

GEOPEDOLOGÍA DEL SECTOR NOROCCIDENTAL DE LA CUENCA DE LOS BAJOS SUBMERIDIONALES, ARGENTINA

Lidia Amanda Vizgarra ^{1*}, Lucas M Moretti ², Leonardo Tenti Vuegen ³,
Darío M Rodríguez ³, Guillermo A Schulz ³, Emiliano M Bressan ³, Joana D Laghi ³

1 Estación Experimental Agropecuaria Quimili, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

2 Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

3 Instituto de Suelos, Centro de Investigación en Recursos Naturales, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

RESUMEN

Se realiza el estudio geopedológico de una subcuenca en el límite Santiago del Estero-Chaco, en el borde noroccidental de la cuenca de los Bajos Submeridionales, con el objetivo de profundizar en el conocimiento de los factores y procesos formadores que controlan el tipo y distribución de los suelos de la región. Para tal fin se realiza un mapa geomorfológico, y se estudian calicatas representativas de cada unidad de paisaje delimitada. En laboratorio, se llevan a cabo los análisis físicos y químicos de rutina para cada perfil. Los resultados obtenidos permitieron identificar cuatro unidades de paisaje-suelo a nivel categórico de "Forma del terreno": 1) Planicie suavemente ondulada, con Molisoles de poco desarrollo y con numerosas discontinuidades litológicas. Los procesos pedogenéticos dominantes corresponden a melanización en superficie y carbonatación en profundidad; 2) Pendiente (0,5 a 1,5%), donde se reconocen Molisoles de mayor desarrollo, además de Alfisoles, sujetos a procesos de erosión hídrica. Los procesos pedogenéticos corresponden a melanización, argiluviación y carbonatación; 3) Plano bajo, donde dominan Vertisoles bien desarrollados y que no habían sido documentados hasta el momento en la cartografía disponible para el sector chaqueño. Los procesos pedogenéticos en esta unidad son melanización, carbonatación, argiluviación, vertisolización y óxido-reducción; y 4) Vía de drenaje, en la que además de Vertisoles se identificaron Alfisoles. Los procesos dominantes corresponden a óxido-reducción, dada por la fluctuación de la napa, mientras que en los Alfisoles se adiciona el de sodificación. El estudio realizado brinda una nueva interpretación acerca de la génesis y distribución de los suelos en la región. Asimismo, la información generada resulta de utilidad para futuros relevamientos semidetallados en el sector santiagueño de la cuenca de los BBSS, donde la agricultura avanzó y es necesaria la toma de decisiones para mitigar los procesos de degradación, como la erosión hídrica y la salinización.

Palabras claves: relación paisaje-suelo; cartografía; Santiago del Estero; Chaco.

GEOPEDOLOGY OF THE NORTHWEST SECTOR OF THE BAJOS SUBMERIDIONALES BASIN, ARGENTINA

* Autor de contacto:
vizgarraamanda@gmail.com

Recibido:
17-11-21

Recibido con revisiones:
14-04-22

Aceptado:
14-04-22

ABSTRACT

The geopedological study of a sub-basin in the Santiago del Estero-Chaco limit, on the northwestern edge of the Bajo Submeridionales basin, is carried out, with the aim of deepening the knowledge of the factors and formative processes that control the type and distribution of the soils of the region. For this purpose, a geomorphological map is made, representative pits of each delimited landscape unit are studied and sampled. In the laboratory, routine physical and chemical analyzes are carried out for each profile. The results obtained allowed the identification of four landscape-soil units at the categorical level of "Landform": 1) Gently undulating plain, with little-developed Molisols and numerous lithological discontinuities. The dominant

pedogenetic processes correspond to surface melanization and deep carbonation; 2) Slope (0.5 to 1.5%), where more developed Molisols are recognized, in addition to Alfisols, subject to water erosion processes. Pedogenetic processes correspond to melanization, argiluviation, and carbonation; 3) Low plane, where well-developed Vertisols dominate and that had not been documented so far in the cartography available for the Chaco sector. The pedogenetic processes in this unit are melanization, carbonation, argiluviation, vertisolization, and oxide-reduction; and 4) Drainage path, in which, in addition to Vertisols, Alfisols were identified. The dominant processes correspond to oxide-reduction, given by the fluctuation of the layer, while in the Alfisols the sodification is added. The study carried out provides a new interpretation of the genesis and distribution of soils in the region. Likewise, the information generated is useful for future semi-detailed surveys in the Santiago sector of the BBSS basin, where agriculture advanced and decision-making is necessary to mitigate degradation processes, such as water erosion and salinization.

Keywords: electrical conductivity, soil recovery, groundwater.

INTRODUCCIÓN

El abordaje geopedológico (Zinck, 1988, 2012, 2016) 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. En nuestro país varios autores lo han aplicado en el estudio de la génesis y cartografía de suelos (Angueira et al., 2016; Bedendo et al., 2016; Moretti et al. 2017; Moretti et al., 2018; Morrás y Moretti, 2016; Paladino et al., 2017; Vizgarra et al., 2018a y b) y la evaluación de tierras (Frugoni et al., 2016), como así también, en el estudio de la erosión y la conservación de suelos (Sayago y Collantes, 2016).

Este enfoque organiza la información paisaje-suelo a distintos niveles categóricos dentro de lo que se denomina el "paisaje geopedológico" (Zinck, 1988; 2012). En cartografía de suelos, resulta útil a la hora de integrar la información geomorfológica y pedológica en un solo mapa, resumiendo el modelo de distribución de suelos en el paisaje y sirviendo de base para direccionar el relevamiento en áreas no mapeadas o donde se quiera incrementar la escala.

En el sector noroccidental de la cuenca de los Bajos Submeridionales (BBSS) -noreste de Santiago del Estero y suroeste de Chaco- el avance de la agricultura ocurrido en los últimos 13 años (Camba Sans et al., 2018) ha despertado el interés de avanzar con el mapeo de los suelos a una escala adecuada para la toma de decisiones. En este sentido, Vizgarra et al. (2018b) realizaron la Carta de suelos (escala 1:50.000) de 11.000 ha en el sector santiagueño de la cuenca, y en donde las unidades de paisaje delimitadas tienen continuidad en la vecina provincia del Chaco. No obstante, existen diferencias en cuanto a los suelos identificados, ya que por ejemplo, en Santiago del Estero se reconocen Vertisoles acotados a las vías de escurrimiento y planos bajos adyacentes, mientras que en Chaco este orden taxonómico no ha sido reportado (Ledema et al., 1992). Por otra parte, estudios recientes orientados a la génesis de materiales originarios y suelos del sector santiagueño (Moretti et al., 2020), revelaron que durante el Pleistoceno-Holoceno los cambios climáticos, junto con procesos tectónicos y sedimentarios, provocaron la erosión de paleosuperficies pre-existentes y la redepositación de estos materiales en el ámbito de la cuenca. Esto condujo a la formación de suelos de distinto grado de desarrollo a partir de materiales parentales pedosedimentarios, caracterizados por numerosas discontinuidades litológicas.

El objetivo de este trabajo es profundizar en la comprensión de la relación paisaje-suelo mediante la aplicación del enfoque geopedológico en el ámbito de una subcuenca, ubicada en el límite de las provincias de Santiago del Estero y Chaco, del extremo noroccidental de la cuenca de los BBSS. De esta manera se pretende avanzar en el conocimiento de los factores formadores y procesos pedogenéticos que controlan el tipo y distribución de los suelos, integrando la información cartográfica existente para esta región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

La cuenca de los Bajos Submeridionales ubicada en la Llanura Chaqueña Argentina, consiste en un extenso sistema hidrológico que abarca el norte de la provincia de Santa Fe, sur de Chaco y este de Santiago del Estero (Giraut et al., 2001) (Fig. 1a). El área de estudio comprende una superficie de 20.506 ha extendida entre las provincias de Santiago del Estero y Chaco (subcuenca La Esperanza, Vizgarra et

al., 2018a) en el extremo noroccidental de la cuenca (Fig. 1b).

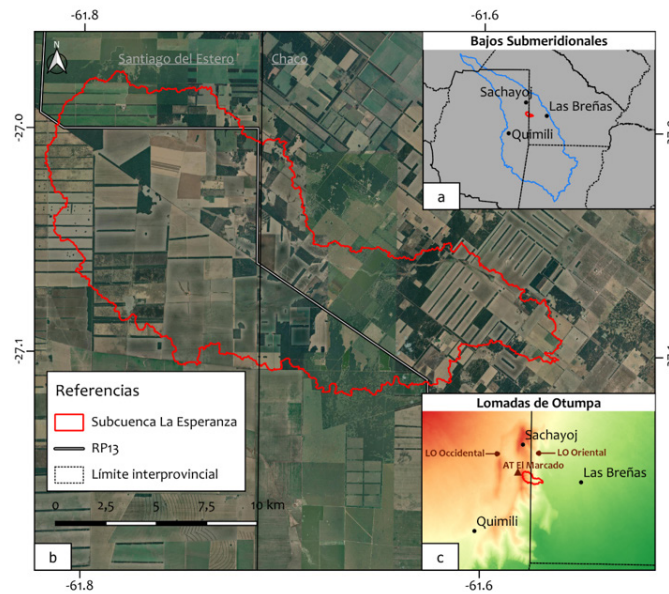


Figura 1. Ubicación del área de estudio. a) Cuenca de los Bajos Submeridionales. b) Subcuenca La Esperanza (delimitada en color rojo sobre una imagen google earth satellite). c) Lomadas de Otumpa y subcuenca La Esperanza (Modelo digital de elevación tandem X 90 m).

Figure 1. Location of the studied area. Basin of the Bajos Submeridionales. b) subcuenca La Esperanza (outlined in red on a google earth satellite image). c) Lomadas de Otumpa and subcuenca La Esperanza (Digital Elevation Model tandem X 90 m).

Marco geológico-geomorfológico

Desde el punto de vista geológico, la región pertenece a la gran cuenca sedimentaria “Chacoparanaense” (Ramos, 1999), la cual tiene una historia compleja relacionada con distintos procesos de subsidencia extensional. Con respecto a los rasgos estructurales del subsuelo en el área de interés, los principales serían la Fosa Las Breñas y el Alto basamental Pampeano Chaqueño situado en su margen noroccidental (Peri, 2012).

La estratigrafía comprende a las unidades rocosas de la Formación Las Piedritas, que representan un substrato pre-aluvial (Miró y Martos, 2002), ubicado en sector noroccidental de la región de los Bajos Submeridionales. Está conformada por areniscas cuarcíticas finas y muy finas silicificadas, compactas, dispuestas en estratos irregulares delgados, que alcanzan unos 25 m de espesor (Peri et al., 2014). En cuanto a su edad existe discrepancia entre distintos autores, siendo en primera instancia asignada al Plioceno (Miró y Martos, 2002) y posteriormente al Jurásico-Cretácico (Coriale, 2006), al ser correlacionada con las areniscas de la Formación Ituzaingó y de la Formación Tacuarembó respectivamente.

La sedimentación cenozoica estuvo controlada por sistemas fluviales y aluviales efímeros (Iriondo, 1990, 1997), que luego fueron parcialmente modificados por la acción eólica cuaternaria (Sayago, 1995). En esta región habrían sido depositados por los vientos del norte, sedimentos agrupados bajo el nombre de “loess chaqueño”, provenientes de las cuencas de los ríos Parapetí, Pilcomayo y Bermejo (Iriondo, 1997). Estos materiales se corresponden con la Formación Urundel (Iriondo, 1990) de edad Pleistoceno-Holoceno inferior, y se encuentran interestratificados con los depósitos aluviales y fluvioeólicos del abanico del Río Salado (Peri, 2012). Desde el punto de vista mineralógico, la Formación Urundel está compuesto principalmente por cuarzo e illita, sin vidrio volcánico (Iriondo, 1990). En tanto que el noroeste de Santa Fe y suroeste del Chaco, se correlacionan con el loess de la Formación Tezanos Pinto (Iriondo, 2012) integrado por illita en la fracción fina, y vidrio volcánico, feldspatos y micas en las fracciones gruesas, cuya procedencia se la vincula con las Sierras Pampeanas y los Andes.

Geomorfológicamente, el área se ubica en el sector distal del mega-abanico fluvial del río Salado del Nor-

te-Juramento (Thalmeier et al., 2019), en la región del "Chaco Oriental" (Iriondo, 1984, 2010), caracterizada por la presencia de sedimentos de granulometría mayormente limo arcillosa (Iriondo, 1993). El curso del río Salado fue interrumpido por los bloques tectónicos elevados de las "Lomadas de Otumpa -LO-" (Rossello y Bordarampé, 2005) en el límite de las provincias de Santiago del Estero y Chaco, lo que ha provocado cambios geomorfológicos e hidrológicos (Peri y Rossello, 2008, 2010).

Las Lomadas de Otumpa constituyen estribaciones topográficas muy suaves que alcanzan una cota de 210 m, con una orientación NNE que interrumpen la monotonía del relieve regional. Tienen 200 km de longitud y un ancho variable de 20 a 80 km (Peri y Rossello, 2008, 2010; Rossello y Bordarampé, 2005) (Fig. 1c). Están conformadas por dos geoformas principales denominadas Lomada de Otumpa Oriental y Lomada de Otumpa Occidental, constituidas por altos topográficos (AT) tipo domos asimétricos (Peri et al., 2010). En las laderas orientales predominan las pendientes hacia el E y SE, con valores promedios de 0,3% que varían de 0,1 a 0,7%. Por su parte, en las laderas occidentales predominan las pendientes hacia el O, SO y NO con valores promedios de 0,2% que varían entre 0,1 y 0,5%. La Subcuenca La Esperanza fue delimitada en el Alto Topográfico (AT) El Marcado de la ladera oriental; la morfología general es un domo o cresta topográfica asimétrica, con un eje mayor de orientación N-S que divide las dos laderas principales de pendientes planas al O y NO, y suaves al E y SE, con valores promedios de 0,3%. La longitud de la ladera es extremadamente larga, posee 10 kilómetros en el oeste y 25 kilómetros en el este, observándose una clara asimetría debido a que la ladera oriental es 2,5 veces más larga que la occidental. La red de drenaje en las LO muestra un diseño radial asimétrico y sobre la ladera oriental se hace dendrítico.

Clima y vegetación

El clima pertenece a la región del Chaco Sub-húmedo central (transición entre Chaco semiárido y Chaco húmedo), con precipitaciones medias anuales que oscilan entre 650 y 900 mm en un régimen monzónico, mientras que la temperatura media anual es de 19,6°C (Boletta, 2001), con altas tasas de evapotranspiración que generan déficit hídricos durante todo el año (Bianchi et al., 2005). Estas características determinan el tipo de vegetación, integrada principalmente por los quebrachos: chaqueño (*Schinopsis balansae*), colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*) y blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), cuya presencia en conjunto existe únicamente en esta región (Morello, 2012).

El uso actual de las tierras en la subcuenca es agrícola y ganadero, siendo el primero el predominante, con la participación principalmente de los cultivos de soja (*Glycine max*) y maíz (*Zea mays*), luego girasol (*Helianthus annuus*) y algodón (*Gossypium hirsutum*), cuando las condiciones climáticas y económicas lo permiten. En la época invernal se siembra trigo (*Triticum aestivum*) y cebada (*Hordeum vulgare*). En tanto que la ganadería, se realiza con implantación de pasturas megatérmicas, dentro de las cuales se destaca el gatton panic (*Megathyrus maximus*). La habilitación de las tierras para la producción agropecuaria se ha realizado a expensas de eliminar la vegetación natural, hecho que ha generado procesos de degradación de los suelos tales como cárcavas y disminución de la fertilidad química, entre otros (Camba Sans, 2015; Volante et al., 2014).

Suelos

En lo que respecta a la cartografía semidetallada (escala 1:50.000) en el ámbito de la subcuenca La Esperanza, para el sector santiagueño recientemente se reconocieron suelos pertenecientes a los órdenes Molisol (Argiustoles típicos, Haplustoles énticos y típicos), Alfisol (Haplustalfes incépticos) y Vertisol (Calciustertes petrocálcicos, Haplustertes údicos y típicos, y Endoacuerteres típicos), donde los perfiles poseen drenaje deficiente y erosión hídrica como principales limitantes para la producción agrícola (Vizgarra et al., 2018a, b). Por su parte, en la provincia del Chaco se observa el dominio de Molisoles y Alfisoles, con los subgrupos Argiustoles údicos y ácuicos, Durustoles énticos, Haplustoles fluvénticos y óxicos, Natrustoles típicos, Natrustalfes ácuicos, Albacualfes áericos, y Haplustalfes údicos y típicos (Ledesma et al., 1992). Estos poseen susceptibilidad a la erosión hídrica, salinización y sodificación en distintos grados, que restringen el uso agropecuario de las unidades de tierra.

De acuerdo con estas publicaciones, el Orden taxonómico Vertisol fue documentado solo para del sector santiagueño de la subcuenca La Esperanza (Vizgarra et al., 2018a), en tanto que para la provincia de Chaco se mencionan únicamente subgrupos vérticos (Ledesma et al., 1992).

Metodología

El enfoque geopedológico consiste en un sistema de clasificación taxonómico de geoformas de tipo je-

rárquico para ser utilizado a diversos niveles categóricos en el estudio de la relación paisaje-suelo (Zinck, 1988). En la primera categoría denominada “Geoestructura” se describe la extensa porción continental caracterizada por su macro-estructura geológica; en la segunda, que lleva el nombre de “Ambiente morfogenético”, se refiere al medio biofísico originado y controlado por la geodinámica interna y/o externa; la tercera categoría designada “Paisaje geomorfológico”, comprende a una porción de terreno que posee rasgos fisiográficos y consiste en una repetición de tipos de relieves similares o disímiles; en la cuarta categoría llamada “Relieve/modelado” se caracteriza el tipo de relieve originado por una combinación de topografía y estructura geológica; en la quinta categoría, se define la naturaleza petrográfica de las rocas duras u origen de las formaciones no-consolidadas de cobertura, es decir, la “Litología/facies”. Para estas cinco categorías superiores se realizó la recopilación y análisis de antecedentes, que son descritos en este apartado (Materiales y métodos) e incluidos en la leyenda del mapa geopedológico de la Figura 2.

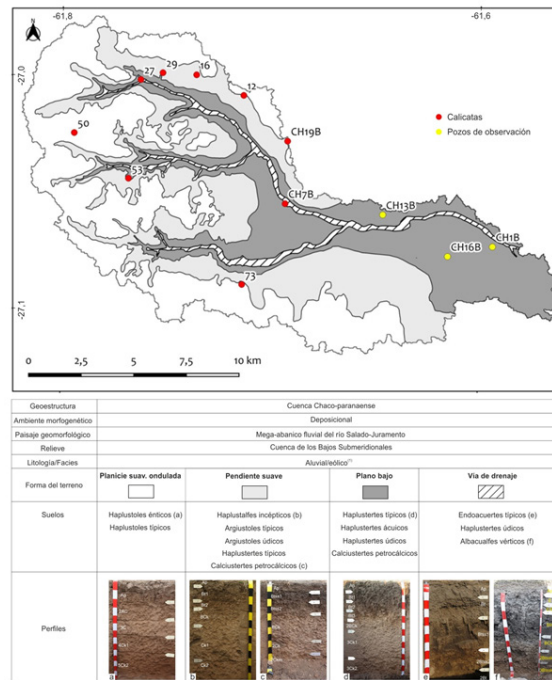


Figura 2. Mapa (arriba) y leyenda geopedológica de la Subcuenca “La Esperanza”, Santiago del Estero (abajo). Fotografías de suelos representativos en una toposecuencia. Planicie suavemente ondulada: a. Haplustol éntico. Pendiente suave: b. Haplustalf incéptico. c. Calciustert petrocálcico. Plano Bajo: d. Haplustert típico. Vía de drenaje: e. Endoaquert típico. f. Albaqualf vért

Figure 2. Map (above) and geopedological legend of the “La Esperanza” Sub-basin, Santiago del Estero (below). Photographs of representative soils in a toposequence. Gently undulating plain: a. Entic Haplustoll. Gentle slope: b. Inceptic Haplustalf. c. Petrocalcic Calciustert. Low Plane: d. Typic Haplustert. Drainage path: e. Typic Endoaquert. F. Vertic Albaqualf

En la categoría inferior o “Forma del terreno” incluye el estudio de los componentes externos e internos de las geoformas. En la primera se describen, identifican y clasifican las geoformas en base a sus atributos geomorfológicos y geomorfométricos. Estos son esencialmente descriptivos, y para ello se emplean sensores remotos o derivados de modelos digitales de elevación (Bedendo et al., 2016) que mejoran la precisión de los límites entre las unidades cartográficas. Para los componentes internos, se aplican atributos geomorfogenéticos y geomorfocronológicos, estos requieren observaciones y mediciones de campo, y determinaciones en laboratorio (Tricart, 1965a, 1965b).

El estudio de la relación paisaje-suelo, se organizó en tres etapas: gabinete, campo y laboratorio. En primer lugar, se definieron las unidades geomorfológicas a escala 1:50.000 y la leyenda jerárquica de las geoformas en base al modelo digital de elevación (MDE) TandDEM-X de 90 m de resolución y con el apoyo de fotografías aéreas e imágenes satelitales LANDSAT 5 TM (1986 y 2000), LANDSAT 8 OLI (2015), SPOT 7 MS y P (2014-10-21). Para minimizar el efecto de posibles ruidos, se recortaron los sectores de vegetación natural arbórea (cortinas), se interpoló y se suavizó el MDE utilizando un filtro de 3x3 celdas. Los parámetros topográficos e hidrológicos calculados del MDE fueron: patrones de formas de pendientes (Jasiewicz y Stepinska, 2013), gradiente y orientación (aspecto) de pendientes, curvas de nivel, dirección de drenaje, arroyos, acumulación de flujo y el índice de humedad (TCI). Tanto para el procesamiento de las imágenes satelitales como el MDE se utilizó el software libre SAGA-GIS.

La red de muestreo de suelos a campo se estableció en base a la escala de relevamiento 1:50.000, la accesibilidad (camino) a los puntos de chequeo, la superficie y características morfológicas de la subcuenca, esto implica una densidad de observaciones de 1 en 10 ha (Rossiter y Vargas Rojas, 2004). En total se relevaron 128 sitios, en donde 115 corresponden a pozos de observación y 13 calicatas. Para este trabajo se seleccionaron 9 calicatas de suelos representativos y 3 pozos de sondeo (Fig. 2) con el fin de complementar las interpretaciones. En cada sitio se caracterizó el paisaje y se describió la morfología del perfil de suelo, de acuerdo con las normas propuestas por Schoeneberger et al. (2012). De los perfiles seleccionados para cada unidad geomorfológica reconocida, se extrajeron muestras de cada horizonte para los análisis físicos y químicos en laboratorio correspondientes a la rutina cartográfica, de los cuales se presentan: textura por el método de la pipeta de Robinson, materia orgánica por Walkley Black, capacidad de intercambio catiónico (Bower et al., 1952; Peech, 1945), porcentaje de carbonato de calcio por el método de Collins (1906) y se calculó el porcentaje de sodio de intercambio (Tabla 1). Con los resultados obtenidos se clasificaron los perfiles seleccionados a nivel de Subgrupo, según el sistema "Soil Taxonomy" (Soil Survey Staff, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La subcuenca La Esperanza tiene una superficie total de 20.506 ha, con una longitud máxima 27.250 m de O a E y su ancho 11.100 m de N a S.

Aplicando el enfoque geopedológico y en función de las características geológicas y geomorfológicas antes descritas, el área en estudio pertenece a la Cuenca Chacoparanaense, definida como Geoestructura. A nivel de Ambiente morfogenético comprende un contexto de deposición de sedimentos fluviales y eólicos, mientras que dentro del Paisaje geomorfológico, se ubica en el sector del Chaco Oriental de la Llanura chaqueña. En la categoría de Relieve/modelado, se sitúa en el extremo noroccidental en la cuenca de los Bajos Submeridionales, en la ladera oriental de las Lomadas de Otumpa. La Litología/facies incluiría materiales fluviales y eólicos.

En la categoría Forma del terreno se identificaron y delimitaron cuatro unidades geomorfológicas, denominadas planicie suavemente ondulada, pendiente suave, plano bajo y vía de drenaje, las cuales muestran diferencias en extensión, orientación y gradiente de las pendientes, etc. A continuación, se presenta el mapa y leyenda geopedológica de la subcuenca La Esperanza (Fig. 2) y luego se describe la relación paisaje-suelo para cada unidad geopedológica definida en esta última categoría.

Planicie suavemente ondulada

La planicie suavemente ondulada, corresponde al sector interfluvial y tiene una superficie de 733 ha, extendiéndose mayormente en Santiago del Estero. Es el sector más elevado de la subcuenca, con alturas que varían entre 220 msnm al oeste y 160 msnm al sureste, con una pendiente regional hacia el este.

El relieve de la unidad es de tipo normal, en donde las pendientes son inferiores al 0,8%, la permeabilidad es moderadamente lenta a moderada y el drenaje varía de moderado a bueno, siendo áreas no inundables. Tanto en superficie como en el perfil estudiado, no se observó pedregosidad o rocosidad y sales, en tanto que en profundidad el suelo es muy fuertemente alcalino (perfil 73- 4Btkb, Vizgarra et al., 2018b). La cobertura vegetal fue aproximadamente del 80% en los sitios relevados.

En esta unidad geomorfológica se reconocieron suelos pertenecientes al Orden Molisol con un incipiente desarrollo de horizontes genéticos. En posición de loma y media loma alta se describen Haplustoles énticos (perfil 50) y, en las partes más bajas, Haplustoles típicos. El manejo agronómico, con mayor participación del cultivo de soja en la rotación, sumado a las características de esta geoforma son factores que lo hacen susceptible a la erosión hídrica.

Los perfiles se caracterizan por la presencia de epipedones con un elevado porcentaje de arcilla (38%), están bien provistos en materia orgánica y son de color pardo grisáceo oscuro. Por debajo del horizonte Ap, en el Haplustol éntico se identificó un horizonte en discontinuidad litológica (2AC), de textura franco limosa y estructura en bloques angulares medios débiles con tendencia a masiva. En tanto que en el Haplustol típico, igualmente en discontinuidad litológica, se distinguió un horizonte 2Bw con textura franco limosa y estructura en bloques angulares, que sobreyace a un horizonte BC de similar estructura y granulometría. A los 60 cm de profundidad aproximadamente en ambos suelos, se describieron una sucesión de horizontes C en discontinuidad litológica, de estructura masiva y textura franco limosa, con un aumento en profundi-

dad de carbonatos libres presentes en la masa del suelo, junto con concreciones calcáreas. Por su parte, en la base del Haplustol típico se reconoció un paleosuelo (horizonte 4Btkb), caracterizado morfológicamente por una estructura en bloques angulares, textura franco arcillo limosa, con barnices arcillo-húmicos y carbonato de calcio en la masa del suelo y en concreciones.

De acuerdo con las características morfológicas y los datos analíticos determinados, los procesos pedogenéticos dominantes para esta unidad de paisaje corresponden a melanización en superficie y carbonatación en profundidad. En el caso particular de la paleosuperficie, se evidencia un proceso de argiluvación y sodificación (PSI de 19% en Vizgarra et al., 2018b), sumado al de carbonatación.

Pendiente suave

La pendiente suave es una geoforma que abarca una superficie de 6456 ha en ambas provincias. El relieve es normal, con pendientes entre 0,5 y 1,5 %, los mayores porcentajes se encuentran en el sector más alto de la subcuenca que se desarrolla en la provincia de Santiago del Estero. En este sector las pendientes son cortas y su orientación es perpendicular a las vías de drenaje, dominando las orientaciones noreste y sureste. En cambio, en el sector bajo de la subcuenca situada en la provincia del Chaco, las pendientes son más suaves ya que no superan el 0,8%, con excepción en áreas colindantes a Santiago del Estero, donde las pendientes son más largas y suaves con una orientación general noreste.

Los suelos descritos se sitúan en las medias lomas y corresponden a Alfisoles (Haplustalfes incépticos, perfiles 12 y 21) y Molisoles (Argiustoles típicos, perfil 16; y údicos, perfil CH19b), caracterizados por ser bien desarrollados, moderadamente bien drenados a bien drenados y con permeabilidad moderadamente lenta a moderada. No tienen sales o álcalis y en general no presentan pedregosidad o rocosidad, excepto el Argiustol údico. Por su parte, la cobertura del suelo en los sitios donde se hicieron las calicatas, oscila entre 60 a 80%. Sin embargo, hay sectores donde el suelo posee escasa cobertura a nula. La combinación de la longitud de las pendientes y la escasa cobertura superficial de los suelos favorecen el proceso de erosión hídrica en esta unidad (de clase severa), hecho que ha provocado la formación de cárcavas en la subcuenca.

El Haplustalf incéptico (perfil 12), presenta un horizonte Ap de 9 cm de espesor en promedio, de textura franco arcillo limosa, con buena provisión de materia orgánica y de color pardo grisáceo. A continuación, subyace un horizonte Bt fuertemente estructurado con presencia de barnices comunes a escasos y de textura arcillo limosa, subdividido en Bt1 y Bt2. Luego de un horizonte transicional BC, se describieron una sucesión de horizontes Ck, a los 45 cm aproximadamente hasta los 160 cm, con estructura masiva, franco limosos, de moderados a fuertemente alcalinos por acumulación variable de carbonatos libres en la masa y concreciones de carbonato de calcio (aprox. 10 mm de diámetro).

Por su parte, los Argiustoles típicos y údicos poseen un horizonte superficial Ap o Apk respectivamente, de 14,5 cm de espesor en términos medios. Están bien provistos de materia orgánica, de colores pardo grisáceo y textura arcillo limosa en el Argiustol típico, y gris oscuro y granulometría franco limosa en el Argiustol údico. El perfil en ambos suelos continúa con un horizonte argílico Bt de textura arcillo limosa a franco arcillo limosa, con estructura en bloques fuertes, con presencia de barnices arcillo-húmicos comunes a escasos. Además, el horizonte iluvial del Argiustol údico está subdividido en Btk1 y Btk2, debido a rasgos morfológicos como la textura, estructura, barnices de arcilla y acumulación de carbonato de calcio. El horizonte transicional BC franco-limoso tiene estructura en bloques angulares medios moderados, pH moderadamente alcalino y en el caso del Argiustol údico, se presentan escasas concreciones calcáreas (BCK). Luego, para ambos perfiles se reconoció el horizonte Ck (en discontinuidad litológica 2Ck1 y 3Ck2 en el Argiustol típico) de textura franco limosa con estructura masiva, de moderada a fuerte reacción de los carbonatos libres en la masa y abundantes concreciones de carbonatos de calcio. Por su parte, el Argiustol údico presenta por debajo de este horizonte un contacto lítico a los 120 cm, que consiste en una capa continua de arenisca.

Los procesos de formación de suelos para esta unidad comprenden la melanización y argiluvación. Además, el carbonato de calcio diseminado en la masa y en concreciones denota el proceso de carbonatación, ocurrido en profundidad en el caso del Argiustol típico del sector santiagueño, y desde la superficie, en el Argiustol údico del sector chaqueño.

Plano bajo

Esta unidad geomorfológica se ubica en forma adyacente a las vías de drenaje y presenta una superficie de 5873 ha, siendo su extensión acotada en Santiago del Estero, en tanto que en Chaco es más amplia probablemente a causa de la disminución general de la pendiente. En este sentido, se han relevado sitios en esta provincia, con material dispuesto en forma de capas paralelas de hasta 10 cm de espesor formando el actual horizonte Ap, sobreyaciendo un horizonte 2Ab (e.g., CH1b, CH13b, CH16b, Fig. 2).

El tipo de relieve es de tipo subnormal a ligeramente cóncavo, siendo áreas donde el agua superficial fluye muy lentamente debido a la presencia de una capa u horizonte de permeabilidad lenta y/o a la napa freática alta, estando el suelo mojado por largos períodos de tiempo. Los suelos en ambas provincias no poseen pedregosidad o rocosidad y no son salinos, aunque los que se ubican en Chaco, son ligeramente sódicos en profundidad. En relación con la cobertura vegetal, en los sitios donde se describieron los perfiles se valoró en un 80% integrada por rastrojos de sorgo, trigo y maíz. Aun así, la erosión hídrica se estimó de moderada a severa por la presencia de surcos y cárcavas profundas.

En esta unidad geomorfológica dominan suelos del orden Vertisol (Haplusteres údicos -perfil 53-, Haplusteres típicos -perfil 34-, Haplusteres ácuicos -perfil 4- y Calciusteres petrocálcicos -perfil 29-), que han sido reconocidos en ambas provincias. Estos son imperfecta a moderadamente bien drenados, con permeabilidad lenta a moderadamente lenta, formados a partir de sedimentos de textura arcillo limosa en superficie a franco arcillo limosa en profundidad. Se caracterizan por la presencia de un horizonte A de 15 cm de espesor en promedio, de estructura en bloques angulares, de color gris oscuro y bien provisto de materia orgánica. A continuación, se reconocieron horizontes Bt con estructura en prismas y con rasgos morfológicos característicos de este Orden taxonómico, como agregados cuneiformes, slickensides y grietas que van desde la superficie hasta los 80 cm de profundidad aproximadamente. Por debajo, se identificó un horizonte transicional 2Bck que subyace a un horizonte 3Ck en discontinuidad litológica de estructura masiva, ambos con reacción de los carbonatos libres en la masa y con concreciones de carbonato de calcio de 3 a 10 mm de diámetro. En tanto que en el Hapluster ácuico, a partir de los 136 cm se describió un paleosuelo (horizonte 2Btkb) de granulometría franco arcillo limosa y estructura en bloques, con barnices arcillo-húmicos escasos y abundantes concreciones calcáreas.

En la base del Calciustert se presenta un horizonte petrocálcico 2Ckm que podría limitar la exploración de las raíces así como la infiltración del agua, actuando además como un nivel de base para los procesos de erosión hídrica ocurridos en la subcuenca. En relación con esto, se ha observado con frecuencia el afloramiento de este horizonte cementado con carbonato de calcio en el piso de las cárcavas relevadas (Vizgarra et al., 2018a).

En esta unidad los procesos pedogenéticos representativos son la melanización, carbonatación, argiluvación, vertisolización y óxido-reducción.

Vía de drenaje

Esta geoforma se extiende en ambas provincias, ocupando mayores superficies en Chaco. Corresponde a los sectores más bajos y acotados del paisaje, en un relieve ligeramente cóncavo.

En esta unidad se identificaron suelos de los órdenes Vertisol y Alfisol, donde la fluctuación del nivel freático intervino en su génesis y actualmente condicionan su aptitud productiva. Presentan un fuerte grado de desarrollo, con permeabilidad lenta a moderadamente lenta y son imperfectamente drenados a moderadamente bien drenados. Son áreas inundables en épocas de lluvias importantes. Además, se caracterizan por la ausencia de pedregosidad y/o rocosidad.

El Endoacuert típico (perfil 27), ubicado en el sector santiagueño, tiene una cobertura de soja estimada en superficie de 80 %. Posee un horizonte A de 17 cm de espesor, de color gris parduzco claro, con textura franco arcillo limosa, estructura en bloques y grietas de 2 mm en superficie. Luego, se reconoció una sucesión de horizontes Bt que superan el metro de profundidad, con textura arcillo limosa y rasgos vérticos como agregados cuneiformes, slickensides y grietas. El primer horizonte Bt tiene similar estructura al horizonte superficial, es de color pardo grisáceo y presenta abundantes barnices arcillo-húmicos. A partir de los 42 cm, la secuencia de horizontes Bt se caracteriza por su estructura prismática que rompe en bloques, algunos de los cuales muestran morfología cuneiforme, con barnices abundantes a muy abundantes y slickensides escasos a abundantes. Además, se identificaron moteados y concreciones de Fe-Mn, escasas a comunes. Presenta dos discontinuidades litológicas (84 y 128 cm) de acuerdo con los datos analíticos (tabla 1).

El suelo Albacualf vértico, descrito en la parte chaqueña, comienza en superficie con un horizonte Ap arcillo limoso, con estructura laminar, de color gris oscuro y bien provisto de materia orgánica. A continuación, se reconoció un horizonte E masivo, de textura franco limosa con concreciones de Fe-Mn y moteados. Por debajo de un horizonte transicional E/B se describió un horizonte Btn arcillo limoso de estructura columnar y con abundantes barnices arcillo-húmicos. Posteriormente se diferenció un horizonte transicional BCK, caracterizado por la presencia de pseudomicelios de carbonato de calcio. Luego, se identificaron dos discontinuidades litológicas y pedológicas, la primera a los 77 cm donde se encuentra un primer paleosuelo (horizonte 2Btssknb1) con textura arcillo limosa y estructura en bloques angulares, fuertemente alcalino con débil reacción de los carbonatos libres en la masa, barnices y slickensides comunes. La segunda se localiza al metro de profundidad, donde fue descrito otro paleosuelo (horizonte 3Btssknb), de textura franco limosa y estructura en prismas, presencia de barnices de arcilla abundantes y escasas concreciones de Fe-Mn y moteados, con débil reacción de los carbonatos libres en la masa. Además, se observó grietas desde superficie hasta 100 cm de profundidad.

Para esta unidad de paisaje los procesos pedogenéticos corresponden a melanización, argiluvación, vertisolización, carbonatación y óxido-reducción. Estos últimos se manifiestan morfológicamente como moteados y/o concreciones de Fe-Mn en distintos horizontes de acuerdo con el perfil. Son identificados a partir de los horizontes iluviales y hacia la base en los Vertisoles, hecho relacionado con la fluctuación del nivel freático (endosaturación), mientras que en los Alfisoles se presentan en los horizontes eluviales (E y E/B) y en la base del perfil (2Btssknb1 y 3Btssknb2).

Para el caso de los Alfisoles además tiene lugar el proceso de sodificación, manifestado por la estructura de tipo columnar (horizonte Btn) y el PSI indicando que prácticamente en todo el perfil varía de ligeramente a moderadamente sódicos (tabla 1).

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

Table 1. Selected physical and chemical data from some representative profiles.

Horiz.	Prof. (cm)	Color (húmedo)	Estructura	Rasgos pedológicos	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	M.O. (%)	CIC (cmolo/kg)	CaCO ₃ (%)	PSI (%)
Perfil 50 - Haplustol éntico (Lat. 27° 1' 28,25"S; Long. 61°47' 39,25"O)											
Ap	0-24	10YR 2/2	Bl. ang.m.f		5,5	56,2	38,3	3,69	27,7	0,0	1,8
2AC	24-45	10YR 3/2	Bl.ang.m.d		12,0	75,8	12,2	1,12	26,9	0,2	2,2
3C	45-66	10YR 4/3	Masivo		21,8	69,1	9,0	0,64	24,6	0,6	2,4
4Ck1	66-95	10YR 4/3	Masivo		41,6	51,7	6,7	0,43	24,4	2,1	2,5
5Ck2	95-150	7,5YR 5/4	Masivo		22,2	66,5	11,3	0,21	21,6	7,1	2,3
Perfil 16 - Argiustol típico (Lat. 26° 59' 56,75"S; Long. 61°44' 8,88"O)											
Ap	0-13	10YR 3/2	Bl.ang.g.f		4,8	54,3	40,9	2,78	28,9	0,0	1,0
Bt	13-26	10YR 3/2	Bl.ang.m.f	rev. cl. e.	3,8	57,0	39,3	2,31	30,5	0,0	0,7
		10YR 3/2	Bl.ang.m.m		4,9	71,0	24,1	1,64	30,2	0,5	1,0
BC	26-40		od								
C	40-74	10YR 5/3	Masivo		4,8	82,0	13,2	1,28	28,2	0,7	1,1
2Ck1	74-97	10YR 4/4	Masivo		15,3	75,6	9,1	0,88	26,2	3,3	2,3
	97-	7,5YR									
3Ck2	150+	4/6	Masivo		5,56	70,0	24,4	0,59	25,4	5,4	4,3
Perfil 12 - Haplustalf incéptico (Lat. 27° 0' 28,38"S; Long. 61°42' 47,56"O)											
Ap	0-10	10YR 3/2	Lam.g.mod		5,6	61,1	33,3	3,33	27,3	0,0	0,7
Bt1	10-28	10YR 2/2	Bl.ang.g.mo	rev. cl. c.	4,9	56,2	38,9	1,79	29,2	0,0	0,7
			d								
Bt2	28-40	10YR 3/3	Bl.ang.g.mo	rev. cl. e.	5,4	69,3	25,3	1,22	30,1	0,9	0,7
			d								
BCK	40-62	10YR 4/3	Bl.ang.m.mo		6,74	73,7	19,5	0,79	27,3	2,4	1,1
			d								
Ck1	62-108	10YR 4/4	Masivo		4,93	76,9	18,1	0,47	23,8	4,2	1,3
Ck2	108-150+	7,5YR 4/4	Masivo		2,47	87,0	10,6	0,36	22,3	6,8	2,7

Perfil 53 - Hapluster típico (Lat. 27° 2' 41.32"S; Long. 61° 46' 4.71"O)

A	0-16	10YR 2/1	bloq. ang.; med.; ftes.		3,2	51,4	45,4	2,7 2	27,3	0,0	1,8
Bt1	16-30	10YR 2/2	Pr.;g.;mod	rev. cl-húm. abund.; silck. esc.	3,2	53,7	43,0	1,43	29,6	0,2	1,4
Bt2	30-43	10YR 4/2	Pr.;g.; mod	rev. cl-húm. abund.; silck. esc.	3,2	56,4	40,3	0,98	30,1	0,4	1,7
Bt3	43-58	10YR 4/3	Pr.; med.; mod	rev. cl-húm. esc.; silck. esc.	3,5	64,9	31,6	0,74	32,1	0,6	1,7
2Bck	58-74	10YR 5/4	Bloq. Ang.; g.; déb.	nód. de CaCO3 esc.	15,3	61,2	23,5	0,45	29,4	5,8	0,9
3Ck1	74-117	7,5YR 5/4	Masiva	nód. de CaCO3 esc.	25,1	55,8	19,1	0,34	26,4	5,2	1,6
3Ck2	117+	7,5YR 5/4	Masiva	nód. de CaCO3 abund.	22,5	64,4	13,1	0,24	25,9	8,2	2,3

Perfil 29 - Calciuster petrocálcico (Lat. 26° 59' 54,65"S; Long. 61°45' 7,34"O)

A	0-12	10YR 2/1	Bl.ang.m.f		6,2	59,7	34,2	3,19	27,4	0,0	1,5
Btss1	12-25	10YR 2/1	Pr.g.mod.	rev. cl. abund. / silck. c.	5,9	53,2	40,9	2,43	31,2	0,0	1,0
Btss2	25-44	10YR 3/2	Pr.g.mod.	rev. cl. c. / silck. e.	4,8	57,1	38,1	1,47	29,2	0,4	1,4
Bck	44-78	10YR 4/3	Bl.ang.m.mo d		3,6	61,9	34,5	0,71	24,7	21,0	2,4
2Ck	78-99	10YR 4/3	Masivo		11,3	52,1	36,6	0,64	23,3	23,0	2,6
2Ckm	99+										

Perfil 27 - Endoacuert típico (Lat. 27° 0' 5,50"S; Long. 61°45' 45,19"O)

Ap	0-17	10YR 4/4	Bl. ang.m.f		8,2	60,3	31,5	2,67	22,8	0,0	2,6
Bt	17-42	10YR 3/2	Bl.ang.g.f	rev. cl. c. silck. abund.;	7,9	51,3	40,8	1,47	26,1	0,0	1,9
Btss1	42-84	10YR 4/2	Pr.g.f	mot. f. c.; conc. Fe e. silck. abund.;	6,5	43,0	50,5	0,74	29,9	0,0	2,3
2Btss2	84-110	10YR 3/3	Pr.m.f	mot. f. c.; conc. Fe e. silck. abund.;	27,1	45,7	27,2	0,41	28,0	0,2	2,5
2Bt	110-128	10YR 4/3	Pr.g.f	rev. cl.; mot. m. c.; conc. Fe e. rev. cl-húm. muy abund.;	24,8	50,4	24,8	0,34	26,4	0,9	2,3
3Btss	128-145	10YR 4/4	pr.; g.; ftes. / bloq. Cun.	mot. esc.; nód. de Fe-Mn com.	4,8	42,8	52,3	0,1	30,1	1,1	2,3

Perfil CH7 - Albacualf vértico (Lat. 27° 3' 14,84"S; Long. 61°41' 34,56"O)

A	0-5	10YR 3/1	Lam.f.mod		2,4	56,3	41,3	3,64	29,5	0,0	2,1
E	5-15	10YR 3/1	masiva	Conc. Fe-Mn.e.; mot Rev.cl. c.;	9,9	66,4	23,7	1,69	16,7	0,0	4,7
E/B	15-24	10YR 4/1	Masivo colum.	Conc Fe-Mn c.	9,8	60,8	29,4	1,72	18,7	0,0	8,5
Btn	24-55	10YR 3/1	Colum.med.f	Rev. cl. a. Conc. Fe-Mn e.;	4,5	48,2	47,3	2,03	33,2	0,4	11,2
Bckn	55-77	10YR 3/3	Bl.ang.gr.mo d	Rev. cl. e. Rev. cl. c.;	6,4	37,9	55,7	0,99	34,5	1,2	10,1
2Btsskn b1	77-100	7,5YR 4/4	Bl.ang.gr.mo d	silck. c.; conc. Fe-Mn. e. Rev. cl.	10,8	48,0	41,2	0,39	26,9	0,7	13,0
3Btsskn b2	100-130	7,5YR 4/4	Pr.med.gr.a Bl.ang.gr.f	abund.; conc. Fe-Mn. e.; mot.	16,6	57,4	26,0	0,22	24,2	1,3	13,0

Referencias: Estructura: bloq.: bloques; pr.: prismas; ang: angulares; cun.: cuneiformes; f.: finos; m.: medios; g.: gruesos; déb.: débiles; mod.: moderado; fte.: fuerte. Rasgos pedológicos: rev.: revestimientos; cl-húm: clay-húmicos; slick: slickensides; nód.: nódulos (CaCO₃: carbonato de calcio; Fe-Mn: hierro-manganeso); mot.: moteados; f.: finos; abund.: abundantes; com.: comunes; esc.: escasos.

References: Structure: bloq.: blocky; pr.: prisms; ang: angular; cun.: wedge-shaped; f.: fine; m.: medium; g.: coarse; déb.: weak; mod.: moderate; fte.: strong. Pedological features: rev.: coatings; cl-hum.: clay-húmíc; slick.: slickensides; nód.: nodules (CaCO₃: calcium carbonate; Fe-Mn: iron-manganese); mot.: mottles; f.: fine; abund.: abundant; com.: common; esc.: scarce.

Componente interno de las geoformas

De acuerdo con los antecedentes descritos en el marco geológico-geomorfológico, los materiales superficiales donde se desarrollan los suelos corresponden a sedimentos fluviales y/o eólicos. No obstante, trabajos recientemente publicados mostraron que el material parental de los suelos de la subcuenca está conformado por pedosedimentos derivados de la erosión de paleosuperficies preexistentes, hecho relacionado con las fluctuaciones climáticas y con los procesos neotectónicos documentados para el Pleistoceno-Holoceno en la región (Moretti et al., 2017, 2018, 2020).

El pedosedimento se caracteriza por la abundancia de pseudo-arenas y pseudo-limos cementados por óxidos de hierro en la fracción tierra fina, hecho que resulta en la subestimación del porcentaje de arcilla en las determinaciones granulométricas (Tabla 1, perfil 50: 2AC, 3C, 4Ck1 y 5Ck2; perfil 16: BC, C, 2Ck1 y 3Ck2 y perfil 53: 2Bck, 3Ck1 y 3Ck2). Estos rasgos, que incluyen además fragmentos de revestimientos de arcilla retrabajados fueron identificados en todos los perfiles (comenzando en los horizontes transicionales AC, BC y/o C, aumentando en profundidad) con el empleo de estudios micromorfológicos, excepto en los suelos situados en la vía de drenaje. En los Vertisoles y subgrupos vérticos de esta geoforma no se identificó microestructura y/o pedorrasgos heredados, sugiriendo que el grado de desarrollo y el efecto de expansión-contracción sumado a las condiciones hidromórficas, influyeron en su preservación (Moretti et al., 2017, 2018, 2020).

Por su parte, los componentes minerales gruesos en todos los casos están conformados -de mayor a menor abundancia- por cuarzo, feldspatos (plagioclasas y microclinos), vidrio volcánico ácido, mica (muscovita y biotita), hornblenda verde y minerales opacos. En la fracción arcilla predomina la illita, seguido por caolinita e interestratificados irregulares de illita-esmectita; el tipo y proporción de estos últimos varían en función del tipo de suelo e incluso dentro de un mismo perfil. El pedosedimento se caracteriza por una mayor proporción de minerales interestratificados con dominancia de esmectita, hecho atribuido a ciclos pedogenéticos previos y/o a procesos de transformación favorecidos por el ambiente químico en la parte media y basal de los perfiles. Por su parte, los horizontes superficiales arcillosos (Ap de Haplustoles, Haplustertes y Endoacuerter) presentan dominancia de illita, sugiriendo un origen común relacionado con la acumulación de sedimentos provenientes de la erosión eólica de los cauces fluviales durante un ciclo árido del Holoceno (Moretti et al., 2020).

En relación al Argiustol, el epipedón posee menor proporción del componente illítico en los interestratificados, respecto a los suelos mencionados arriba, esto podría atribuirse al truncamiento del horizonte superficial por erosión hídrica favorecida por la pendiente.

De acuerdo con estas interpretaciones basadas en características morfológicas y composicionales -y que pueden profundizarse en Moretti et al. (2020)- el origen y distribución de los materiales parentales y suelos de la subcuenca La Esperanza se enmarca en un escenario complejo, que involucra procesos tectónicos, geomorfológicos y climáticos. A diferencia del loess la Formación Urundel descrito en la región, los materiales aquí estudiados presentan vidrio volcánico ácido, micas (biotita y muscovita) y anfíbol (hornblenda) en las fracciones gruesas. Este hecho, conjuntamente con la mineralogía determinada para la fracción fina, los vincula con el loess de la Formación Tezanos Pinto y con aportes provenientes de las Sierras Pampeanas situadas al oeste del área en estudio.

CONCLUSIONES

La aplicación del enfoque geopedológico en la subcuenca La Esperanza, permitió la diferenciación de cuatro unidades geomorfológicas del nivel categórico de Forma del terreno, cada una de ellas caracterizada por una asociación de distintos tipos de suelo. La Planicie suavemente ondulada presenta suelos del orden Molisol de poco desarrollo pedogenético y con numerosas discontinuidades litológicas, 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. 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 para el sector chaqueño. 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. En particular para el sector chaqueño, el plano bajo abarca una superficie más extendida debido a la disminución de la pendiente, hecho que también ha provocado la acumulación superficial de sedimentos provenientes de la erosión de las áreas más elevadas situadas al oeste de la subcuenca. Esto último debería considerarse como una fase de acumulación para fines cartográficos. Asimismo, la menor pendiente en los suelos de las vías de drenaje, habría favorecido el desarrollo del horizonte E y el proceso de sodificación.

De esta manera, el modelo de relación paisaje-suelo aquí planteado permite integrar y resumir la información cartográfica existente para este sector de la cuenca de los BBSS, brindando una nueva interpretación acerca de la génesis y distribución de los materiales parentales y suelos en la región. Asimismo, resulta de utilidad para futuros relevamientos, principalmente en el sector santiagueño de la cuenca, donde aún no se cuenta con mapas de suelo semidetallados, especialmente en esta zona donde la agricultura avanzó y requiere de información para la toma de decisiones con el fin de mitigar los procesos de degradación de suelos como la erosión hídrica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco de los Proyectos de investigación de INTA (PNSUELO-1134032, PN-SUELO-1134022, TUSGO 1231408 y RIST I051) y gracias al apoyo local de la Ing. A. Avalos (AER INTA Sachayoj), Ing. L. Mas, Lic. M. Boetto, Lic. J. López, Ing. J. Uribe Echevarria e Ing. S. Roldán. También al Dr. Héctor Morrás por aportar sus conocimientos y experiencias.

REFERENCIAS

- Angueira, C., Cruzate, G., Zamora, E. M., Olmedo, G. F., Sayago, J. M. y Castillejo González, I. (2016). Soil Mapping Based on Landscape Classification in the Semiarid Chaco, Argentina. En J. A. Zinck, G. Metternicht, G. Bocco y H. F. Del Valle (Eds.), *Geopedology, An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. Ed. Springer International Publishing.
- Bedendo, D. J., Schulz, G. A., Olmedo, G. F., Rodríguez, D. M. y Angelini, M. E. (2016). Updating a Physiography-Based Soil Map Using Digital Soil Mapping Techniques. En J. A. Zinck, G. Metternicht, G. Bocco y H. F. Del Valle (Eds.), *Geopedology, An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. Ed. Springer International Publishing.
- Bianchi, A. R., Yáñez, C. E. y Acuña, L. R. (2005). *Base de datos mensuales de precipitaciones del Noroeste argentino*. Proyecto Riesgo Agropecuario. Convenio Específico No 3 al Convenio No 141. INTA-SAGPyA.
- Boletta, P. (2001). *Utilización de información agrometeorológica y satelital para la evaluación de la desertificación en el Chaco Seco - Departamento Moreno, Santiago del Estero* [Tesis Magister en Ciencias Agropecuarias, Mención Agrometeorología] Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Bower, C. A., Retmeier, R. R. y Fireman, M. (1952). *Exchangeable Cation Analysis of Saline and Alkali Soils*. *Soils Science*, 73, 251-261.
- Camba Sans, G. H. (2015). *¿En qué medida fue efectiva la Ley de Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos? El caso de Santiago del Estero*. [Tesis de grado] Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía.
- Camba Sans, G. H., Aguiar, S., Vallejos, M. y Paruelo, J. M. (2018). Assessing the effectiveness of a land zoning policy in the Dry Chaco. The Case of Santiago del Estero, Argentina. *Land Use Policy*, 70, 313-321.
- Collins, S. H. (1906). Scheiblers apparatus for the determination of carbonic acid in carbonates; an improved construction and use for accurate analysis. *Journal of the Society of Chemical Industry*, 25, 518.
- Coriale, O. (2006). Estudio de fuentes de agua subterránea con fines de provisión de agua potable y exploración hidrotermal. *Informe técnico del Instituto Nacional del Agua (INA)*.
- Frugoni, M. C., Musso, R. G., Falbo, G. y Zapiola, D. (2016). La geopedología como base para zonificar la aptitud forestal en una cuenca del noroeste de la Patagonia Argentina. *Boletín Geográfico*, 38, 29-48.
- Giraut, M., Laboranti, E., Rey, C., Fioriti, M. y Ludueña, S. (2001). *Cuenca Propia de los Bajos Submeridionales. Creación de una unidad hídrica independiente*. En: Seminario Internacional sobre manejo integral de cuencas hidrográficas. Rosario. Argentina. <https://www.minintec.gov.ar/>

- rior.gov.ar/obras-publicas/pdf/22_nueva.pdf.
- Iriondo, M.H. (1984). The quaternary of northeastern Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 2(4), 51-78.
- Iriondo, M.H. (1990). *La Formación Urundel, un loess chaqueño*. International Symposium on Loess, Expanded abstracts I, 89- 90.
- Iriondo, M. H. (1993). Geomorphology and late Quaternary of the Chaco (South America). *Geomorphology*, 7, 289-303.
- Iriondo, M. H. (1997). Models of deposition of loess and loessoids in the Upper Quaternary of South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(1), 71-79.
- Iriondo, M. (2010). *Geología del Cuaternario en Argentina*. Museo Provincial de Ciencias Naturales "Florentino Ameghino", Santa Fe. Editorial Moglia
- Jasiewicz, J. y Stepinska, T. (2013). Geomorphons—a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology*, 182,147-156.
- Ledesma, L. L., Casas, L. E., Zurita, J. J., Cipolini, F., Matijasevic, P., Bordón, A. O., Szeve, D. A., Koicheff, P. y Ferreyra, E. B. (1992). *Carta de suelos de la República Argentina: Los Suelos del Departamento CHACABUCO Provincia del Chaco*. INTA. http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_informe_mapa_de_suelo_chacabuco.pdf.
- Miró, R. C. y Martos, D. E. (2002). *Memoria de Hoja geológica de la provincia del Chaco. Escala 1:500.000*. SEGEMAR (inédito).
- Morello, J. (2012). Ecorregión del Chaco Seco. En J. Morello, S. Mateucci, A. Rodríguez y M. Silva (Eds). *Ecorregiones y complejos ecosistémicos Argentinos*. Orientación Gráfica.
- Moretti, L.M., Rodríguez, D. M., Angelini, M.E. y Morrás, H. J. M. (2012). Génesis de suelos en un sector del piedemonte aluvial del Chaco salteño. *Ciencia del suelo*, 30(2),161-172.
- Moretti, L. M., Vizgarra, L. A., Morrás, H. J. M., Rodríguez, D. M., Schulz, G. A., Paladino, I. R., Bressan, E. M. y Laghi, J. D. (2020). Origen de los materiales parentales y génesis de suelos en el extremo noroccidental de la cuenca de los Bajos Submeridionales, Santiago del Estero, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 27(1), 29-53.
- Moretti, L. M., Vizgarra, L. A., Morrás, H. J. M., Schulz, G. A., Rodríguez, D. M., Paladino, I. R., Bressan, E. M., y Laghi, J. D. (2018). *Consideraciones acerca del origen y evolución de los suelos en el Noreste de Santiago del Estero*. Actas XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Actas, 1512-1517. Tucumán, Argentina.
- Moretti, L. M., Vizgarra, L. A., Rodríguez D. M., Schulz, G. A., Paladino, I. R. y Morrás, H. J. M. (2017). *Nuevos aportes sobre la génesis y taxonomía de los suelos en el Noreste de Santiago del Estero*. Actas XX Congreso Geológico Argentino Actas Simposio, 73-77. Tucumán, Argentina.
- Morrás, H. J. M. y Moretti, L. M. (2016). A new soil-landscape approach to the genesis and distribution of typic and vertic Argiudolls in the Rolling Pampa of Argentina. En J. A. Zinck, G. Metternicht, G. Bocco y H. F. Del Valle (Eds.). *Geopedology, An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. Ed. Springer International Publishing.
- Paladino, I. R., Irigoien, J., Moretti, L. M. y Civeira, G. (2017). Relaciones geopedológicas y análisis multivariado de los atributos edáficos asociados a las dunas longitudinales del noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Asociación Geológica Argentina*, 74, 373-383.
- Peech, M. (1945). Determination of exchangeable cations and exchange capacity of soil. Rapid micromethods utilizing centrifuge and spectrophotometer. *Soil Science*, 59, 25-38.
- Peri, V. G. (2012). *Caracterización morfotectónica de las Lomadas de Otumpa (Gran Chaco, Santiago del Estero y Chaco): influencias en el control del drenaje*. [Tesis doctoral] Universidad Nacional de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Peri, V. G., Barcelona, H. y Pomposiello, C. (2014). *Las areniscas de las Lomadas de Otumpa (Santiago del Estero y Chaco, Argentina) y su posible edad Mesozoica*. En 19° Congreso Geológico Argentino. Estratigrafía y Sedimentología. T1:41. Córdoba, Argentina.
- Peri, V. G. y Rossello, E. A. (2008). *Influencias morfoestructurales e hidrográficas de las Lomadas de Otumpa (Santiago del Estero y Chaco, Argentina)*. Actas 17° Congreso Geológico Argentino Actas 1: 418-419. Jujuy, Argentina.
- Peri, V. G. y Rossello, E. A. (2010). Anomalías morfoestructurales del drenaje del río Salado sobre las Lomadas de Otumpa (Santiago del Estero y Chaco) detectadas por procesamiento digital. *Asociación Geológica Argentina*, 66(4), 636-648.
- Ramos, V. (1999). Las provincias geológicas del territorio argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. *Geología Argentina. Anales*, 29(3), 41-96.
- Rossello, E. A. y Bordarampé, C. P. (2005). *Las Lomadas de Otumpa: nuevas evidencias cartográficas de deformación neotectónica en el Gran Chaco (Santiago del Estero, Argentina)*. [Ponencia 210:6]. XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata, Argentina.
- Rossiter, D. G. y Vargas Rojas, R. (2004). *Metodologías para el levantamiento del recurso suelo*. ITC - CLAS.
- Sayago, J. (1995). The Argentine neotropical loess: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 14(7-8), 755-766.
- Sayago, J. M. y Collantes, M. M. (2016). Geopedology and Land Degradation in North- West Argentina. En J. A. Zinck, G. Metternicht, G. Bocco y H. F. Del Valle (Eds.). *Geopedology, An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. Ed. Springer International Publishing.
- Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A. y Benhamy, E. C. (2012). *Soil Survey Staff. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0*.

Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center.

Soil Survey Staff. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos* USDA-Natural Resources Conservation Service.

Thalmeier, M. B., Kröhling, D., Brunetto, E. e Iriondo, M. (2019). *Morpho-stratigraphic characteristics and late quaternary environmental evolution of the salado-juramento fluvial megafan, Chaco plain, Argentina*. 20th Congress of the International Union for Quaternary Research (INQUA). Dublin, Ireland.

Tricart, J. (1965a). *Principes et méthodes de la géomorphologie*. Masson.

Tricart, J. (1965b). *Morphogenèse et pédogenèse. I. Approche méthodologique: géomorphologie et pédologie*. Science du Sol A.

Vizgarra, L. A., Moretti, L. M., Rodríguez, D. M. y Schulz, G. A. (2018a). *Aplicación del enfoque geopedológico para el relevamiento semide-tallado de suelos en el noreste de Santiago del Estero*. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Actas 1532- 1537. Tucumán. Argentina.

Vizgarra, L. A., Moretti, L. M., Rodríguez, D. M. y Schulz, G. A. (Eds.). (2018b). *Carta de suelos de la República Argentina, subcuenca La Esperanza, departamento Moreno, provincia de Santiago del Estero*. Ediciones INTA. <https://inta.gov.ar/documentos/carta-de-suelos-de-lare-publica-argentina-subcuenca-la-esperanza-departamentomoreno-provincia-de-santiago-del-estero>.

Volante, J. N. (2014). *Dinámica y consecuencias del cambio en la cobertura y el uso del suelo en el Chaco Semi-Árido*. [Tesis Doctoral]. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Escuela para graduados Ing. Agr. Alberto Soriano.

Zinck, J. A. (1988). *Physiography and Soils Lecture Note SOL.4.1*. International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC).

Zinck, J.A. (2012). *Geopedología: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales ITC Special Lecture Notes Series*. ITC.

Zinck J. A., Metternicht, G., Bocco, G. & Del Valle, H. (Eds.). (2016). *Geopedology. An integration of geomorphology and pedology for soils and landscape studies*. Ed. International Publishing.