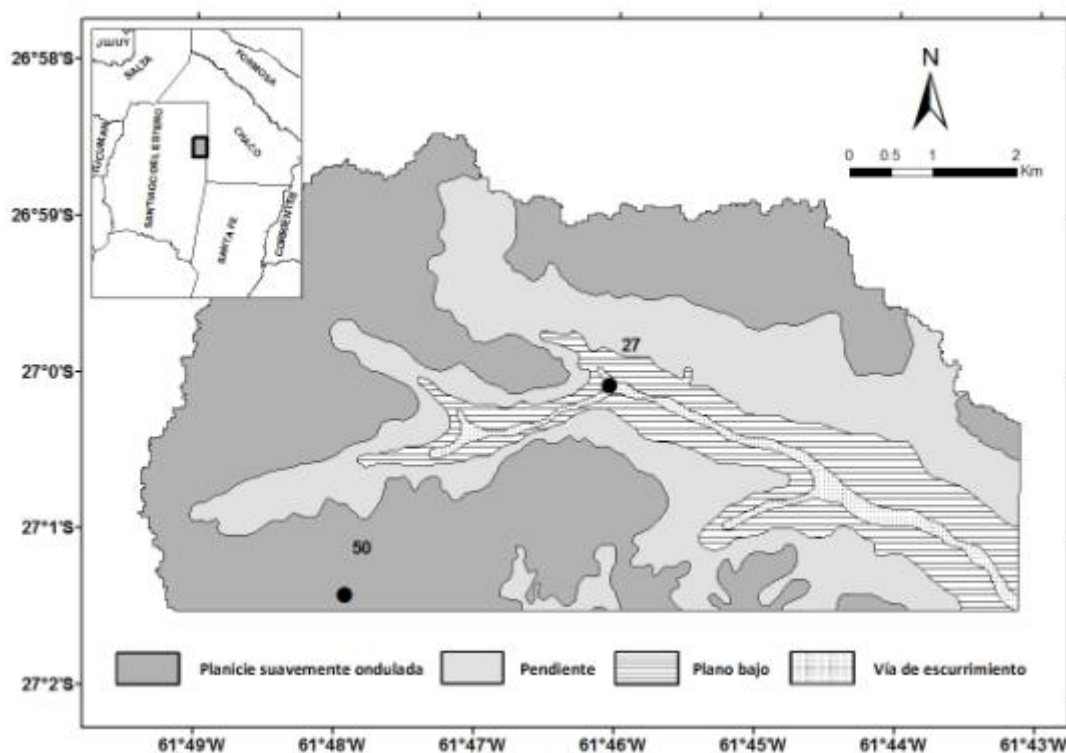


Figura 2: Mapa geomorfológico y ubicación de los perfiles estudiados (50: Haplustoléntico; 27: Endoacuerte típico).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El perfil ubicado en la planicie suavemente ondulada es clasificado como Haplustoléntico. Se caracteriza por la presencia de un potente horizonte A de textura franco arcillo limosa, bien provisto en materia orgánica, seguido en discontinuidad litológica por un horizonte transicional y diferentes capas de textura variable, principalmente franco limosas. Por su parte, el perfil ubicado en la vía de escurrimiento se clasifica como Endoacuerte típico, tiene texturas en general más finas que el suelo anterior, que varían de franco arcillo limosa a arcillo limosa desde la superficie hasta los 84 cm –donde se registra una discontinuidad litológica–, a franco arcillosa en profundidad (Tabla 1).

Para ambos perfiles la CIC total varía entre 21,6 y 29,9 cmol+/kg, mientras que la CIC calculada para la fracción arcilla muestra valores muy disímiles en cada caso. En el Haplustoléntico, salvo en el horizonte Ap, los valores son muy elevados (>180 cmol+/kg), mientras que en el Endoacuerte típico los valores varían aprox. entre 50 y 100 cmol+/kg. En el



primer caso, estos valores son anómalos y sugieren en principio una subestimación del porcentaje de arcilla en el análisis granulométrico, mientras que en el último caso, los valores de la CIC pueden atribuirse a minerales interestratificados. En este sentido, el estudio micromorfológico realizado en estos perfiles (Moretti *et al.*, 2017) reveló para el horizonte Ap del Haplustoléntico una microestructura granular homogénea, mientras que en el material originario se observó la presencia de numerosos microagregados subredondeados dispersos, indicando que se trataría de materiales retrabajados (suelos y/o sedimentos preexistentes). Por lo tanto, puede asumirse la presencia de pseudo-arenas y pseudo-limos (probablemente cementados por óxidos de hierro) influyendo en la determinación granulométrica, subestimando así el porcentaje de las fracciones más finas desde el horizonte 2AC hacia la base del perfil. Estas interpretaciones son confirmadas con los datos de humedad equivalente, donde el porcentaje de agua retenida se relaciona con el tipo y cantidad de arcillas presentes en los suelos. Para el perfil 50 muestran un valor máximo para el horizonte Ap en relación con su textura y contenido de materia orgánica. En los horizontes subsuperficiales por el contrario, valores cercanos a 30% sugieren un mayor contenido de arcilla que el determinado mediante el análisis granulométrico. En tanto, para el perfil 27 los datos de humedad equivalente son compatibles con el tipo y porcentaje de arcilla determinados.

Tabla 1: Datos físicos y químicos seleccionados de los perfiles estudiados

Horiz.	Prof. (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	M.O. (%)	CIC total (cmol+/kg)	CIC arcilla (cmol+/kg)	H. eq. (%)
Perfil 50 - Haplustoléntico (Lat. 27° 1' 28,25"S; Long. 61° 47' 39,25"O)								
Ap	0-24	5,5	56,2	38,3	3,69	27,7	48,24	41,9
2AC	24-45	12,0	75,8	12,2	1,12	26,9	197,53	30,4
3C	45-66	21,8	69,1	9,0	0,64	24,6	255,61	32,8
4Ck1	66-95	41,6	51,7	6,7	0,43	24,4	348,10	27,7
5Ck2	95-150	22,2	66,5	11,3	0,21	21,6	186,57	32,0
Perfil 27 - Endoacuert típico (Lat. 27° 0' 5,50"S; Long. 61° 45' 45,19"O)								
Ap	0-17	8,2	60,3	31,5	2,67	22,8	51,17	37,8
Bt	17-42	7,9	51,3	40,8	1,47	26,1	54,99	36,8
Btss1	42-84	6,5	43,0	50,5	0,74	29,9	55,54	49,1
2Btss2	84-110	27,1	45,7	27,2	0,41	28,0	99,14	35,6
2Bt	110-128	24,8	50,4	24,8	0,34	26,4	102,98	33,1

Los diagramas de DRX (Figura 3-A) muestran para ambos suelos la dominancia de illita (pico a 10 Å), seguido en menor medida por caolinita (pico a 7.1 Å) y la presencia de minerales interestratificados, dada por una serie de reflexiones continuas hacia los pequeños ángulos. Para el caso del horizonte Ap del Haplustoléntico, se observa una mayor intensidad de los picos de illita y caolinita, mientras que la proporción de minerales interestratificados es menor en comparación con los horizontes subsuperficiales. En estos últimos y particularmente en el horizonte 5Ck2, es evidente la presencia de un "hombro" de reflexiones en el rango entre 14 y 17 Å. Por su parte, el suelo Endoacuert típico muestra proporciones similares de illita y caolinita, mientras que los minerales interestratificados son menos evidentes en los tres horizontes aquí analizados. Esta mineralogía es mayormente comparable con la del horizonte Ap del Haplustol típico.

Por otro lado, el tratamiento con etilenglicol muestra un desplazamiento de las reflexiones ubicadas entre 14 y 17 Å hacia aproximadamente los 18 Å, mientras que calentamiento provoca el cierre de estos picos y el refuerzo del correspondiente a 10 Å, además de la disminución del pico de 7.1 Å (Figura 3-B). Si bien los minerales interestratificados deberán ser estudiados en detalle, este comportamiento sugiere en principio la presencia de illita-esmectita.

En relación con la mayor proporción de minerales interestratificados observada en los horizontes C del Haplustol respecto del Vertisol, puede atribuirse a que éstos han sufrido uno o más ciclos de pedogénesis previa, ya que como se dijo anteriormente, se trata de materiales de suelo retrabajados (pedosedimento). Por otra parte, si bien en el Endoacuert típico la arcilla está constituida por interestratificados I-E y la proporción de componentes expandibles es menor que en el Haplustoléntico, esta mineralogía aparece como suficiente para conferirle las propiedades vérticas observadas dado el elevado porcentaje de arcilla en todo el perfil.

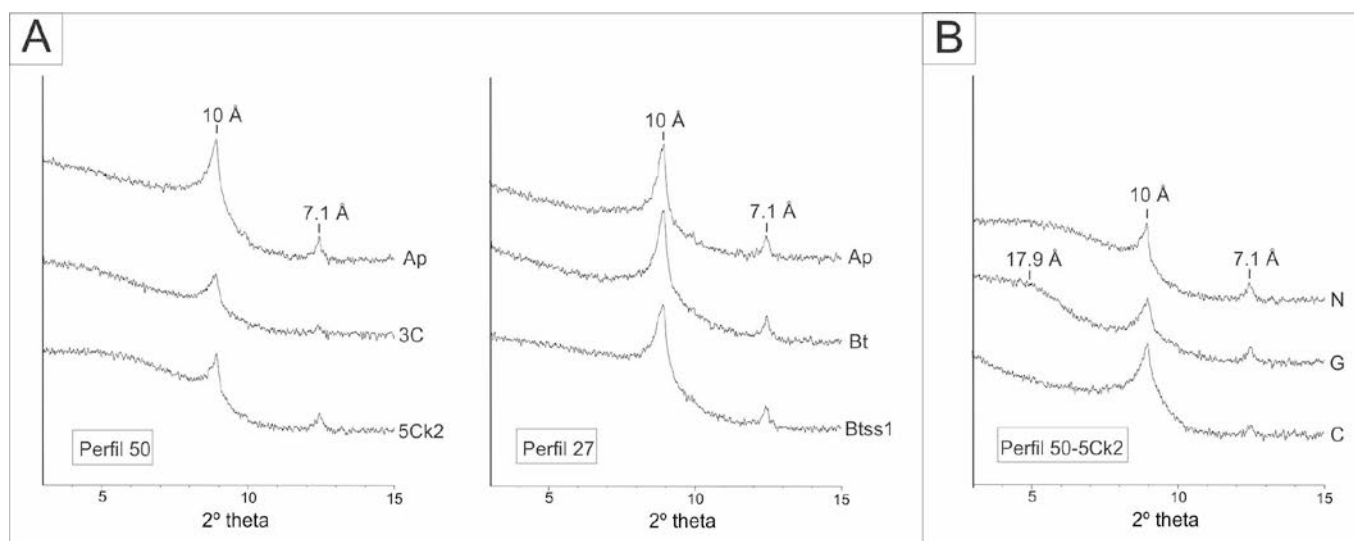


Figura 3. Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla. **A:** muestras naturales orientadas correspondientes a tres horizontes por perfil (50: Haplustoléntico; 27: Endoacuerite típico). **B:** horizonte 5Ck2, Haplustoléntico. Muestra natural orientada (N), saturada al etilenglicol (G) y calentada a 520 °C (C).

CONCLUSIONES

Los análisis físicos, químicos y mineralógicos aquí efectuados, como así también nuestros estudios micromorfológicos previos, nos permiten establecer una secuencia evolutiva para este sector de la subcuenca La Esperanza. La planicie suavemente ondulada, unidad geomorfológica de amplia extensión en el área de estudio, habría estado mayormente afectada por procesos morfogenéticos controlados por la dinámica tectónica y climática de la región. En este contexto, el cambio del nivel de base y el reajuste de la red hidrográfica ocurrido durante el Pleistoceno en la región habría provocado la erosión de suelos preexistentes. Este hecho se refleja en la presencia de agregados de suelo retrabajados (previamente observados bajo microscopía y consistentes con los datos analíticos determinados) y en una mayor proporción de minerales interstratificados, sugiriendo una evolución pedogenética previa para los horizontes C del Haplustoléntico. Por consiguiente, estas capas se relacionarían con diferentes ciclos de erosión/deposición fluvial (pedosedimentos), mientras que el material superficial de textura fina (horizonte Ap) en este perfil, y dado la similitud composicional con el Endoacuerite típico, podría derivar de la acumulación de sedimentos provenientes de la erosión eólica de los cauces fluviales ocurrido probablemente durante alguno de los ciclos áridos del Holoceno. Finalmente, en un período reciente más húmedo habría tenido lugar la pedogénesis de estos depósitos en los interfluvios de la planicie, dando lugar a la formación de suelos de escaso desarrollo.

Por su parte, en las vías de drenaje se habría producido la acumulación continua de sedimentos fluviales, mostrando una granulometría con tendencia granodecreciente en el perfil estudiado (Endoacuerite típico). En esta unidad de paisaje, los procesos pedogenéticos prevalecieron sobre los morfogenéticos dando lugar a la formación de suelos del orden Vertisol con un elevado grado de desarrollo, reflejado en una sucesión de horizontes Bt soldados hasta una profundidad mayor a un metro.

De esta manera, y si bien es necesario acotar estos eventos en un contexto espacio-temporal más preciso, es posible establecer un modelo preliminar que vincula los ciclos climáticos-tectónicos-sedimentarios con los pedológicos, que nos permite interpretar el patrón de distribución de los suelos para este sector de la provincia de Santiago del Estero.



AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco de los Proyectos de investigación del INTA (PNSUELO-1134032, PNSUELO-1134033, PNSUELO-1134022 y TUSGO 1231408) y gracias al apoyo local de la Ing. Andrea Avalos (AER Sachayoj) y la Ing. Laura Mas (EEA Quimilí).

BIBLIOGRAFÍA

- Castellanos, A. 1968. Desplazamientos naturales, en abanico, del río Salado del Norte en la llanura Chaco-Santiagueño- Santaferina. Instituto de Fisiografía y Geología, Universidad Nacional de Rosario, Publicaciones N° 52, Rosario. 19 p.
- Iriondo, MH. 1993. Geomorphology and late Quaternary of the Chaco (South America). *Geomorphology* 7: 289-303.
- Moretti, LM; LA Vizgarra; DM Rodríguez; GA Schulz; IR Paladino & HJM Morrás. 2017. Nuevos aportes sobre la génesis y taxonomía de los suelos en el noreste de Santiago del Estero. XX Congreso Geológico Argentino, Tucumán. Actas Simposio 14. Pp. 73-77.
- Morrás, HJM. 2017a. Propiedades químicas y físicas de los suelos halomórficos de la fracción norte de los Bajos Submeridionales. En: Taleisnik, E & R Lavado (eds.). *Ambientes salinos y alcalinos de la Argentina*. Orientación Gráfica Editora - UNC, Buenos Aires. Pp. 29-54.
- Morrás, HJM. 2017b. Una interpretación geopedológica sobre los sedimentos superficiales y suelos actuales de la Cuña Boscosa, Chaco Austral, Provincia de Santa Fe. XX Congreso Geológico Argentino, Tucumán. Actas Sesión Técnica 3. Pp. 38-43.
- Peri, VG & EA Rossello. 2010. Anomalías morfoestructurales del drenaje del río Salado sobre las Lomadas de Otumpa (Santiago del Estero y Chaco) detectadas por procesamiento digital. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66(4): 636-648.
- Rossello, EA & CP Bordarampé. 2005. Las Lomadas de Otumpa: nuevas evidencias cartográficas de deformación neotectónica en el Gran Chaco (Santiago del Estero, Argentina). 16° Congreso Geológico Argentino, Actas CD-ROM, Ponencia 210, La Plata.
- Sayago, J. 1995. The Argentine neotropical loess: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 14: 755-766.
- Vargas Gil, JR. 1990. Santiago del Estero. Atlas de la República Argentina. Tomo II. Proyecto PNUD ARG-85/019.



C5P11. MATERIAL PARENTAL Y PEDOGÉNESIS DE SUELOS VERTICOS DEL DEPARTAMENTO LA PAZ, ENTRE RÍOS

Morrás, Héctor J.M.

Instituto de Suelos, CIRN-INTA, 1712 Castelar. Argentina. hmoerras@gmail.com

RESUMEN

Se estudiaron un Ocracualfvértico y un Argiudolvértico situados a unos 50 m entre sí en posición de loma, en el Departamento La Paz, en los que estudios previos establecieron una discontinuidad litológica en el material parental y procesos de iluviación de arcilla. Los análisis exoscópicos mediante microscopía electrónica de barrido de las fracciones limo y arena sugieren que los granos de cuarzo del sedimento subsuperficial correspondiente a la Fm Hernandarias provendrían de perfiles de meteorización del noreste subtropical. Por otro lado el material de los horizontes superficiales presentaría aportes loésicos; aun cuando no está establecida su edad, este sedimento podría corresponder a la Fm San Guillermo del Holoceno. Además, en el horizonte E del Ocracualf parte de los granos habrían sufrido procesos de meteorización postdeposicional, de origen pedogenético. Diversos análisis de la fracción arcilla evidencian diferencias cuantitativas y cualitativas de la misma en función de la profundidad. Por un lado los análisis granulométricos e hidrofísicos confirman la existencia de procesos de iluviación. Por otro lado, la CIC de la arcilla y los análisis mineralógicos por difracción y microscopía electrónica evidencian diferencias composicionales entre distintos horizontes, en particular un incremento del componente esmectítico en el Bt. Estos resultados sugieren que además del aumento por iluviación, el incremento de arcilla esmectítica en los horizontes Bt es el resultado de procesos de neoformación *in situ*.

Palabras clave: mineralogía, iluviación, neoformación.

INTRODUCCIÓN

Gran parte del Departamento La Paz, en el noroeste de la provincia de Entre Ríos, presenta un paisaje de planicies onduladas y suavemente onduladas, con vegetación de monte xerófilo, con especies arbóreas tales como algarrobo, tala, ñandubay y gramíneas en las que abunda el espartillo. Los suelos característicos son Alfisoles (Planosoles y suelos planosólicos) en la parte alta de las lomas, sin red de avenamiento definida y con pobre drenaje, Vertisoles en las pendientes con gradiente de 1-3%, con escurrimiento superficial moderado, y Molisoles en pendientes de 2-6%, en la parte baja y al pie de las mismas (INTA, 1990).

De acuerdo a los trabajos de relevamiento citados, el material parental de los Alfisoles y Vertisoles está constituido por "limos calcáreos" lacustres, arcillo-limosos, con arcilla montmorillonítica, carbonatos y yeso. Estos sedimentos integran una unidad denominada Fm Hernandarias, atribuida a un antiguo barreal depositado por el río Uruguay durante un período muy seco del Pleistoceno inferior-medio, con aportes menores provenientes de la región pampeana (Iriondo, 1994). Los estudios mineralógicos de la fracción arcilla de estos suelos (Mazza, 1975; Scoppa, 1976; De Petre y Stephan, 1998) confirman su naturaleza expandible, aunque sus características y la interpretación genética difieren según los autores. Por su parte los Molisoles se habrían desarrollado sobre materiales loésicos retransportados, en tanto aquellos ubicados en sectores bajos del relieve habrían recibido aportes de materiales coluvio-aluviales (INTA, 1990). Otra cuestión que ha suscitado interés respecto a la génesis de todos estos suelos de Entre Ríos es la existencia o no de procesos de iluviación, dado la ausencia o dificultad para observar cutanes de arcilla (INTA, 1979). Análisis micromorfológicos realizados por Jongerius & Bonfils (1964) y Stephan (1980) en diferentes Vertisoles evidenciaron la presencia de revestimientos de arcilla en sus horizontes profundos.

Por su parte, Morrás *et al.* (1993) realizaron análisis micromorfológicos y análisis mineralógicos de la fracción arena de una transecta de suelos (un Alfisolvértico, un Molisol vértico y un Vertisol) desarrollados en el mismo sedimento de la Fm Hernandarias, en el Departamento La Paz. Los resultados obtenidos pusieron en evidencia la existencia de una discontinuidad litológica en el techo del horizonte B de los tres suelos. Por otro lado, los tres suelos presentaron rasgos de iluviación en el techo del Bt y en los horizontes inferiores, los que son difícilmente observables en la parte media del Bt. En el presente trabajo se aporta nueva información sobre dos de los suelos de dicha transecta con el propósito de avanzar en el conocimiento del material parental y de la génesis de los mismos.



MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron dos perfiles de suelo situados a unos 50 m de distancia entre sí, en un paisaje suavemente ondulado en cercanías de la localidad de San Gustavo, Departamento la Paz, Entre Ríos. El perfil 1, situado en una loma plana en la cima de la pendiente, sin escurrimiento superficial, con encharcamiento en superficie, bajo vegetación de monte natural con ñandubay y algarrobo, corresponde a un Ocracualfvértico, serie Colonia Trece (INTA, 1990). El perfil 2 se encuentra también en la loma, en una posición ligeramente más baja con muy escasa pendiente (clase 1), con un drenaje ligeramente mejor, y corresponde a un Argiudolvértico, serie no designada. La secuencia de horizontes de ambos perfiles se presenta en la Tabla 1; rasgos vérticos (*slickensides*) escasos se observan en profundidad, aunque un poco más frecuentes en el horizonte 2Btss. Desde este horizonte hacia abajo son abundantes las acumulaciones de carbonato de calcio y de yeso.

En estos perfiles se determinó la composición granulométrica mediante pipeta de Robinson para la fracción arcilla, tamizado de la fracción arena y limo total por diferencia entre las anteriores, el carbono orgánico oxidable mediante el método de Walkey y Black, y la capacidad de intercambio catiónico por saturación con acetato de amonio. A partir de estos datos se calculó la capacidad de intercambio atribuible a la arcilla considerando una CIC de $250 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ para la materia orgánica y $20 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ para el limo. También, en dos muestras de la fracción arcilla del perfil 1 se determinó la CIC específica de esta fracción mediante el método convencional por saturación con acetato de amonio. Por otro lado se determinaron diversos parámetros de retención de agua: la humedad higroscópica se determinó por secado de la muestra a 105°C , la humedad equivalente se determinó por el método de centrifugación, y el agua de saturación se estableció mediante la preparación de la pasta de saturación del suelo. Todos estos análisis se llevaron a cabo en los laboratorios del Instituto del Suelos del INTA según sus protocolos.

La composición mineralógica de la fracción arcilla, obtenida por sedimentación y saturada con Mg, se determinó mediante difracción de rayos X (DRX) con un equipo Philips PW3710, con ánodo de Cu, 45 kV, 35 mA, $1^\circ 2\theta/\text{min}$, en muestras naturales, glicoladas y calcinadas. Asimismo se efectuaron análisis morfológico de las arcillas previamente humectadas a un pF 2 en un tubo de filtración sometido a una presión neumática. Estas pastas arcillosas se congelaron en freón a la temperatura del nitrógeno líquido y se analizaron en un microscopio de barrido JEOL JSM 32 con un dispositivo Cryoscan (Tessier&Berrier, 1979). Simultáneamente se determinó la composición química semicuantitativa mediante un sistema dispersivo en energía (SDE); estos análisis se efectuaron con sonda fija en forma puntual.

Por otra parte se estudió la fracción limo obtenida por sedimentación luego de la extracción total de la arcilla, la que fue analizada mediante microscopía electrónica de barrido con el mismo equipo mencionado anteriormente. También se hicieron observaciones y análisis mediante el MEB en algunas muestras de fracción arena obtenida por tamizado y en granos de arena incluidos en agregados y nódulos del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la fracción arcilla

a) Datos físicos y físico-químicos

En ambos perfiles, el CO del suelo disminuye progresivamente con la profundidad (Tabla 1). En coincidencia con las características morfológicas, en los horizontes superficiales el contenido de CO es menor en el perfil 1 (Ocracualf) que en el perfil 2 (Argiudol). Asimismo el contenido de arcilla de los dos primeros horizontes superficiales es menor en el Ocracualf, aun cuando el horizonte E no evidencia una pérdida selectiva de arcilla. Por otro lado los valores máximos de arcilla, que oscilan aproximadamente entre 45-50%, se presentan en ambos perfiles en los horizontes 2Bt y 2BC. También, la capacidad de intercambio catiónico total del suelo presenta valores máximos en la parte media del horizonte Bt, los que oscilan entre $42\text{-}44 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$.

La capacidad de intercambio catiónico de la arcilla calculada a partir de los datos químicos y granulométricos indica para ambos perfiles valores menores en los horizontes superficiales que oscilan entre 40 y $65 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, lo que correspondería a una mineralogía de tipo illítico (Tabla 1). Esa CIC calculada se incrementa en el techo del horizonte Bt, particularmente en los horizontes 2Bt2 y 2Btss del suelo Ocracualf con valores que oscilan entre $85\text{-}90 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, los que sugieren la presencia de un componente esmectítico. Finalmente, en el horizonte 2C de ambos perfiles la CIC calculada de la arcilla disminuye a $70 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, lo que indicaría una composición intermedia entre las anteriores. Por otro lado, la CIC determinada analíticamente en la fracción arcilla de dos horizontes del Ocracualf presenta valores algo inferiores a los calculados, aunque correlacionables con los mismos.



Tabla 1: Datos físicos y físico-químicos de los dos perfiles estudiados. Nomenclatura de horizontes simplificada.

Horizonte	Prof. cm	C.O. %	Arcilla %	CIC Total cmol _c .kg ⁻¹	CIC arcilla calc. cmol _c .kg ⁻¹	CIC arcilla det. cmol _c .kg ⁻¹	H2O higro. %	H2O equiv. %	H2O sat. %
Perfil 1. Ocracualfvértico									
A	0 - 5	2,08	22,0	18,8	53,8	-	2,9	25,7	48,0
E	5 - 12	1,31	31,8	26,5	65,1	-	4,2	28,6	48,0
Bt1	12 - 28	1,15	41,9	40,2	82,0	-	6,4	37,4	65,0
2Bt2	28 - 45	0,75	44,7	44,5	89,2	76,0	6,6	47,3	78,0
2Btss	45 - 67	0,44	45,3	41,9	84,2	-	7,1	42,9	82,0
2BC	67 - 85	0,18	48,8	34,2	63,7	-	6,5	41,3	78,
2C	+ 85	0,12	42,4	33,1	70,9	70,0	5,7	47,7	75
Perfil 2. Argiudolvértico									
A	0 - 10	2,47	26,2	24,2	39,2	-	3,7	29,7	53,0
BA	10 - 23	1,59	34,0	31,0	61,3	-	4,4	33,2	53,0
Bt1	23 - 40	1,13	47,3	44,1	71,4	-	5,9	42,5	72,0
2Bt2	40 - 60	0,86	52,8	42,8	65,4	-	7,0	44,9	74,0
2Btss	60 - 80	0,30	46,8	35,4	61,5	-	7,8	42,9	81,0
2BC	80 - 110	0,27	47,9	41,0	72,5	-	8,4	43,4	78,0
2C	+ 110	0,15	42,3	33,7	70,04	-	7,9	38,9	81,0

La retención de agua en los suelos se relaciona con su porosidad y esta a su vez depende en parte de la granulometría y de la mineralogía del material. A efectos de inferir esos aspectos composicionales, se utilizaron diversos parámetros de retención de agua: la humedad higroscópica corresponde a tensiones muy superiores al punto de marchitamiento, la humedad equivalente corresponde a tensiones próximas a la capacidad de campo en tanto el agua de saturación representa la capacidad máxima de absorción de agua. Los datos obtenidos (Tabla 1) indican para ambos perfiles la existencia de variaciones composicionales en relación con la profundidad. Así, en el perfil 1 (Ocracualf) de manera coincidente los menores valores para los tres parámetros se encuentran en los horizontes A y E, en tanto los valores máximos se presentan en los horizontes 2Bt2 y 2Btss. En el perfil 2, también los menores valores para los tres parámetros se encuentran en los horizontes A y BA; por el contrario los valores máximos se encuentran en distintos horizontes subsuperficiales (2Bt2, 2Btss o 2BC) según la determinación que se considere.

b) Análisis mineralógicos de la arcilla.

Los análisis mineralógicos de la fracción arcilla mediante difracción de RX muestran contrastes notorios en función de la profundidad en ambos perfiles. Tomando como ejemplo el perfil 2 (Argiudol), la arcilla natural del horizonte A presenta una cola de reflexiones continuas hacia los pequeños ángulos (Figura 1), la que se desplaza ligeramente en la muestra glicolada indicando expansión, en tanto en la muestra calcinada aparece un pico poco marcado hacia los 10 Å. Estos datos indican que la arcilla en el horizonte A está constituida básicamente por minerales interstratificados irregulares de tipo illita-esmectita. Por el contrario la muestra del horizonte 2Bt2 manifiesta un pico de gran desarrollo hacia 15,5 Å, que se desplaza claramente hacia 17,8 Å en la muestra glicolada y se contrae con un pico marcado a 10 Å en la calcinada, todo lo cual evidencia la dominancia de arcilla de tipo esmectita. Por su parte los diagramas de la muestra del horizonte 2C presentan en todos los tratamientos trazas similares a las del horizonte A; en este caso sin embargo aparece una reflexión algo más marcada hacia 16,0 Å que se desplaza más claramente en el tratamiento glicolado, indicando que los interstratificados irregulares I-E tienen en este horizonte profundo una mayor proporción de componente esmectítico que en el horizonte superficial.

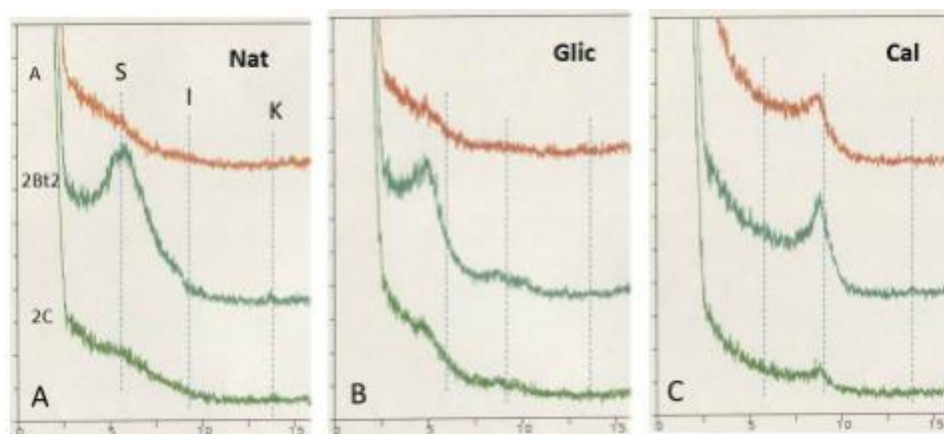


Figura 1: Diagramas de DRX de la fracción arcilla de horizontes seleccionados del Perfil 2 (Argiudol). En abscisas: grados 2θ . A: Muestras naturales. (reflexiones características, S: esmectita; I: illita; K: caolinita). B: muestras glicoladas. C: muestras calcinadas.

Debe notarse que –a diferencia de la generalidad de los suelos pampeanos desarrollados sobre sedimentos loésicos– en todas las muestras la illita es escasa, en tanto prácticamente no se evidencian reflexiones de caolinita. Los minerales accesorios (cuarzo y feldespatos) por el contrario se identifican fácilmente por sus reflexiones intensas a $3,33 \text{ \AA}$ y $3,18 \text{ \AA}$ respectivamente, con una mayor proporción del primero. En el perfil 1 (Ocracualf) las variaciones mineralógicas con la profundidad son similares a las constatadas en el perfil 2. Sin embargo, en la muestra natural del horizonte 2Bt2 de este suelo la reflexión correspondiente a la esmectita presenta menos intensidad, en tanto es más abundante la proporción de interestratificados irregulares I-E que en el horizonte 2Bt2 del Argiudol.

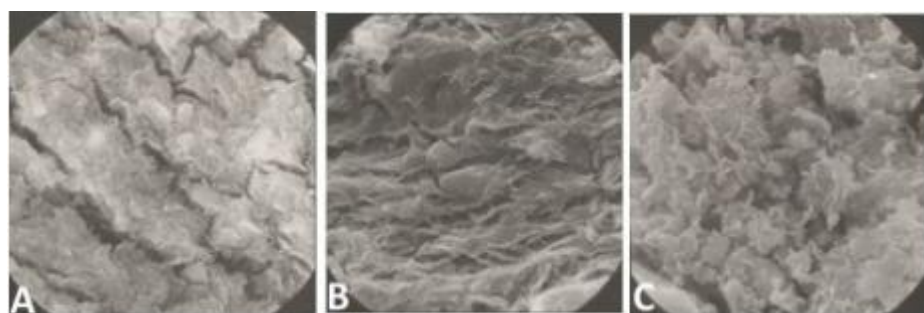


Figura 2. Morfología y organización de arcillas del perfil 1 (Ocracualf), a pF 2, observadas por MEB (magnificación 4.800X). A: horizonte E. B: horizonte 2Bt2. C: horizonte 2C.

La microscopía electrónica ha evidenciado también diferencias morfológicas entre las arcillas correspondientes a diversos horizontes (Figura 2). En la muestra del horizonte E del Ocracualf, la arcilla se presenta en su conjunto como paquetes de unos $150 \text{ }\mu\text{m}$ de ancho, de agregados de cristallitos (microdominios) apelmazados, rígidos, con una disposición continua cara-cara, y que reflejan la predominancia del componente illítico en los interestratificados; en algunos sectores se observaron también cuasicristales flexibles propios de esmectitas. Por el contrario, en el horizonte 2Bt2 de este perfil son dominantes los cuasicristaleso tactoides esmectíticos, flexibles y de gran tamaño, que generan una red tridimensional abierta, de microporos de mayor tamaño. Finalmente, la arcilla del horizonte 2C presenta una morfología intermedia entre las dos anteriores. En este caso se observan paquetes densos propios de interestratificados I-E, en cuya superficie se presentan partículas flexibles que evidencian una proporción subordinada de esmectitas. El microanálisis semicuantitativo realizado en una muestra no disturbada de este mismo horizonte dio como resultado los valores (número de pulsos) siguientes: Al (852), Ca (436), Fe (295), K (145), Mg (70). Estos datos indican una proporción de Ca y Mg elevada en estas arcillas y por el contrario una proporción baja de K. Comparando la relación K/Mg (2,07) de esta arcilla con datos obtenidos de manera similar en suelos del Chaco meridional desarrollados sobre sedimentos de la Fm Ituzaingó aportados por el río Paraná (Morrás, 1994), se constata su similitud con arcillas esmectíticas de esa Formación, en contraste con arcillas illíticas de sedimentos loésicos.

Exoscopia de las fracciones limo y arena.

El análisis morfoscóptico de la fracción limo total (2-50 μm) de los horizontes E y 2C del perfil 1 (Ocracualfvértico) mediante MEB y el análisis químico semicuantitativo mediante la microsonda asociada, permitieron establecer en ambos la presencia de granos de cuarzo, feldespatos potásicos, sódicos y calcosódicos, vidrios volcánicos, fitolitos, así como granos de minerales cálcicos, fosfáticos y ferro-titaníferos. De acuerdo a estos análisis, y en coincidencia con los datos de la mineralogía de arenas (Morrás *et al.*, 1993) surge en primer lugar una proporción aproximadamente equivalente de granos de cuarzo y de feldespatos en la fracción limo de ambos horizontes. Más allá de esto, resultan interesantes las características exoscópicas diferenciales entre los granos de cuarzo de ambos horizontes.

En el limo del horizonte 2C una parte de los granos presentan algunas caras lisas, con aristas angulosas; también se observan cavidades triangulares, con forma de tetraedros invertidos, con caras que se intersectan a unos 45° , y que corresponden a figuras de disolución similares a las que caracterizan los granos de cuarzo de perfiles de meteorización de Misiones (Moretti & Morrás, 2013). En algunos granos las figuras geométricas de disolución así como marcas de impacto por transporte se encuentran deformadas por redondeamiento de sus paredes y aristas, adquiriendo formas cóncavas. Otros granos presentan formas más redondeadas aunque conservando algunas aristas y vértices angulosos, con caras lisas, con algunas pocas marcas de choque (Figura 3-B). Estas morfologías sugieren que los granos de cuarzo provienen de materiales fuertemente meteorizados, los que han sido luego transportados sufriendo redondeamiento y amorfización de la superficie. En esta muestra se presentan también feldespatos con rasgos de alteración y marcas de transporte. Reflejando el carácter calcáreo del material se observan también pequeños nódulos de carbonato de calcio.

A diferencia del caso anterior, en la fracción limo del horizonte E la mayor parte de los granos de cuarzo presentan superficies mucho más irregulares. En este caso se advierte que cavidades preexistentes que podrían ser tanto figuras de meteorización como marcas de impacto por transporte, han sido afectadas por disolución posterior generando una topografía compleja. Junto a éstos se presentan también granos de cuarzo más angulosos con marcas de choque más frescas y superficies no pulidas. También se observan aquí partículas de vidrio volcánico de aspecto fresco, así como fitolitos con abundantes cavidades de disolución (Figura 3-A). Estas observaciones sugieren una mezcla de materiales de distinta edad y/o proveniencia en el limo de este horizonte. Por otro lado, dado que se trata de un horizonte E, es posible que la morfología irregular de parte de los granos se deba a procesos de alteración *in situ*, pedogenéticos.

Observaciones complementarias en la fracción arena media (250-500 μm) del horizonte 2C de este mismo perfil 1, revela granos de cuarzo redondeados con abundantes marcas de choque por transporte, tanto en forma de V de impacto como marcas en medialuna (también llamadas marcas de uña) (Figura 3-C). También aparecen algunas figuras en escamas que resultarían de la amorfización de la superficie por choques repetidos (Le Ribault, 1977).

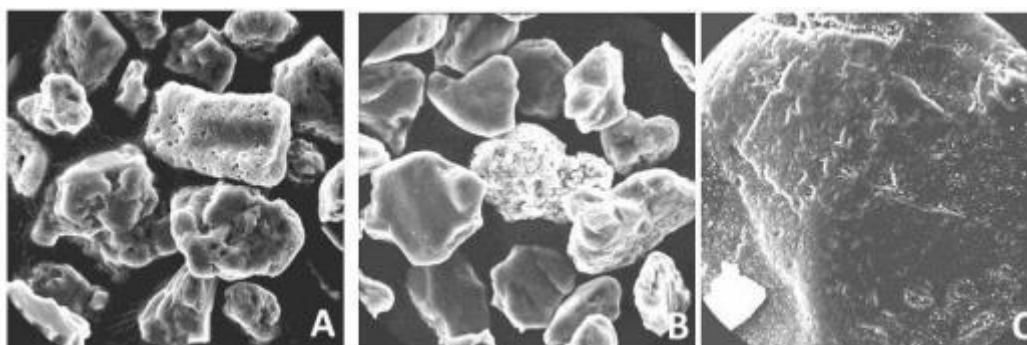


Figura 3: Microscopía electrónica de barrido de las fracciones limo (1.000 X) y arena (500 X) del Ocracualf. A: fracción limo del horizonte E; la mayor parte son granos de cuarzo; fitolito en el centro de la imagen. B: Fracción limo del horizonte 2C; principalmente granos de cuarzo; en el centro un nódulo de carbonato de calcio. C: grano de cuarzo de la arena del horizonte 2C.

CONCLUSIONES

En primer lugar, la fracción limo del Ocracualf muestra algunas pequeñas diferencias composicionales pero sobre todo morfoscópticas entre los granos de los horizontes E y 2C. En el horizonte 2C se detectan figuras de disolución que sugieren que los granos provienen de perfiles de meteorización del noreste subtropical. Por otro lado, los caracteres exoscópticos de los granos de limo y de arena evidencian procesos de transporte; dado que las marcas de choque observadas son producidas tanto en medio eólico como fluvial, no se ha establecido todavía fehacientemente el agente de transporte. Por su parte los granos del horizonte E muestran un contraste entre granos meteorizados y frescos, lo que



indicaría una mezcla de aportes de distinta edad y/o proveniencia. Además los granos de este horizonte presentan superficies muy irregulares, lo que podría indicar que parte de la meteorización es postdeposicional, de origen pedogenético. Estas diferencias entre horizontes coincidirían con las diferencias mineralógicas constatadas en la arena que condujeron a establecer discontinuidades litológicas en estos perfiles (Morrás *et al.*, 1993). Estos datos aportan información nueva respecto a las características de los sedimentos de la Fm Hernandarias que constituyen el material parental de los horizontes B y C. A diferencia de lo planteado para los Molisoles dominantes en los sectores bajos, el Molisol aquí estudiado también está desarrollado en la Fm Hernandarias. El material de los horizontes superficiales de ambos suelos estaría en parte constituido por aportes loésicos; aun cuando no está establecida su edad, estos podrían corresponder a la Fm San Guillermo tal como fue sugerido por Iriondo (1991).

En cuanto a la fracción arcilla, los diversos análisis evidencian diferencias cuantitativas y cualitativas entre los horizontes principales de los dos perfiles. Por un lado los análisis granulométricos e hidrofísicos indican incrementos claros de la cantidad de arcilla en los horizontes B. Estos datos, en concordancia con los análisis micromorfológicos previos que mostraron revestimientos de arcilla (Morrás *et al.*, 1993), confirman la existencia de procesos de iluviación y su definición como argílicos. Por otro lado, las variaciones verticales de la CIC de la arcilla y fundamentalmente los análisis mineralógicos por difracción de rayos X y microscopía electrónica evidencian diferencias mineralógicas entre los distintos horizontes, en particular un incremento del componente esmectítico en el Bt que se corresponde con su carácter vértico. Estos resultados sugieren también que –además del aumento por iluviación– el incremento de arcilla esmectítica en los horizontes Bt es el resultado de procesos de neformación *in situ*.

AGRADECIMIENTOS

Al equipo de Suelos de INTA-EEA Paraná y en particular al recordado amigo Carlos “Pancho” Vescop por su total apoyo para la realización del trabajo de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- De Petre, A & S Stephan, 1998. Características pedológicas y agronómicas de los Vertisoles de Entre Ríos, Argentina. Fac. de Cs. Agrop., UNER, Paraná, 65 p.
- INTA. 1990. Carta de suelos, Departamento La Paz, Provincia de Entre Ríos. Convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos. INTA-EEA Paraná, Serie Relevamiento de Recursos Naturales n° 7, Tomo I (146 p.) y Tomo II (175 p.).
- Iriondo, M, 1991. El Holoceno en el Litoral. Com. Mus. Prov. Cs. Nat. Florentino Ameghino, Santa Fe, Vol. 3, N° 1, 40 p.
- Iriondo, M, 1994. Los climas cuaternarios de la Región Pampeana. Com. Mus. Prov. Cs. Nat. Florentino Ameghino, Santa Fe, Vol. 4, N° 2, 48 p.
- Jongerius, A & C Bonfils, 1964. Micromorfología de un suelo negro grumosólico de la provincia de Entre Ríos. Rev. de Investig. Agrop., Serie 3, 1(2):33-53.
- Le Ribault, L, 1977. L'exoscopie des quartz. Masson, Paris, 150 p.
- Mazza, C, 1975. Mineralogía y probable génesis de la fracción arcillosa de un Vertisol de la provincia de Entre Ríos (Argentina). Rev. de la Fac. de Agron. La Plata, LI(1):1-16.
- Moretti, L. & H Morrás, 2013. New microscopic evidences of the autochthony of the ferrallitic pedological mantle in Misiones, Argentina. Latin Am. J. of Sedimentol. and Basin Anal., 20(2):129-142
- Morrás, H; A Bayarski; J Benayas & C Vesco. 1993. Algunas características genéticas y litológicas de una toposecuencia de suelos vérticos de la provincia de Entre Ríos (Argentina). En: J Gallardo (ed.). El estudio del suelo y de su degradación. Actas del XII Congr. Latinoam. de la Cien. del Suelo. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, Salamanca, España, Vol. II. Pp 1054-1061.
- Morrás, H. 1994. Caracterización de la organización y composición química de arcillas mediante técnicas submicroscópicas. Aplicación al estudio de arcillas de suelos del Chaco meridional. Actas V Reunión Argentina de Sedimentología, Tucumán. Pp 271-276.
- Scoppa, C., 1976. La mineralogía de los suelos de la llanura pampeana en la interpretación de su génesis y distribución. Actas 7ª Reun. Arg. de la Cien. del Suelo, IDIA, Suplemento n° 33. Pp 659-673
- Stephan, S, 1980. Aspectos y problemas de la micromorfología del llamado plasma del suelo. Conferencia, IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Paraná, 12 p.
- Tessier, D. & J. Berrier, 1979. Utilisation de la microscopie électronique à balayage dans l'étude des sols. Observation des sols humides soumis à différents pF. Science du Sol, 1:67-82.



C5P12. USO DE LOS MAPAS DE SUELOS EN LA TASACIÓN DE INMUEBLES RURALES

Palacin, Esteban A.¹; Cattini, Micaela S.²; Da Cruz, Mónica B.²; Di Benedetto, Walter A.²; Ibarra, Macarena F.²; Juaristi, Lina J.²; Lies, Martín A.²; Mendiondo, Martín²; Orona, Jesica A.²; Rodriguez, Pablo R.²; Viñas Redondo, Agustina² y Santanatoglia, Oscar J.¹

¹Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Avenida San Martín 4453, CABA, Argentina. palacin@agro.uba.ar

²Centro Universitario Regional Daireaux

RESUMEN

La tasación de campos es un paso requerido en diferentes situaciones, tales como operaciones de compra/venta, sucesiones, expropiaciones, valuaciones fiscales, entre otras. La tasación varía normalmente según el objetivo de la misma. Varios son los aspectos que el tasador debe tener en cuenta para llegar al valor de la tasación. Calidad de la tierra, distancia a centros de acopio y mercados, calidad de las vías de acceso, disponibilidad de infraestructura en la localidad, mejoras y construcciones y sobre todo el estado del mercado habitualmente determinan el valor, con diferente peso cada una. Frecuentemente la tasación está en manos de un experto, que conoce la incidencia de los diferentes factores determinantes y estima mentalmente ciertas unidades de valor, que le asigna a cada establecimiento, pudiendo así arribar a un valor para el establecimiento, que lo fija en la tasación. Desde las ciencias del suelo se intenta aportar un método repetible que nos permita aproximar un valor de la tierra para ser usado en la tasación. Partiendo de los relevamientos de suelo realizados por el plan suelos de INTA, se intentó determinar cuál de las variables relevadas y de los métodos de evaluación aplicados, podrían relacionarse con los aspectos de la tierra que son tenidos en cuenta en el momento de una tasación. Se optó utilizar el Índice de Productividad de Riquier modificado incluido en las cartas de suelos. Para desarrollar el método se eligieron una serie de establecimientos rurales en la subregión de Pampa Arenosa que servirían como antecedentes para la tasación de nuevos campos. De cada establecimiento se conocía su ubicación exacta y el valor en que se concretó la operación de compra/venta. Se trabajó confeccionando un SIG (Sistema de Información Geográfica) usando el programa QGIS. Se digitalizaron y georreferenciaron las cartas topográficas IGN y las cartas de suelos de INTA, ambas en escalas 1:50.000. Se agregaron como temas vectoriales polígonos los establecimientos antecedentes seleccionados. Se vectorizaron las unidades de suelos de las cartas INTA y se utilizaron las leyendas de identificación y descriptivas que acompañan las cartas. Para cada unidad cartográfica de suelos se utilizaron los valores de IP (Índice de Productividad) dados en las leyendas. Se determinó la superficie de las porciones de unidades de suelos presentes en cada establecimiento. A cada unidad de suelo le corresponde un valor de IP. Se calculó un valor de IP promedio ponderado por el porcentaje que representa cada unidad de suelo en el campo. Así se obtuvo el IPP (Índice de productividad promedio ponderado). Dividiendo el precio por ha en el que se realizó la transacción por el valor de IPP, se obtuvo la valuación por ha del campo a partir de los Índices de productividad. Se observó que los valores de valuación dados por Índice de productividad eran muy similares entre establecimientos de la misma región, y se realizó el promedio de los mismos para poder utilizarlo para la valuación de otros campos que necesiten ser tasados. El valor de Punto Índice de Productividad obtenido fue de 170,07 U\$/ha por unidad de IPP de cada establecimiento.

Palabras claves: suelos, índice productividad, tasación de tierras



C5P13. ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS CULTIVADOS CON CAÑA DE AZÚCAR EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN - FACTORES DETERMINANTES

Sanzano, G. Agustín; Arroyo, Esteban A.; Aranda, Nelson D.; Morandini, Miguel; Romero, Juan I.; Sotomayor, Carolina; Sosa, Francisco, y Rojas Quinteros, Hugo

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Av. William Cross 3150 (4101), Las Talitas, Tucumán. asanzano@eeaoc.org.ar

RESUMEN

Las regiones agroecológicas cultivadas con caña de azúcar en Tucumán presentan una fuerte variabilidad climática y edáfica que influye sobre los rendimientos del cultivo. El conocimiento de los índices de productividad (IP) de los suelos y de los factores que los condicionan puede constituir herramientas útiles para recomendar prácticas de manejo específicas para cada situación en particular. Se estimaron los IP de 2.550 sitios georeferenciados en cuatro regiones cañeras de Tucumán y se analizó la incidencia de cada factor condicionante de la productividad. Se tomaron muestras de suelos hasta la profundidad de 0,9 m, se realizaron determinaciones analíticas de cada una y se estableció la asociación de las variables edáficas entre sí y su influencia sobre cada IP usando el método de análisis de componentes principales (Biplot). Los resultados mostraron que un 63% y un 78% de los suelos de las regiones de Pedemonte y Llanura Chacopampeana, respectivamente, presentaron IP altos (mayores a 69), mientras que en la subregión occidental de la Llanura Deprimida, un 53% de los sitios fueron de IP de rango medio (55-69) y en la subregión oriental un 58% fueron IP de rango bajo y muy bajo (40-54 y menores a 39, respectivamente). Los valores altos de IP en la región del Pedemonte fueron influenciados por el elevado contenido de materia orgánica del suelo, y menos significativamente por el contenido de limo y arcilla. En la región de la Llanura Chacopampeana, el alto contenido de limo del suelo fue determinante para los altos valores de IP obtenidos. En la subregión occidental de la Llanura Deprimida, los bajos IP obtenidos se explicaron principalmente por el alto pH del suelo y/o por el contenido de CO_3Ca de este, mientras que en la subregión oriental a estos dos factores se agregó la conductividad eléctrica asociada negativamente a la productividad.

Palabras claves: regiones agroecológicas, factores edáficos, producción caña de azúcar

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar se extiende por distintas regiones agroecológicas de la provincia de Tucumán, con aproximadamente el 90% de la superficie cultivada en las regiones de Pedemonte, Llanura Deprimida y Llanura Chacopampeana (Zuccardi & Fadda, 1985). Esta distribución del cañaveral se mantiene en la actualidad en las tres regiones agroecológicas mencionadas, como lo reportan Fandos *et al.* (2017). En cada una de ellas las características climáticas, fisiográficas y edáficas son distintas, lo que genera diferentes condiciones y aptitudes para el cultivo. En términos generales, la región del Pedemonte presenta un balance hídrico positivo, algunas áreas de fuertes pendientes y varios suelos con baja capacidad de retención de agua. En la región de la Llanura Chacopampeana, el balance hídrico disminuye de oeste a este, mientras que la mayoría de los suelos tienen una alta capacidad de almacenaje de agua. Finalmente, la región de la Llanura Deprimida tiene, como característica general, la heterogeneidad textural y la presencia de una capa freática, diferenciándose dos subregiones: una occidental en la que la capa freática y el perfil de suelo están libres de sales solubles y las mayores limitaciones al cultivo son la asfixia radicular en los años con excesos hídricos y la dificultad para el manejo normal de las operaciones de cosecha y transporte (Sanzano & Fadda, 2009); la subregión oriental, en tanto, se diferencia de la primera por la naturaleza salina de la capa freática con contenidos en sales cloruradas y sulfatadas sódicas superiores a los 350 mg/l, y con una elevada relación de adsorción de sodio (RAS), que condiciona el desarrollo del cultivo tanto por el efecto salino y los elevados valores de pH como por la disminución de la permeabilidad ocasionada por la presencia del sodio intercambiable. Por lo anteriormente expresado, queda claro que la productividad del cañaveral será el resultado de la combinación de un número importante de variables que deberán ser tenidas en cuenta para diferenciar estrategias de manejo adecuadas que permitirán disminuir la brecha entre los rendimientos culturales actuales y los óptimos del cultivo (Van den Berg & Singels, 2013).

La evaluación de tierras es el proceso de determinación y predicción del comportamiento de esta para ser empleada para fines específicos, considerando aspectos físicos, económicos y sociales. Debe ser utilizada como una de las herramientas necesarias para la planificación racional de los recursos naturales y humanos, con el propósito de que la



planificación de cada área provea el máximo beneficio para la sociedad, sin una degradación de los recursos (FAO, 1976).

Existen métodos paramétricos, semi-cuantitativos, en los cuales la relación entre la productividad y las características de la tierra son expresados como factores ponderados en una función matemática simple. En Estados Unidos, con el objetivo original de clasificar impositivamente la tierra, se ha desarrollado un índice multiplicativo para expresar la influencia de los factores edáficos en conjunto sobre la productividad de los cultivos, en el cual se asigna a cada factor de suelo un valor porcentual respecto del ideal, y finalmente se los multiplica. Usa propiedades intrínsecas del suelo tales como espesor, textura, drenaje, material parental, acidez, etc., y características del paisaje como pendiente, microrrelieve y grado de erosión (Storie, 1978). Otro método paramétrico multiplicativo es el índice de Riquieret *al.* (1970), que consiste en evaluar la productividad del suelo expresada en kg/ha y año, que se presupone depende de las características del suelo bajo un determinado manejo. Este método permite analizar los suelos para usos generales: herbáceos, pastos, leñosos y forestal, utilizando principalmente propiedades intrínsecas del suelo: régimen hídrico del suelo, drenaje, espesor, materia orgánica, textura, etc., pero no considera la erosión ni la pendiente. Nakama & Sobral (1987) han introducido una serie de modificaciones para adaptar este índice a las distintas y variadas condiciones ecológicas regionales y a la información básica disponible en Argentina. Se ha utilizado una regionalización climática del país, donde en cada una de las regiones tiene vigencia la misma metodología, pero pueden variar los parámetros considerados y las valoraciones asignadas. La determinación del índice de productividad tiene como objetivo establecer comparaciones entre las capacidades de producción de los distintos tipos de tierras presentes en un área, cuya escala de valores va de 1 a 100. Se expresa la relación entre la capacidad para producir cierta cantidad de cosecha por hectárea y año con respecto de la productividad óptima, que proporcionaría un suelo ideal en su primer año de cultivo. En Tucumán se han determinado índices para las unidades cartográficas de asociaciones de series de suelos en algunos departamentos provinciales (Moscatelli *et al.*, 2005), a una escala de trabajo que no permite identificar las tierras a nivel predial.

Los objetivos del presente trabajo fueron estimar los Índices de Productividad de los suelos cultivados con caña de azúcar en las distintas regiones agroecológicas de la provincia de Tucumán y ponderar la incidencia individual de los factores condicionantes de la productividad de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre los años 2013-2016 se realizó un relevamiento intensivo de suelos del área cañera de la provincia de Tucumán, noroeste de Argentina. Se extrajeron muestras a tres profundidades (0–30; 30–60 y 60–90 cm) de 2.550 sitios georeferenciados y distribuidos en las siguientes tres regiones agroecológicas en las que se cultiva caña de azúcar: Pedemonte; Llanura Chacopampeana (subregión subhúmeda-húmeda) y Llanura Deprimida (subregiones occidental y oriental). Se hicieron determinaciones analíticas de pH actual (dilución en agua 1:2,5); salinidad (conductividad eléctrica en el extracto de saturación); calcáreo (gasometría); materia orgánica oxidable (Walkley-Black); fósforo extractable (Bray y Kurtz II); nitrógeno total (Kjeldahl); calcio, magnesio, sodio y potasio intercambiables (acetato de amonio a pH 7); capacidad de intercambio de cationes (acetato de sodio a pH 8,2); porcentaje de arcilla, limo y arena (hidrómetro de Bouyoucos). Además, en campo se registraron rasgos morfológicos en el perfil tales como presencia de gravas, así como características fisiográficas como la pendiente del terreno. Para la determinación del IP, aunque se ha utilizado la metodología propuesta por Nakama & Sobral (1987), la ponderación de cada variable en la fórmula se hizo en rangos que van de 10 a 100, considerando especialmente las características del cultivo de la caña de azúcar tales como contenido de materia orgánica del suelo como criterio para la nutrición (Pérez Zamora -2005- definió un umbral de 2% de MO); la capacidad de retención hídrica (según clase textural) también ha sido una variable significativa en relación a las necesidades de agua del cultivo, teniendo en cuenta que se trata mayoritariamente de producción en condiciones de secano. También la conductividad eléctrica del suelo (salinidad) recibe una ponderación especial para el cultivo de caña, ya que se trata de una especie moderadamente sensible a la salinidad, por lo que valores de 2 dsm⁻¹ restringen marcadamente los rendimientos del cultivo.

Cada IP fue calculado mediante la siguiente fórmula:

$$IP: C \times D \times T_1 \times T_2 \times Pe \times Mo \times Sa \times Na \times CIC \times P$$

Donde:

IP: índice de productividad; C: características climáticas; D: drenaje; T₁: textura del horizonte superficial; T₂: textura del subsuelo; Pe: profundidad efectiva del suelo; Mo: contenido de materia orgánica; Sa: salinidad; Na: alcalinidad; CIC: capacidad de intercambio de cationes; P: pendiente del terreno.



El método consiste en asignar a cada uno de los parámetros de la fórmula (resultados del relevamiento y análisis de los suelos) un valor porcentual, donde 100 implica que la variable es óptima y valores menores que 100 presentan algún grado de limitación. Los IP obtenidos se han agrupado en cuatro grupos: $IP < 39$ (muy bajo); $IP = 40-54$ (bajo); $IP = 55-69$ (medio) e $IP > 70$ (alto). Moscatelliet *al.* (2005) usó rangos muy similares para caracterizar IP de unidades cartográficas en cuatro departamentos de la provincia de Tucumán.

Para analizar la asociación de las variables con cada rango de IP se realizó el análisis Biplot de los componentes principales. Este análisis se caracteriza por la construcción de un gráfico con un par de ejes ortogonales que corresponden a los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2), y dentro de este se grafican tanto los IP como cada una de las variables utilizando como coordenadas los valores propios de CP1 y CP2. Una vez graficados los IP y las variables, se realizó el análisis de los ángulos formados por las rectas que unen el centro de coordenadas $CP1 = 0$ y $CP2 = 0$ con cada IP y variable; así, ángulos agudos indican asociaciones significativas entre las variables analizadas (el coseno del ángulo aproxima a la correlación entre las variables) y la proximidad de una variable con un rango de IP determinado resalta la mayor influencia de aquella en el índice de productividad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se observa la distribución porcentual de los rangos de IP para los 2.550 sitios estudiados en las distintas regiones agroecológicas en las que se cultiva caña de azúcar. En las regiones del Pedemonte y la Llanura Chacopampeana subhúmeda húmeda los IP altos son significativamente mayoritarios, es decir son suelos sin limitaciones o estas tienen un carácter tan leve que no afectan de modo significativo la producción del cultivo.

En la región pedemontana, sobre un total de 300 perfiles analizados, un 63% de los sitios estuvieron en el rango de IP alto, mientras que un 23% correspondió al rango medio y un 13% al rango bajo. Sin embargo, del análisis de las estimaciones de rendimiento realizadas por imágenes satelitales (Fandos *et al.*, 2017) se desprende que las producciones de caña de azúcar que se obtienen están por debajo del potencial productivo de la región, lo que se explicaría por manejos culturales inadecuados del cañaveral tales como cultivos a favor de la pendiente, quema de residuos agrícolas de cosecha (RAC), fertilización insuficiente y/o baja eficiencia del fertilizante, etc. Una de las limitaciones de la región es el riesgo de erosión hídrica por las pendientes moderadas y la fuerte concentración de lluvias en el período estival. La cobertura de maleza sobre la superficie del suelo después de la cosecha se determinó una pérdida de suelo por erosión un 78% menor y una infiltración dos veces superior en comparación con la del suelo sin cobertura (Sanzano *et al.*, 2009).

En la subregión subhúmeda-húmeda de la Llanura Chacopampeana, sobre un total de 150 sitios relevados se determinó un 78% de los suelos en el rango de IP alto, mientras que un 21% se ubicaron en el rango medio. Las limitaciones son más de tipo climático que edáficas, acentuándose el déficit hídrico hacia el este de la subregión, por lo que el mantenimiento del RAC incrementa la conservación de la humedad del suelo con respecto a un suelo sin cobertura, especialmente de la capa superior del mismo y en los años de más estrés hídrico primaveral (Digonzelli *et al.*, 2011).

En la subregión occidental de la Llanura Deprimida, sobre un total de 1200 sitios relevados, hubo un 53% de los suelos en el rango de IP medio, con limitaciones que pueden provocar disminuciones ligeras o moderadas del rendimiento del cultivo; mientras que en un 38% se calculó IP bajos, con limitaciones de moderadas a severas. La obtención de altos rendimientos en los suelos de IP medios requiere la aplicación de buenas prácticas agrícolas, tales como la evacuación del agua superficial con orientación de surcos y callejones, mientras que para suelos de IP bajos se sugiere la construcción de canales de desagüe y/o drenaje para el logro del mismo propósito (Sanzano&Fadda, 2009).

En la subregión oriental de la Llanura Deprimida, con 900 sitios relevados, un 11%, 47% y 41% de los suelos se ubican en los rangos de IP muy bajo, bajo y medio, respectivamente. En esta área, la conjunción de limitantes climáticas y edáficas moderadas a severas, tales como precipitaciones insuficientes, suelos imperfecta o pobremente drenados, problemas de salinidad y/o alcalinidad, etc., hacen que para la obtención de altos rendimientos de la caña de azúcar deban efectuarse inversiones muy costosas con una probable muy baja relación costo/beneficio.

En la Figura 2, se muestra el grado de asociación entre los factores que componen el IP, así como la influencia diferencial de esas propiedades sobre cada uno de los rangos de productividad para la región del Pedemonte cañero. La presencia de suelos con más de 50% de arena total (promedio hasta 90 cm de profundidad) fue detectada en un 32% de los sitios relevados. En función del análisis Biplot se observó que este parámetro tuvo una fuerte influencia en los IP bajos, debido a la baja capacidad de retención de agua que genera condiciones de estrés hídrico al cultivo (Singelsetal., 2000). En la provincia de Tucumán, Fogliata (1995) estimó una correlación positiva entre capacidad de agua útil y rendimiento cultural de la caña de azúcar en un suelo arenoso de la localidad de León Rougés.

Por otra parte, el rango de IP alto fue explicado por el elevado contenido de materia orgánica en primer término, mientras que también influenciaron, aunque en menor medida, el contenido de limo y arcilla del suelo. La materia orgánica es la fuente principal de nitrógeno nativo y abastece el 50% de las necesidades de la caña de azúcar (Van

Antwerpen *et al.*, 2003). Los suelos con IP medios no fueron influenciados por ninguna variable en particular, mientras que los IP muy bajos se estimaron para menos del 1% de los sitios (tres casos), por lo que no se hacen consideraciones estadísticas sobre este rango en esta región.

En la Figura 3 se muestra el análisis de componentes principales para la región de la Llanura Chacopampeana subhúmeda-húmeda. El contenido de limo del suelo tuvo una marcada influencia sobre los IP altos y los porcentajes de arena y materia orgánica lo hacen con el IP medio, pero en menor medida. La Llanura Chacopampeana está caracterizada por materiales originales de origen eólico, bien drenados y de gran homogeneidad textural, con predominio de suelos francos y franco limosos (Zuccardi & Fadda, 1985). Un 91% de los sitios relevados tuvieron un contenido de limo superior a 45% en promedio hasta los 90 cm superiores del perfil de suelo, con alta capacidad de almacenaje de agua.

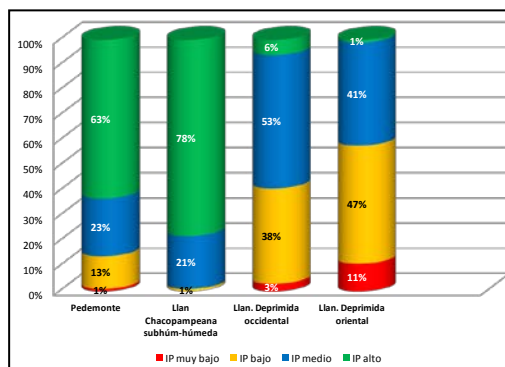
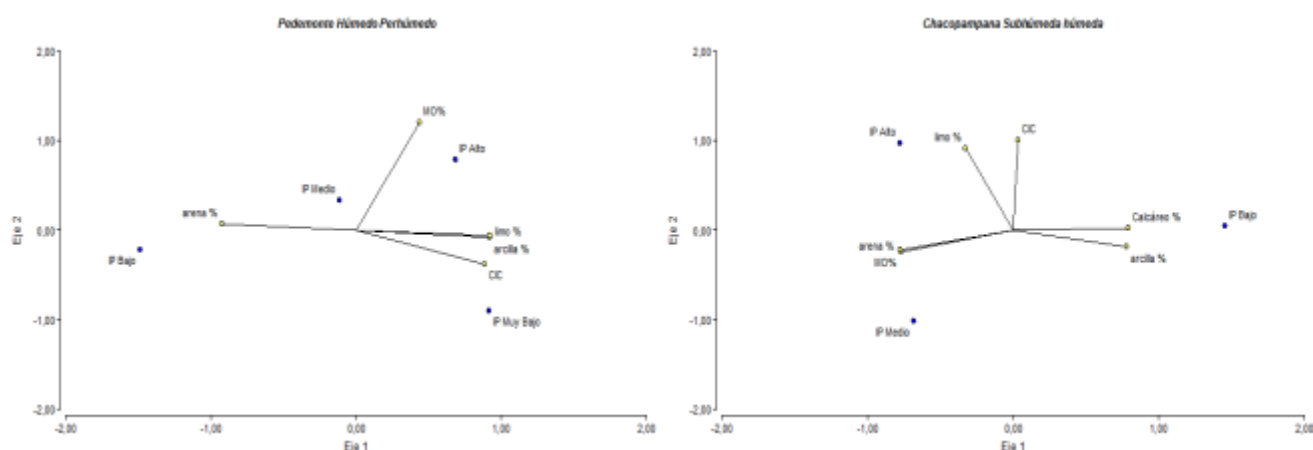


Figura 1: Distribución porcentual de Índices de Productividad de 2550 suelos en las distintas regiones cañeras de la provincia de Tucumán- Argentina.

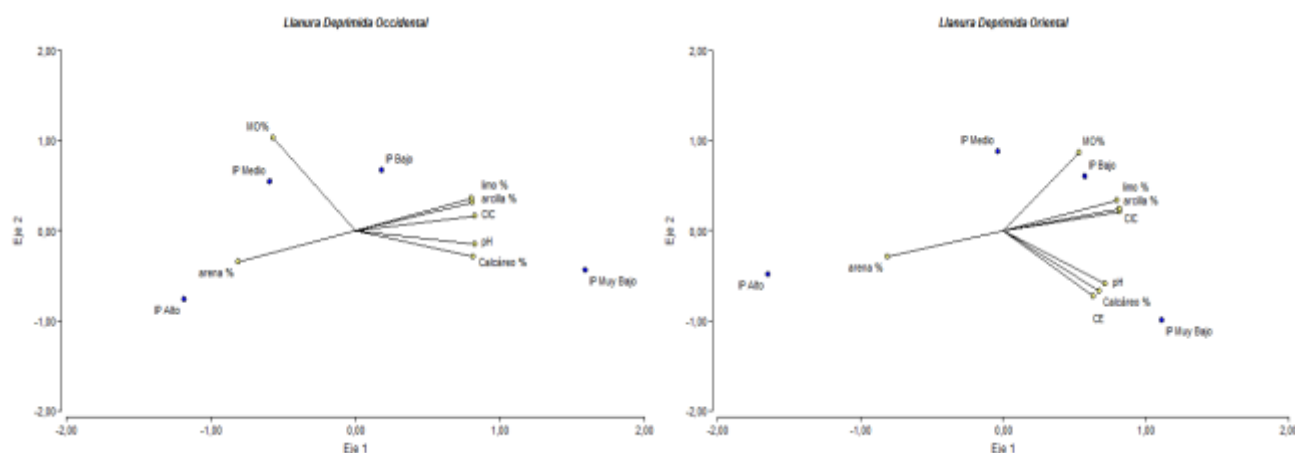


Figuras 2 y 3: Asociación entre variables edáficas e influencia sobre los IP en las regiones de Pedemonte y Llanura Chacopampeana de Tucumán.

En la Figura 4 se muestra el análisis Biplot para la subregión occidental o no salina de la Llanura Deprimida. En esta subregión, caracterizada por la presencia de una capa freática de naturaleza fluctuante (Figueroa *et al.*, 1996), se observa que los IP muy bajos están fuertemente influenciados por los altos valores de pH y de carbonato de calcio, variables a su vez fuertemente asociadas entre sí. Arroyo *et al.* (2016) determinaron para esta subregión la presencia de calcáreo en todos los suelos con pH superior a 7,1, los que en este trabajo representaron el 67% de los sitios relevados. La concentración y profundidad del carbonato de calcio en esta área es dependiente del nivel freático que impide el lavado del mismo. La clorosis férrica inducida por la presencia de calcáreo en suelos cultivados con caña de azúcar ha sido señalada por Fogliata (1980) en Tucumán, con daños severos si los valores de calcáreo están entre 1,5 y 2% y reducciones de altura de los tallos molibles de hasta un 50%. Las texturas medias y finas de los suelos influenciaron también en el rango de IP bajo, aunque en menor medida. La dificultad que tienen estos suelos para mejorar su condición de drenaje por disminución del nivel freático debido a su baja permeabilidad ha sido señalada por Mitchell *et al.*

(2001). La correlación positiva entre profundidad del nivel freático y rendimiento de la caña también ha sido reportada por Camp and Carter (1983) en Luisiana, y por Cruz (1995) en Colombia, mientras que la influencia negativa del exceso hídrico sobre la brotación y el desarrollo radicular fue estudiada por Morris and Tai (2004) en Florida. También se observa en la Figura 4 que mayores contenidos de arena determinan IP altos en oposición a lo encontrado en la región del Pedemonte.

En la Figura 5 se muestra el análisis Biplot para la subregión oriental de la Llanura Deprimida. Esta subregión, también caracterizada por una capa freática de naturaleza fluctuante, pueden encontrarse suelos que, en sus fases salinas, contienen entre 0,2 y 2% de sales solubles, mientras que el sodio en cambio puede ocupar desde el 10 al 70% del complejo de intercambio, con una reacción química desde moderada a fuertemente alcalina (Zuccardi y Fadda, 1985). Hubo una fuerte asociación entre las variables pH, calcáreo y conductividad eléctrica entre sí, con una significativa influencia sobre los IP muy bajos. En esta subregión, se detectó un 18% de suelos desde moderados a fuertemente alcalinos en los primeros 60 cm de profundidad, con valores de sodio intercambiable que superaron el 10% de la CIC en todos los casos. Esto afecta significativamente la absorción de nutrientes por parte de la planta, lo que se traduce en una severa disminución del rendimiento de la caña de azúcar. Aunque el método Biplot señala la influencia de la CE del suelo en el IP muy bajo, se aclara que los suelos con estas características solo ocuparon un 5% del total de sitios relevados en la subregión. El contenido de limo y arcilla y la capacidad de intercambio de cationes también mostraron una fuerte asociación entre sí pero con una mayor influencia en los IP bajos, que representaron casi la mitad de los sitios relevados. Los contenidos más altos de materia orgánica también explicaron los IP bajos, aunque esto probablemente se deba a la menor descomposición de la materia orgánica como consecuencia de una pobre aireación ligada tanto al exceso hídrico como a la textura fina presente en estos suelos. En Sudáfrica, Miles *et al.* (2016) compararon un gran número de suelos cultivados con caña de azúcar de regiones húmedas y frías con otros de áreas secas y cálidas, encontrando mayores niveles de materia orgánica en los primeros por un proceso de descomposición más lento. Al igual que en la subregión occidental de la Llanura Deprimida, los IP altos se presentan influenciados por los suelos de mayor porcentaje de arena, ya que en general estos suelos, además de encontrarse en las posiciones más altas del relieve, presentan una permeabilidad mayor y por lo tanto una mejor condición de drenaje.



Figuras 4 y 5: Asociación entre variables edáficas e influencia sobre los IP en la región de Llanura Deprimida occidental y oriental de Tucumán.

CONCLUSIONES

La estimación de los Índices de Productividad (IP) permitió establecer una relación más precisa entre los factores edafo-climáticos de las regiones agroecológicas y la producción de caña de azúcar en la provincia de Tucumán. Las propiedades condicionantes de los IP fueron distintas en cada región estudiada.

En las regiones del Pedemonte y de Llanura Chacopampeana subhúmeda - húmeda los IP altos representaron el 63% y 78% del total de suelos relevados, respectivamente. Estos IP se explicaron por el contenido de materia orgánica y en menor medida, por el contenido de limo y arcilla en la primera región; y por el contenido de limo y la alta capacidad de almacenaje de agua de los suelos en la segunda. En ambas regiones, los factores limitantes para la producción sostenida de caña de azúcar son leves, por lo que las buenas prácticas de manejo debieran conducir a la obtención de mayores rendimientos a los actualmente logrados.



Para la subregión occidental de Llanura Deprimida, los suelos de IP medios y bajos representan un 53% y un 38% del total, indicando que existen limitaciones moderadas y severas, tales como poca profundidad del nivel freático fuertemente asociado a variables tales como pH moderadamente alcalinos, presencia de carbonato de calcio y texturas medias y finas que dificultan la evacuación rápida de los excesos hídricos. Deben entonces implementarse prácticas más costosas para mejorar la condición de drenaje general de los suelos de la subregión.

En la subregión oriental de la Llanura Deprimida se detectaron 47% de suelos con IP bajos y 11% con IP muy bajos, con limitaciones edáficas severas, tales como pH fuertemente alcalinos, presencia de calcáreo y altos porcentajes de sodio intercambiable y, en menor medida, presencia de sales solubles. Esta área requiere, además de prácticas que utilicen enmiendas químicas y/o biológicas correctivas, lo que puede significar una relación costo/beneficio no compatible con el marco socio económico actual de la actividad azucarera en la provincia de Tucumán.

BIBLIOGRAFÍA

- Arroyo EA; ND Aranda; GA Sanzano; SI Figueroa & JP Navarro Di Marco. 2016. Comparación de la variabilidad de parámetros edáficos entre dos localidades representativas de las regiones de Llanura deprimida no salina y Llanura chacopampeana de la provincia de Tucumán. XX Reunión Argentina de Satca. CD ROM.
- Camp, C& C Carter. 1983. Sugarcane Yield response to Subsurface Drainage for an Alluvial Soil. Transactions of the ASAE 1983, pp. 1112-1116.
- Cruz, RV. 1995. Drenajes. En: El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali. pp. 211-233.
- Dignonzelli, PA; MJ Tonatto; ER Romero; GA Sanzano; J Ullivari; JA Giardina & JScandaliaris. 2011. Assessing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina. Part 2: Soil water and thermal regime, stalk population dynamics and sugarcane production. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 88 (2): 1-12.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1976. A framework for land evaluation. Soils Bulletin 32, Rome, Italy, FAO.
- Fandos, C; J Scandaliaris; P Scandaliaris; J Carreras Baldrés & F Soria. Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2017. 2017. **Reporte Agroind. 138. EEAO.**
- Figueroa, LR; LF Medina & AMP de Lobo. 1996. Variaciones del nivel freático en la llanura deprimida de Tucumán. Serie Monográfica N° 3. INTA. CRTS.
- Fogliata, F& V Bustos. 1980. Sugarcane ferric chlorosis in excessive calcareous soils. Proc. ISSCT 17: 262-280.
- Fogliata, F. 1995. Riego y Drenaje, Capítulo 8 en Agronomía de la Caña de Azúcar. (Vol. 2): 763- 930.
- Miles N; R Van Antwerpen & SRamburan. 2016. Soil organic matter under sugarcane: levels, composition and dynamics. Proc S Afr Sug Technol Ass (2016) 89: 161-169.
- Mitchell, DC; HP Bohl; CH Roth & FJ Cook. 2001. The Dynamics of a shallow perched watertable on a heavy soil in the Lower Herbert Valley. Proc. Aust. Soc. SugarCane Technol. 23:148-153.
- Moscatelli G; RE Godagnone; JC Salazar Lea Plaza; V Nakama & MA Cuenca. 2005. Estudio de suelos para reconversión del sector agropecuario. Dptos. Famaillá, Monteros, Simoca y Chicligasta, Tucumán, pp. 132.
- Morris, DR & PYP Tai. 2004. Water table effects on sugarcane root and shoot development. Journal American Society Sugar Cane Technologists 24: 41-59.
- Nakama, V y R Sobral. 1987. Índices de productividad. Método paramétrico de evaluación de tierras. Sec. de Agricultura, Ganadería y Pesca- INTA. Documento del Proyecto PNUD Arg. 85/019, Buenos Aires.
- Pérez Zamora, F. 2005. Caña de Azúcar. Cap. 18 de Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ed. Echeverría H & F García. INTA.
- Riquier, J; DL Bramao & IL Cornet. 1970. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity. FAO AGLTERS 70/6.
- Sanzano, GA & GSFadda. 2009. Características edáficas y manejo de suelos en el área cañera de provincia de Tucumán. Recomendaciones de manejo. Manual del Cañero -EEAO, capítulo 2, pp. 23-31.
- Sanzano, GA; F Sosa; CF Hernández; M Morandini; J Romero; HR Quinteros & PADignonzelli. 2009. Evaluación de la erosión hídrica en caña de azúcar con y sin cobertura de maleza. Avance Agroind. (30) 3: 16 -18.
- Singels, A; AJ Kennedy & CNBezuidenhout. 2000. The effect of water stress on sugarcane biomass accumulation and partitioning. Proc. S. Afr. Sug. Technol. Assoc. 74: 169-172.
- Storie, RE. 1978. Storie Index for Soil Rating (Revised). Spec. Publ. 3203, Div. Agric. Sci. Univ. Calif., USA.
- Van Antwerpen, R; RJ Haynes; JH Meyer & DHlanze. 2003. Assessing organic amendments used by sugarcane growers for improving soil chemical and biological properties. PROC. S AFR. SUG. TECHNOL. ASS 77: 293-304.



- Van den Berg, M& ASingels.2013. Modelling and monitoring for strategic yield gap diagnosis in the South African sugar belt. Field Crops Research 143: 143–150.
- Zuccardi, RB & GSFadda. 1985. Bosquejo agrológico de la provincia de Tucumán. Misc nº 86. Facultad de Agronomía y Zootecnia- UNT, pp. 51.



C5P14. APLICACIÓN DEL ENFOQUE GEOPEDOLÓGICO PARA EL RELEVAMIENTO SEMIDETALLADO DE SUELOS EN EL NORESTE DE SANTIAGO DEL ESTERO

Vizgarra, Lidia A.¹; Moretti, Lucas M.²; Rodríguez, Darío M.³; Schulz, Guillermo A.³; TentiVuegen, Leonardo³; Mas, Laura I.¹ y Avalos, Andrea M.¹

- 1- INTA EEA Quimilí. Ruta Provincial N° 6 Km 14 (3740) Quimilí, Santiago del Estero vizgarra.lidia@inta.gob.ar
- 2- INTA EEA Cerro Azul. Ruta Nacional 14 Km 836 (3313) Cerro Azul, Misiones
- 3- INTA-CIRN. Instituto de Suelos. N. Repetto y Los Reseros s/n, Hurlingham (1686) Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN

El abordaje geopedológico alude a la relación entre geomorfología y pedología, ya que las formas del terreno determinan la formación y distribución de los suelos en el paisaje. Introduce un sistema categórico para la clasificación de geoformas a distintas escalas de análisis, brindando información del contexto geológico-geomorfológico en el que se desarrollan los suelos. El objetivo de esta contribución consiste en la aplicación de este enfoque para un sector del extremo noroeste de la cuenca de los Bajos Submeridionales, provincia de Santiago del Estero, a fin de apoyar el relevamiento semidetallado en la región. A tal efecto se realizó la recopilación y análisis de antecedentes para la clasificación de las geoformas de las categorías superiores del sistema. Para la categoría más baja o “Forma del terreno”, se delimitó una subcuenca en la que se reconocieron unidades geomorfológicas a escala 1:50.000, en base al modelo de elevación digital (30 m), fotografías aéreas e imágenes satelitales LANDSAT. En cada unidad se caracterizó el paisaje, se identificaron los suelos y se seleccionaron perfiles representativos, los cuales fueron descriptos y muestreados para los análisis físicos y químicos de laboratorio. Los suelos se clasificaron a nivel de Subgrupo según el sistema “SoilTaxonomy”. En total se reconocieron cuatro unidades geomorfológicas (geotaxas) caracterizadas por diferentes tipos de suelo (pedotaxas): 1) “planicie suavemente ondulada”, con predominio de Haplustolesénticos y típicos; 2) “pendientes” suaves, donde se desarrollan Argiustoles típicos y Haplustalfes incipientes; 3) “planos bajos”, donde se describieron Haplusterterésicos y típicos y Calciusterteropetrocálicos; y 4) “vías de drenaje” con el desarrollo de Endoacuerter típicos. El modelo de relación paisaje-suelo aquí establecido, servirá de base conceptual para el relevamiento y la elaboración de las Cartas de suelo semidetalladas para este sector del noreste de Santiago del Estero.

Palabras claves: Geomorfología, Cartografía, Bajos Submeridionales

INTRODUCCIÓN

El abordaje geopedológico (Zinck, 1988; 2012) se refiere a las relaciones conceptuales entre geomorfología y pedología, debido a que las formas del terreno controlan la formación y distribución de los suelos y, en retorno, el desarrollo de los suelos tiene influencia en la evolución del paisaje geomorfológico. A diferencia de un mapa convencional de suelo, las unidades de un mapa geopedológico contienen información sobre el contexto geomorfológico a distintas escalas de análisis, y son equivalentes aproximados al concepto de paisaje-suelo o *soilscape* (Buolet *et al.*, 1989). En este sentido, el enfoque introduce un sistema de clasificación taxonómico de geoformas de tipo jerárquico para ser utilizada a diversos niveles categóricos, de acuerdo al grado de detalle del inventario y de la escala de la cartografía de suelo a obtener. Por otra parte, si bien este abordaje fue propuesto a fines de la década del 80, en nuestro país cobró relevancia en los últimos años, hecho que puede constatarse a partir de los numerosos trabajos recientemente publicados en la obra “Geopedology” (Zinck *et al.*, 2016). Uno de los motivos radica en la necesidad de un mejor entendimiento de la génesis del paisaje-suelo para apoyar el relevamiento a escala semidetallada o detallada, principalmente en aquellas áreas en donde la información cartográfica disponible (mapas geológicos, geomorfológicos, de suelos, etc.) y el conocimiento de la geología del Cuaternario, es todavía insuficiente.

El objetivo del presente trabajo consiste en la aplicación del enfoque geopedológico en un área ubicada en el NE de Santiago del Estero, a fin de establecer la relación paisaje-suelo como marco conceptual para el relevamiento semidetallado. En este sector de la provincia fue donde se concentró la mayor superficie de modificación de la cobertura vegetal natural durante la última década provocando intensos procesos de degradación, surgiendo la necesidad de la aumentar la escala de los mapas de suelo para la toma de decisiones referidas al uso y manejo del recurso



MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área en estudio

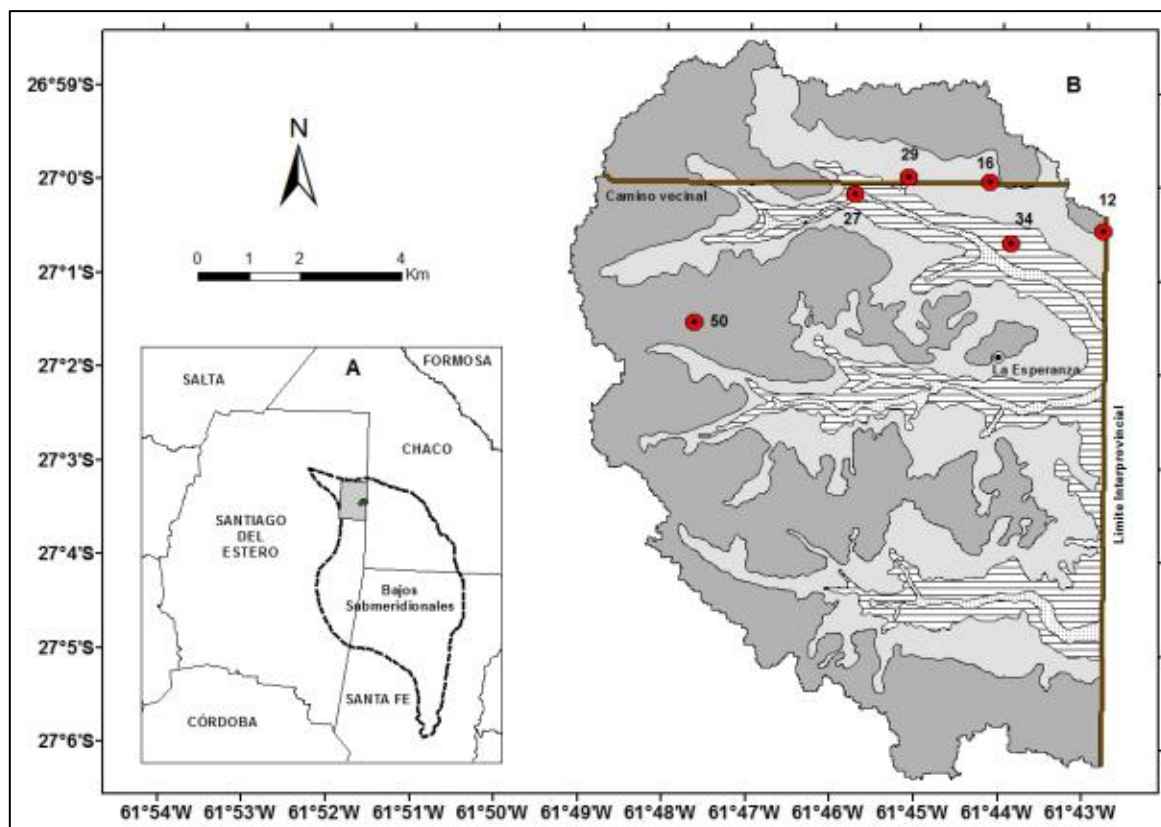
El área en estudio comprende un sector del extremo noroeste de la cuenca de los Bajos Submeridionales, en la provincia de Santiago del Estero, con una superficie de 11.000 ha (Fig. 1A). En su totalidad, la cuenca comprende el norte la provincia de Santa Fe, sur de Chaco y este de Santiago del Estero, abarcando en esta última, una superficie aproximada de 13.500 km². Es un extenso sistema hidrológico en la ecorregión “Bosques y Arbustales” del Chaco Semiárido (Daniele&Natenzon, 1994), con alternancias de períodos de sequías e inundaciones y una gran irregularidad en las precipitaciones mensuales (Girautet *al.*, 2001). Desde el punto de vista geológico comprende una gran cuenca sedimentaria, llamada Chacoparanaense (Ramos, 1999), la cual tiene una historia compleja relacionada con distintos procesos de subsidencia extensional. Durante el Cenozoico la sedimentación en la cuenca estuvo controlada por sistemas fluviales y aluviales efímeros, que luego fueron modificados por la acción eólica. Geomorfológicamente, este sector de la llanura chaqueña pertenece a la región del “Chaco Oriental”, en el área distal del mega-abanico aluvial del río Salado (Iriondo, 1993). Consiste en una llanura poligénica sujeta a modelado fluvio-eólico y presenta un relieve de muy escasa pendiente, siendo la dirección predominante del flujo de NO a SE. En lo que respecta a la cartografía de suelos, se cuenta con información a escala de reconocimiento (Vargas Gil, 1990), donde se indica el dominio de Argiudolesácuicos y Argiustolesúdicos, ambos con drenaje deficiente y erosión hídrica como principales limitantes. En relación con ello, el incremento de la agricultura en secano ocurrido durante la última década en el noreste de la provincia, ha acelerado los procesos de degradación de los suelos, hecho que se manifiesta con la presencia de cárcavas en el área aquí estudiada.

Metodología

En primera instancia se realizó la recopilación y análisis de antecedentes para la clasificación de las geoformas de las cinco categorías superiores, según el sistema taxonómico propuesto por Zinck (1988). Para la definición de la categoría inferior o “Forma del terreno” se delimitó una subcuenca (a la que llamamos “La Esperanza”) en la que se reconocieron las unidades geomorfológicas a escala 1:50.000, mediante la utilización del modelo de elevación digital (SRTM) de 30 m de resolución y con el apoyo de fotografías aéreas, imágenes satelitales LANDSAT 5 TM (1986 y 2000), LANDSAT 8 OLI (2015), SPOT 7 MS y P (2014-10-21). En base a esta información, se definieron las unidades de mapeo preliminares y la leyenda jerárquica de las geoformas para el estudio de la relación paisaje-suelo (Figura 1B). La densidad de la red de muestreo se estableció de acuerdo a la escala relevamiento (Rossiter& Vargas Rojas, 2004) y en total se realizaron 91 observaciones y 10 calicatas. En cada sitio se caracterizó el paisaje y se describió la morfología del perfil de suelo en base a las normas propuestas por Schoeneberger *et al.* (2012). De cada unidad geomorfológica reconocida se seleccionaron perfiles representativos y se extrajeron muestras de cada horizonte para los análisis físicos y químicos, de los cuales se presentan aquí: textura por el método de la pipeta de Robinson y materia orgánica por Walkey Black (Tabla 1). En base a los resultados obtenidos se clasificaron los perfiles seleccionados a nivel de Subgrupo, según el sistema “SoilTaxonomy” (SoilSurveyStaff, 2014), nivel taxonómico que provee información suficiente para el objetivo aquí planteado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los antecedentes geológicos y geomorfológicos para la subcuenca La Esperanza permitió clasificar las geoformas hasta el nivel de “Litología/facies”, según se analiza en la descripción del área en estudio y se presenta en la correspondiente leyenda del mapa geopedológico (Figura 1B).



Geoes- trutura	Ambiente morfog.	Paisaje geomorf	Relieve	Litología /facies	Forma del terreno	Leyenda	Suelos
Cuenca Chaco-paranaense	Deposicional	Llanura Chaqueña (Chaco oriental)	Cuenca de los Bajos Submeridionales	Aluvial y eólico	Planicie suavemente ondulada		Haplustolesénticos
							Haplustoles típicos
					Pendiente suave		Haplusterres típicos
							Haplustalfes incipientes
							Argiustoles típicos
							Calciusteres petrocálcicos
					Plano bajo		Haplusterres údicos
							Haplusterres típicos
							Calciusteres petrocálcicos
					Vía de drenaje		Haplusterres údicos
							Endoa cuertes típicos

Figura 1: A. Mapa de localización del área en estudio y B. Mapa y leyenda geopedológica de la Subcuenca “La Esperanza”, Santiago del Estero.



Respecto al nivel más bajo del sistema, denominado “Forma del terreno”, se identificaron y delimitaron cuatro unidades geomorfológicas (geotaxas), cada una de ellas caracterizada por diferentes tipos de suelo (pedotaxas) (Figura 1B y Tabla 1): 1) “planicie suavemente ondulada”, situada en la posición más alta de la subcuenca, donde se reconocieron Haplustolesénticos (perfil 50) (Figura 2A) en las lomas, junto con Haplustoles típicos en las depresiones. Poseen epipedones arcillosos, bien provistos en materia orgánica, seguidos por una sucesión de horizontes con granulometrías muy variables, cuya génesis está vinculada con diferentes ciclos de erosión/depositación fluvial y eólica ocurridos en la cuenca (Morettiet *al.*, 2017). 2) “pendiente suave”, con suelos de mayor desarrollo pedogenético, representados por Argiustoles típicos (perfil 16) junto con Haplustalfesincépticos (perfil 12) (Figura 2B). Poseen texturas que varían de franco arcillo limosa en superficie a franco limosa en profundidad y están bien provistos en materia orgánica. Estos suelos han sufrido procesos de erosión hídrica favorecidos principalmente por la longitud de la pendiente y su escasa cobertura superficial, hecho corroborado por la presencia de cárcavas en el ámbito del área cartografiada. 3) “plano bajo”, donde se identificó la presencia de Vertisoles, orden taxonómico no documentado en la cartografía disponible tanto para Santiago del Estero, como para la vecina provincia del Chaco, donde tiene continuidad esta subcuenca. La unidad presenta una asociación de Haplusterterésúdicos, Haplusterteres típicos (perfil 34) y Calciusterterespetrocálcicos (perfil 29), caracterizados morfológicamente por presentar agregados cuneiformes, slickensides y grietas desde la superficie hasta los 50 cm de profundidad. En el último caso, la presencia de un horizonte petrocálcico podría limitar la exploración de las raíces y la infiltración del agua, actuando además como un nivel de base para los procesos de erosión hídrica ocurridos en la subcuenca. En este sentido, se ha observado con frecuencia el afloramiento de este horizonte cementado con carbonato de calcio en el piso de las cárcavas relevadas. 4) “vía de drenaje”, sector más bajo y acotado del paisaje, donde la fluctuación del nivel freático en los vertisoles determina el desarrollo de Endoacuerteres típicos (perfil 27) (Figura 2C). Son suelos profundos, con textura arcillo limosa en casi todo el perfil y presencia de rasgos hidromórficos. En esta unidad, habrían prevalecido condiciones favorables para la pedogénesis, resultando en perfiles caracterizados por una sucesión de horizontes Bt que superan el metro de profundidad, posiblemente relacionado con más de un ciclo pedogenético.

Tabla 1: Datos físicos y químicos seleccionados de algunos perfiles representativos

Horiz.	Prof. (cm)	Estructura	Rasgospedológicos	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	M.O. (%)
Perfil 50 - Haplustoléntico (Lat. 27° 1' 28,25"S; Long. 61°47' 39,25"O)							
Ap	0-24	Bl.ang.m.f		5,5	56,2	38,3	3,69
2AC	24-45	Bl.ang.m.d		12,0	75,8	12,2	1,12
3C	45-66	Masivo		21,8	69,1	9,0	0,64
4Ck1	66-95	Masivo		41,6	51,7	6,7	0,43
5Ck2	95-150	Masivo		22,2	66,5	11,3	0,21
Perfil 16 - Argiustol típico (Lat. 26° 59' 56,75"S; Long. 61°44' 8,88"O)							
Ap	0-13	Bl.ang.g.f		4,8	54,3	40,9	2,78
Bt	13-26	Bl.ang.m.f	rev.cl.e.	3,8	57,0	39,3	2,31
BC	26-40	Bl.ang.m.mod		4,9	71,0	24,1	1,64
C	40-74	Masivo		4,8	82,0	13,2	1,28
Ck1	74-97	Masivo		15,3	75,6	9,1	0,88
Ck2	97-150+	Masivo		5,56	70,0	24,4	0,59
Perfil 12 - Haplustalfincéptico (Lat. 27° 0' 28,38"S; Long. 61°42' 47,56"O)							
Ap	0-10	Lam.g.mod		5,6	61,1	33,3	3,33
Bt1	10-28	Bl.ang.g.mod	rev.cl.c.	4,9	56,2	38,9	1,79
Bt2	28-40	Bl.ang.g.mod	rev.cl.e.	5,4	69,3	25,3	1,22
BCk	40-62	Bl.ang.m.mod		6,74	73,7	19,5	0,79
Ck1	62-108	Masivo		4,93	76,9	18,1	0,47
Ck2	108-150+	Masivo		2,47	87,0	10,6	0,36
Perfil 34 - Haplusterter típico (Lat. 27° 0' 36,34"S; Long. 61°43' 54,06"O)							
Ap	0-18	Bl.ang.g.f		5,2	55,9	38,9	2,79
Btss1	18-41	Pr.g.mod	rev.cl.abund. / slck.c.	3,4	49,2	47,4	1,19
Btss2	41-59	Pr.g.mod	rev.cl.c. / slck.c.	5,6	51,43	42,98	0,6
BC	59-88	Bl.ang.g.mod		7,8	60,86	31,29	0,33
Ck	88-140+	Masivo		15,5	62,7	21,8	0,22

Tabla 1: Datos físicos y químicos seleccionados de algunos perfiles representativos(Continuación)

Horiz.	Prof. (cm)	Estructura	Rasgospedológicos	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	M.O. (%)
Perfil 29 - Calciustertpetrocálcico (Lat. 26° 59' 54,65"S; Long. 61°45' 7,34"O)							
A	0-12	Bl.ang.m.f		6,2	59,7	34,2	3,19
Btss1	12-25	Pr.g.mod.	rev.cl.abund./ slck.c.	5,9	53,2	40,9	2,43
Btss2	25-44	Pr.g.mod.	rev.cl.c. / slck.e.	4,8	57,1	38,1	1,47
BCk	44-78	Bl.ang.m.mod		3,6	61,9	34,5	0,71
Ck	78-99	Masivo		11,3	52,1	36,6	0,64
Ckm	99+						
Perfil 27 - Endoacuert típico (Lat. 27° 0' 5,50"S; Long. 61°45' 45,19"O)							
Ap	0-17	Bl.ang.m.f		8,2	60,3	31,5	2,67
Bt	17-42	Bl.ang.g.f	rev.cl.c.	7,9	51,3	40,8	1,47
Btss1	42-84	Pr.g.f	slck. abund.; mot.f.c.; conc. Fe e.	6,5	43,0	50,5	0,74
2Btss2	84-110	Pr.m.f	slck. abund.; mot.f.c.; conc. Fe e.	27,1	45,7	27,2	0,41
2Bt	110-128	Pr.g.f	rev.cl.; mot.m.c.; conc. Fe e.	24,8	50,4	24,8	0,34

Referencias: Estructura: Bl: Bloques; Pr: Prismas; Lam: Laminar; ang: angulares; m: medios; g: gruesos; d: débiles; mod: moderados; f: fuertes. Rasgos pedológicos: rev: revestimientos; cl: clay; slck: slickensides; mot: moteados; f: finos; m: medios; abund: abundantes; c: comunes; e: escasos; Conc: concreciones; Fe: hierro.

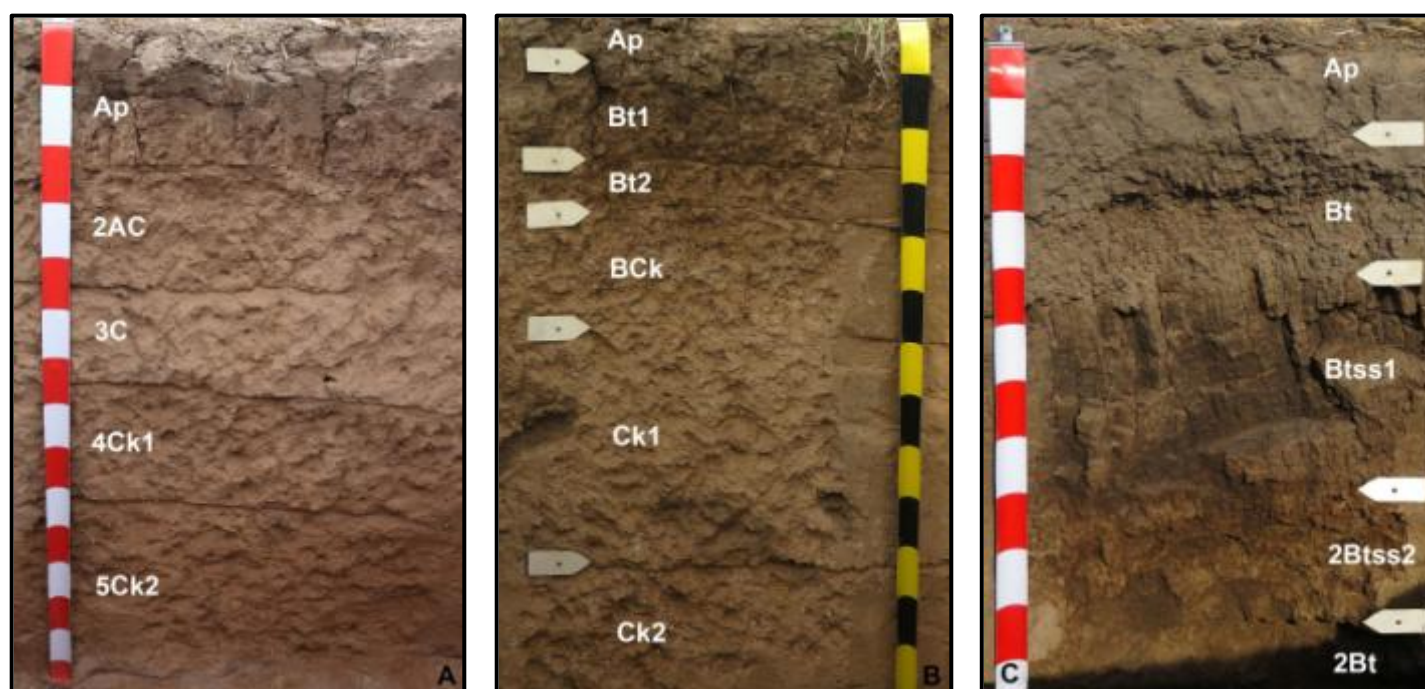


Figura 2:Perfiles de suelo representativos en una toposecuencia. **A.** Loma suavemente ondulada, Perfil 50 (Haplustoléntico). **B.** Pendiente suave, Perfil 12 (Haplustalfincéptico). **C.** Vía de drenaje, Perfil 27 (Endoacuert típico).

CONCLUSIONES

La aplicación del enfoque geopedológico en la subcuenca La Esperanza, permitió la diferenciación de cuatro unidades al nivel categórico de “Forma del terreno”, cada una caracterizada por distintos tipos de suelo. La planicie suavemente ondulada presenta suelos del orden Molisol de poco desarrollo pedogenético, originados en un ambiente de inestabilidad geomórfica relacionada con los ciclos de erosión y depositación sedimentaria documentados en la región. Las unidades de pendiente presentan suelos de mayor grado de desarrollo, de los órdenes Molisol y Alfisol, que están afectados por procesos de erosión hídrica, hecho que ha generado cárcavas en el área cartografiada. La longitud de la pendiente, la falta de cobertura y la profundidad efectiva de los suelos controlarían en principio el desarrollo de estos



procesos de degradación. Finalmente, en los planos bajos y vías de drenaje dominan suelos del orden Vertisol, que no habían sido documentados hasta el momento en la cartografía disponible. Son suelos de elevado grado de desarrollo pedogenético, de textura fina, con claras evidencias morfológicas de expansión-contracción y, acotado a las vías drenaje, se manifiestan rasgos hidromórficos debido a la fluctuación del nivel freático. En esta última unidad, los perfiles de suelo superan el metro de profundidad, lo que probablemente esté relacionado con más de un ciclo de pedogénesis.

De esta manera, el modelo de relación paisaje-suelo aquí planteado servirá de base conceptual para el relevamiento y futura elaboración de las Cartas de suelo semidetalladas, para este sector de la provincia de Santiago del Estero.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco de los Proyectos de investigación de INTA (PNSUELO-1134032 y PNSUELO-1134022, TUSGO 1231408) y gracias al apoyo local del Lic. Miguel Boetto, Lic. Juana López, Ing. Josefina Uribe Echevarría e Ing. Sergio Roldán.

BIBLIOGRAFÍA

- Buol, SW; Hole, FD & RJ McCracken. 1989. Soil genesis and classification. 3rd ed. Ames, IA: The Iowa State University Press, 446 p.
- Daniele, C & C Natenzon. 1994. Las Regiones naturales de Argentina: Caracterización y Diagnóstico. En: El Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas de la República Argentina. APN / Secretaría Programa MAB-UNESCO.
- Giraut, M; Laboranti, E; Rey, C; Fioriti, M & S Ludueña. 2001. Cuenca Propia de los Bajos Submeridionales. Creación de una unidad hídrica independiente. En Seminario Internacional sobre manejo integral de cuencas hidrográficas. 8 al 12 de octubre de 2001. Rosario. Argentina.
- Iriondo, MH. 1993. Geomorphology and late Quaternary of the Chaco (South America). Geomorphology 7: 289-303.
- Moretti, LM; Vizgarra, LA; Rodríguez, DM; Schulz, GA; Paladino, IR & HJM Morrás. 2017. Nuevos aportes sobre la génesis y taxonomía de los suelos en el Noreste de Santiago del Estero. XX Congreso Geológico Argentino. Tucumán. 12 p.
- Ramos, V. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina, Buenos Aires, Anales 29 (3): 41-96.
- Rossiter, DG & R Vargas Rojas. 2004. Metodologías para el levantamiento del recurso suelo. ITC, Enschede, the Netherlands; CLAS, Cochabamba, Bolivia. 145pp. Agosto 2004. This is a Spanish-language translation and adaptation of the previous. Disponible en: http://www.css.cornell.edu/faculty/dgr2/teach/ssm/SSM_LectureNotes2_E.pdf [Acceso: 02-03-2018].
- Schoeneberger, PJ; Wysocki, DA & EC Benhamy. Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Soil Survey Staff. 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos, Décima segunda edición. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 399 p.
- Vargas Gil, JR. 1990. Santiago del Estero. Atlas de la República Argentina. Tomo II. Proyecto PNUD ARG- 85/019.
- Zinck, JA. 1988. Physiography and Soils Lecture Note SOL.4.1. International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC), Enschede (NL), pp 156.
- Zinck, JA. 2012. Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales ITC Special Lecture Notes Series, ITC. Enschede.
- Zinck, JA; Metternicht, G; Bocco, G & H Del Valle. 2016. Geopedology. An integration of geomorphology and pedology for soils and landscape studies. Ed. Springer Springer International Publishing Zinck, A; Metternicht G; Bocco, G & HF Del Valle (Eds.). 556 p.



C5P15. ESTUDIO DE SUELOS DEL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Zamora, Eduardo M.^{1,2}; Faule, Lautaro^{1,2}; Vicondo, Manuel E.¹ y Carnero, Mariana³.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ruta Nac. N° 9 Km 636. Manfredi. Argentina. vicondo.manuel@inta.gob.ar

²Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Córdoba.

³Ministerio de Agua Ambiente y Servicios Públicos de Córdoba.

RESUMEN

Con el objetivo de contribuir a la planificación del uso, conservación y establecer las bases técnicas para el manejo del suelo, se relevó un área de aproximadamente 2 millones de hectáreas, comprendida entre los paralelos 31°00' y 29°30' S y los meridianos 64°00' y 65°45' O, abarcando parcialmente los departamentos Totoral, Tulumba, Sobremonte, Ischilín, Cruz Del Eje, Punilla y Minas de la provincia de Córdoba. El estudio comprende parte del gran ambiente geomorfológico denominado Bolsón de las Salinas Grandes, además de áreas serranas, en donde el uso de la tierra es predominantemente ganadero extensivo, y los valles de Avellaneda y Macha con actividad agrícola. Los procedimientos de reconocimiento y caracterización de suelos, se realizaron tal como se describe en "Normas de Reconocimiento de Suelos" de Etchevehere, basadas en el "Soil Survey Manual" (USDA). Los materiales básicos empleados para la fotointerpretación fueron fotografías aéreas a escala 1:20:000, imágenes satelitales Landsat 8, Sentinel 2 y Google Earth y hojas topográficas del I.G.N. La clasificación taxonómica de los suelos se basó en el sistema Soil Taxonomy 2014. Se describió el clima y la vegetación de cada región y se elaboró un esquema geomorfológico. Se realizó una descripción de los suelos, poniendo especial énfasis en sus aspectos genéticos y su relación con el paisaje. Las unidades cartográficas fueron clasificadas por su capacidad de uso a nivel de clase y subclase; también se determinaron los Índices de Productividad. Como resultado se obtuvo el mapa básico de suelos a escala 1:100.000. Se identificaron 62 series pertenecientes a 30 subgrupos de los órdenes Aridisoles, Molisoles y Entisoles dentro de los regímenes de humedad ústico y arídico. En las áreas serranas se encontraron principalmente los subgrupos Ustorthent Lítico, Haplustol Éntico, Calciustol Típico y Petrocálcico. En los conos y abanicos aluviales así como en las planicies de derrames proximales y lomas loésicas onduladas se destacan Haplustoles Arídicos, Haplustoles Torriorthénticos y Argiustoles Arídicos. Mientras que en las planicies de derrames distales aparecen mayoritariamente los Torriorthents Ústicos y Haplocambides Ústicos. Estos últimos, también se presentan en los depósitos eólicos perisulares y áreas salinas asociados a Aridisoles hidroalomórficos. En las fajas fluviales predominan Haplustoles Torrifluventicos. Y en los valles tectónicos dominan Haplustoles y Argiustoles Típicos. Se definieron 113 unidades cartográficas entre asociaciones, complejos determinados e indeterminados. En cuanto a la capacidad de uso la mayor parte del área comprende las clases VI y VII. En las áreas serranas y periserranas asociadas a las subclases "es" y "ec" debido a la presencia y susceptibilidad a la erosión hídrica, suelos someros o pedregosos. Mientras que en los depósitos eólicos perisulares, la subclase "es" y "sc" son consecuencia de los altos contenidos de sales y texturas gruesas susceptibles a erosión eólica. En menor medida encontramos las clases III y IV con limitantes "ec" en los valles de Avellaneda y Macha. En el futuro se espera contrastar esta información con el uso actual de la tierra en toda el área para establecer posibles conflictos de uso y proponer alternativas de manejo y conservación del suelo.

Palabras clave: Cartografía, relación suelo-paisaje, capacidad de uso.