

GÉNESIS DE SUELOS EN UN SECTOR DEL PIEDEMORTE ALUVIAL DEL CHACO SALTEÑO

LUCAS MARTÍN MORETTI^{1*}; DARÍO MARTÍN RODRÍGUEZ¹; MARCOS ESTEBAN ANGELINI¹
& HÉCTOR JOSÉ MARÍA MORRÁS¹

Recibido: 22-03-12

Recibido con revisiones: 16-08-12

Aceptado: 19-08-12

RESUMEN

Se estudia la relación suelo-paisaje, las propiedades físico-químicas y la composición mineralógica de diferentes suelos dentro del cono aluvial del río Del Valle, en el borde occidental del Chaco salteño, en la provincia de Salta, Argentina. Se identificaron seis grupos de suelos con características bien definidas. Los Ustipsamientos y Haplustoles de textura gruesa a media se encuentran principalmente en cordones arenosos, vías de drenaje y planicies del sector proximal del cono; los Argiustoles y Haplustales de texturas medias se desarrollan mayormente en las planicies estabilizadas del sector intermedio; mientras que los Haplustertes de textura fina son característicos de los ambientes de bañados del sector intermedio y distal. Los análisis mineralógicos se llevaron a cabo mediante difracción de rayos X (DRX) y medición de la Susceptibilidad Magnética (SM). La DRX del suelo total mostró variaciones en la proporción de cuarzo, feldespatos, muscovita y minerales accesorios entre los perfiles, reflejando la heterogeneidad de sus materiales parentales. La composición mineralógica de la fracción arcilla permitió diferenciar dos tipos de materiales originarios, posiblemente relacionados con distintas áreas de aporte: I) uno rico en esmectitas e illitas donde se desarrollan el Ustipsament, los Haplustoles y el Haplustert; y II) otro con menor proporción de minerales expansibles y dominancia de illita, correspondiente a los horizontes C del Argiustol y el Haplustalf. Por otra parte, las curvas de Susceptibilidad Magnética muestran tendencias opuestas del Vertisol respecto al Argiustol, el Haplustalf y el Haplustol típico, reflejando condiciones físico-químicas diferentes entre estos suelos, mientras que en el Entisol y los Haplustoles énticos, las curvas varían irregularmente de acuerdo con la heterogeneidad de las capas sedimentarias que los conforman. El presente trabajo resume nuevos resultados e interpretaciones acerca de la génesis, composición y distribución de los suelos para una región donde esta información es todavía escasa.

Palabras clave. Geomorfología; suelos; mineralogía; Provincia de Salta.

SOIL GENESIS IN AN ALLUVIAL PIEDMONT IN THE CHACO REGION OF SALTA PROVINCE

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the soil-landscape relationships and the physico-chemical and mineralogical composition of different soils within the alluvial fan of Del Valle river, in the western part of the Chaco region in the Salta Province, Argentina. Six groups of soils with distinct characteristics were identified. Medium to coarse-textured Ustipsamments and Haplustolls were found on elongated gently convex sandy accumulations, drainage networks and plains of the proximal section of the alluvial fan. The medium-textured Argiustolls and Haplustalfs are mainly developed on stabilized plains in the intermediate section, while fine-textured Haplusterts characterize swamp environments between intermediate and distal sections of the fan. Mineralogical analyses were performed by X-ray diffractometry (XRD) and Magnetic Susceptibility (MS) measurements. The XRD on total soils samples showed variations in the proportion of quartz, feldspars, muscovite and accessory minerals among the profiles, reflecting the heterogeneity of their parent materials. Moreover, according to the mineralogical composition of the clay fraction, two types of parent materials, possibly related to different source areas, were distinguished: I) one containing high proportions of smectite and illite, where Ustipsamments, Haplustolls and Haplusterts are developed; and II) another one with a lower proportion of expansive minerals and dominance of illite, corresponding to the C horizons of Argiustolls and Haplustalfs. The Magnetic Susceptibility of the Vertisol showed an opposite trend to that of the Argiustoll, Haplustalf and Typic Haplustoll, reflecting different physical-chemical conditions between those soil types, while the MS of the Entisol and Entic Haplustolls varied irregularly with depth in accordance to the heterogeneity of their sedimentary layers. This study summarizes new results and interpretations about the origin, composition and distribution of soils in a region where this information is still scarce.

Key words. Geomorphology; soils; mineralogy; Salta Province.

¹ INTA-CIRN, Instituto de Suelos. N. Repetto y Los Reseros s/nº (1686) Hurlingham, Provincia de Buenos Aires.

* Autor de correspondencia: lmoretti@cniia.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

La Llanura Chaco salteña es una extensa planicie caracterizada por su clima semiárido y por la presencia de los importantes sistemas fluviales que la atraviesan. Estos últimos, conforman grandes abanicos aluviales que consisten en sistemas complejos formados por materiales y geoformas de distintas edades y contextos climáticos (Iriondo, 1999). Particularmente, la sedimentación cenozoica en la llanura estuvo controlada por la acción de los ríos Bermejo y Juramento, complementada por el río Pilcomayo (Igarzábal, 1991). La pendiente regional de la unidad se inclina levemente hacia el sureste, siendo más acusada en sus bordes, dejando un área central de gran horizontalidad llamada Chaco Deprimido, donde se forman bañados y esteros en algunos sectores de las cuencas de los ríos Bermejo y Juramento-Salado (Nadir & Chafatinos, 1990).

Por otro lado, además de los sedimentos aluviales se ha señalado la presencia de loess y arenas eólicas depositados durante los períodos áridos del Cuaternario superior (Iriondo, 1999). En relación con estos materiales, existen dos modelos que explican su origen: el primero asume que los vientos del norte habrían depositado los sedimentos provenientes de las cuencas de los ríos Parapetí, Pilcomayo y Bermejo que drenan los Andes Bolivianos (Fm Urundel; Iriondo, 1990), mientras que el segundo, sugiere que fueron transportados por los vientos del sur a causa del desplazamiento hacia el norte del Frente Polar y el debilitamiento del anticiclón del Pacífico Sur («loess neotropical»; Sayago, 1995). Independientemente de su origen, el loess ocupa una amplia extensión en la región central chaqueña, aunque también ha sido identificado en el piedemonte subandino, intercalado con los sedimentos aluviales (Iriondo, 1990).

Desde el punto de vista cartográfico, existen dos mapas de suelos a escala de reconocimiento (1:500.000) para la provincia de Salta (Vargas Gil, 1990; Nadir & Chafatinos, 1990), y un posterior ajuste a escala 1:250.000 en base a imágenes satelitales para el área denominada «Umbral al Chaco» (INTA-UNSA, 2010). Sin embargo esta cartografía resulta insuficiente sobre todo en el ámbito del piedemonte aluvial, donde la variabilidad geomorfológica-sedimentaria requiere de un estudio más detallado, a fin de poder elaborar un modelo genético de distribución de suelos válido para ese ambiente en particular. En este sentido, recientemente se realizó un relevamiento a escala 1:50.000 que abarca una superficie de aproximadamente

470 km² en Las Lajitas, Salta (INTA, 2010), el cual se toma como referencia en este trabajo.

Por su parte, la información mineralógica de los suelos y sedimentos de la región es muy general. Omarini *et al.* (1986) señalan que las fracciones gruesas de los suelos de la Subcuenca del Dorado-Valle están integradas principalmente por abundante cuarzo, seguido de feldspatos potásicos, plagioclasas, vidrio volcánico y escasos fragmentos líticos. Por otro lado, en el loess de la Fm Urundel predominan el cuarzo y la illita, con hornblenda y plagioclasas alteradas como componentes menores y sin la presencia de vidrios volcánicos (Iriondo, 1990). Para el área de Las Lajitas, recientemente se presentaron datos de mineralogía magnética y de la fracción arcilla de tres suelos contrastantes, en donde los primeros pusieron en evidencia diferencias relacionadas con la naturaleza de los materiales y su posición en el paisaje, mientras que los segundos mostraron una asociación de caolinita, illita, esmectita y minerales interstratificados que varía tanto entre, como dentro de los perfiles (Moretti *et al.*, 2010).

Finalmente, si bien no se cuenta con datos específicos suficientes acerca de los materiales parentales de los suelos en el piedemonte aluvial del Chaco salteño, puede presumirse que existen tanto aportes fluviales como eólicos. Por lo tanto, el propósito de esta contribución es generar nueva información mineralógica que contribuya a la interpretación de la génesis y distribución de los suelos en el paisaje, y que constituya el soporte de los trabajos cartográficos en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área en estudio se sitúa en las inmediaciones de la localidad de Las Lajitas, departamento Anta, provincia de Salta (hoja IGN N° 2560-13-2), en la región denominada «Umbral al Chaco». Esta última comprende una estrecha franja desde el límite con Bolivia al norte, extendiéndose hacia el sur ocupando la zona de transición entre las primeras estribaciones de las Sierras Subandinas y la Llanura Chaco-salteña (Fig. 1).

La subcuenca de los ríos Dorado-Del Valle, perteneciente a la cuenca del Bermejo, tiene su nacimiento en el Sistema de Santa Bárbara, separado de las Sierras Subandinas por Rollerí (1976) y Baldís *et al.* (1976) en base a su diferente constitución geológica. Este sistema serrano se compone de sedimentitas marinas ordovícicas, silúricas y devónicas de ambientes someros de plataforma, seguida por los depósitos de rift del Grupo Salta (Salfity & Marquillas, 1994). Completan la secuencia las

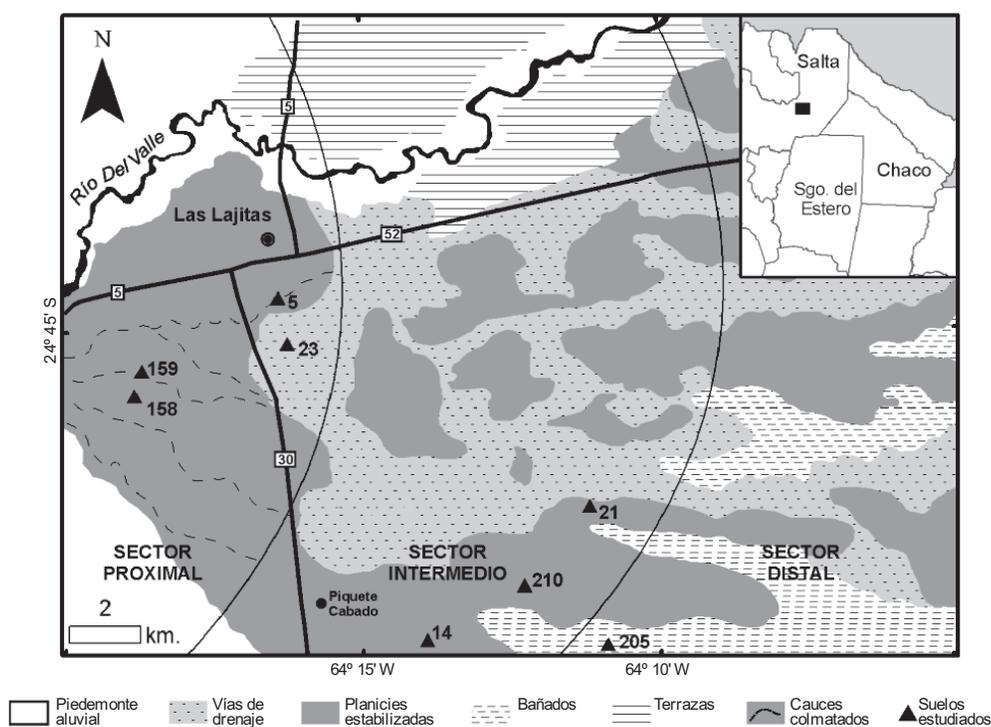


Figura 1. Ubicación del área en estudio y perfiles representativos.

Figure 1. Study area and location of representative profiles.

lutitas y limolitas rojas terciarias (Fm Anta) correspondientes al Grupo Orán (Mon & Gutiérrez, 2007).

La vegetación prístina en la región es prácticamente inexistente estando restringida a cortinas rompevientos que delimitan los campos cultivados (soja-maíz en verano; trigo-cártamo en invierno). La temperatura media es de 20,1 °C (Bianchi & Yañez, 1992) y las precipitaciones –concentradas en los meses de verano– disminuyen considerablemente de oeste a este, siendo de aproximadamente 1200 mm en el sistema serrano y de 662 a 735 mm entre las localidades de Piquete Cabado y Las Lajitas.

El área considerada comprende gran parte del cono aluvial del río Del Valle, donde se estudiaron los suelos representativos de cada unidad geomorfológica, utilizando como base la cartografía a Escala 1:50.000 generada en el relevamiento del área de «Las Lajitas» (INTA, 2010).

Se muestrearon 8 perfiles a razón de una muestra por horizonte (48 en total) para los análisis físico-químicos y mineralógicos, y sistemáticamente cada 10 cm del techo a la base (81 en total) para estudios de la mineralogía magnética. Las muestras fueron secadas en estufa a 40 °C, desagregadas y tamizadas a fin de obtener la tierra fina (<2 mm). Los análisis

físico-químicos se realizaron en el Laboratorio de Suelos y Agua de la Estación Experimental Agropecuaria Salta, y consistieron en: granulometría por densitometría, previa destrucción de la materia orgánica con H₂O₂ y eliminación de carbonatos con HCl; pH en pasta de saturación (H₂O) por Potenciometría; conductividad eléctrica específica por Conductometría en el extracto acuoso de la pasta saturada; carbono orgánico por la técnica Walkley-Black; capacidad de intercambio catiónico y cationes de intercambio mediante el uso de acetato de amonio 1N a pH 7; porcentaje de carbonato de calcio, según la técnica del calcímetro de Scheibler.

Los análisis mineralógicos, llevados a cabo en el Laboratorio de Mineralogía y Micromorfología del Instituto de Suelos del INTA Castelar, se efectuaron por difracción de rayos X (DRX) del suelo total en polvo natural y en la fracción arcilla, mediante un difractómetro Philips PANanalytical X'Pert PRO con anticátodo de Cu. La fracción inferior a 2 µm se dispersó con hexametáfosfato de sodio, se obtuvo por sedimentación y se saturó con magnesio. La determinación mineralógica se realizó en muestras orientadas naturales, saturadas con etilenglicol y calcinadas a 520 °C durante 2 horas. Por otra parte, a partir de los difractogramas de polvo natural se obtuvo el área de los picos de mayor intensidad correspondientes al cuarzo

(Q) y a los feldespatos (F) y se calculó la relación Q: F, a fin de comparar los materiales y evaluar la posible existencia de discontinuidades composicionales. Finalmente, la mineralogía magnética se estudió a través de la medición de la Susceptibilidad Magnética (SM) en masa, utilizando un equipo Bartington MS2 con un sensor MS2B. Las determinaciones se realizaron a alta frecuencia ($\chi_{bf} = 4,650$ kHz) y baja frecuencia ($\chi_{af} = 0,465$ kHz). Además, a fin de detectar la presencia de partículas superparamagnéticas generadas por procesos pedogenéticos (Dearing, 1994), se calculó la Susceptibilidad Magnética dependiente de la frecuencia (χ_{df}) según la fórmula:

$$\chi_{df}\% = \frac{(\chi_{bf} - \chi_{af})}{\chi_{bf}} \times 100$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la relación suelo-paisaje

Para el sector occidental del Chaco salteño, Igarzábal (1991) diferencia unidades de relieve menores, como son el Piedemonte subandino y la Llanura albardonada. La primera constituye un ambiente homogéneo con elevadas pendientes, que sólo es interrumpido por valles fluviales. La segunda, ubicada al este de la anterior, comprende a los sedimentos del antiguo macroabánico del río Juramento, cuyo ápice originario se ubica próximo a la localidad de Joaquín V. González. Este sistema fluvial muestra un importante cambio de dirección en su curso hacia el sur, y respecto a la causa de este comportamiento, existen numerosos trabajos que la vinculan con la actividad tectónica (e.g., Castellanos, 1968; Iriondo, 1984, 1993; Peri & Rossello, 2008, 2010). Asimismo, entre las cuencas de los ríos Bermejo y Juramento existen otros cursos menores como el del Dorado y el Del Valle, que descargan las vertientes orientales subandinas. Estos ríos forman conos aluviales en el sector de piedemonte y al alcanzar la llanura desarrollan también un patrón de divagación lateral, aunque con rumbos diferentes al del Juramento.

El cono aluvial del río Del Valle tiene su ápice en el borde oriental del Sistema de Santa Bárbara ($24^{\circ} 45' S$ y $64^{\circ} 18' O$), donde al encontrarse con la llanura chaqueña deposita rápidamente su carga formando un cuerpo sedimentario que se extiende, siempre en la provincia de Salta, por aproximadamente 1500 km^2 . Debido al diseño de la red de paleocauces presentes en el área, se observa que el río ha cambiado su rumbo original oeste-este hacia el noreste de manera gradual. En el tramo proximal, su encauzamiento

ha elaborado al menos tres niveles de terrazas, mientras que en los tramos medio y distal, al ingresar en una región de menor pendiente y mayor aridez, la red de drenaje se torna más compleja mostrando una amplia faja de divagación caracterizada por numerosos paleocauces y meandros abandonados.

Dentro del cono aluvial se pueden diferenciar claramente dos sectores: 1) el valle fluvial, en el sector norte; y 2) el cono aluvial propiamente dicho, que se extiende al sur del anterior (Fig. 1).

Valle fluvial. Si bien para el presente trabajo no se profundiza en su estudio, este ambiente se caracteriza por la presencia de suelos de distinto grado de desarrollo y granulometría contrastante. Como esquema general, se asume que los depósitos arenosos modernos de la planicie aluvial del río dan lugar a suelos poco evolucionados (Entisoles), mientras que en los sucesivos niveles de terrazas donde afloran materiales limo-arcillosos más antiguos, se encuentran los suelos de mayor desarrollo (Molisoles y Vertisoles).

Cono aluvial. Presenta una típica red de drenaje radial, en donde las vías de escurrimiento se encuentran limitadas por planicies interfluviales. El sector proximal es el de mayor pendiente (0,5-1%), y se caracteriza por su diseño de drenaje subparalelo, en donde la presencia de cordones arenosos orientados en sentido oeste-este le confieren al paisaje una típica topografía ondulada. En los sectores intermedio y distal las pendientes son menores (0-0,5%) por lo que las vías de escurrimiento son de tipo entrelazado encontrándose además, depresiones o «bañados» caracterizados por la acumulación de materiales finos y un drenaje pobre.

A partir del trabajo de campo –posteriormente corroborado por los análisis de laboratorio– se observó una granulometría grano-decreciente de los suelos en sentido oeste-este, como consecuencia de la disminución de la energía de los agentes de transporte desde el sector proximal al distal del cono. Este arreglo es interrumpido localmente en algunos sitios del área considerada por la presencia de materiales arenosos sobre otros más finos subyacentes, lo que estaría relacionado con la migración del río Del Valle hacia el noreste. Por lo tanto, si bien los materiales originarios de los suelos son de textura más gruesa (arenosos) en el sector proximal que en el intermedio (francos) y distal (arcillosos), la situación se torna más compleja y heterogénea cuando se encuentran depósitos arenosos asociados a paleocauces en contacto con mate-

riales más finos, hecho que resulta en la presencia de suelos muy contrastantes a distancias relativamente cortas.

Desde el punto de vista taxonómico se han podido diferenciar seis grupos de suelos representativos para los distintos subambientes, cuyas principales propiedades se resumen en la Tabla 1 y su localización se presenta en la Fig. 1. El sector proximal se caracteriza por la ocurrencia de cordones o lomas arenosas alargadas en sentido oeste-este, donde se desarrollaron los Ustipsamientos típicos y los Haplustoles énticos. Estas geoformas, descritas previamente por Osinaga *et al.* (2008) como cauces colmatados (Serie Don Pedro), se hallan limitadas por sectores planos con Haplustoles típicos, formados a partir de materiales más finos. En el sector intermedio, los Entisoles asociados con Haplustoles énticos y fluvénticos ocupan las vías de drenaje, mientras que en las planicies interfluviales—estables desde el punto de vista geomorfológico—predominan los Argiustoles típicos de textura franca. Finalmente, en áreas acotadas del sector intermedio y en el sector distal del cono se encuentran los Alfisoles (Haplustalfes údicos) y Vertisoles (Haplustertes típicos) asociados a planicies y bañados respectivamente.

Análisis Físico-químicos

Los datos analíticos permitieron diferenciar claramente los distintos grupos de suelos reconocidos. La Tabla 1 muestra los resultados de seis perfiles representativos, aunque de manera general y en base al análisis de numerosas calicatas estudiadas en el área (INTA, 2010), pueden resumirse las siguientes características para cada subgrupo taxonómico:

- Los Ustipsamientos típicos presentan elevados porcentajes de arena (80-90%) y sus clases texturales predominantes son arenosa y arenosa franca. Tienen muy bajos contenidos de materia orgánica (<0,8%), pH neutros a alcalinos, y muy bajos valores de la CIC (entre 2 y 9 cmol kg⁻¹). En algunos casos, pueden presentar acumulaciones de carbonatos hacia la base del perfil;

- Los Haplustoles énticos son de textura gruesa (60-80% de arena). La clase textural de los perfiles varía entre franco arenosa y arenosa franca. Son débilmente ácidos en superficie a ligeramente alcalinos en la base. Los valores de materia orgánica varían entre el 1 y 2%, y los de la CIC son bajos (entre 7,5 y 10 cmol kg⁻¹). Algunos perfiles presentan acumulaciones de carbonatos en la base.

- Los Haplustoles típicos son un grupo heterogéneo en cuanto a su textura, ya que las arenas oscilan entre 15 a

60%, los limos entre 30 y 70% y las arcillas entre 5 al 20%. Las clases texturales varían desde franco arenosa a franco limosa. Son débilmente ácidos en superficie a ligeramente alcalinos en la base. Los valores de materia orgánica superficial superan el 2% (llegando a 4,5% en los suelos bajo monte) y los de la CIC varían entre 7,5 y 15 cmol kg⁻¹. Todos los suelos de este subgrupo presentan acumulaciones de carbonatos hacia la base del perfil;

- Los Argiustoles típicos, de manera similar a los anteriores, son variables en lo que respecta a las texturas. Las arenas oscilan entre el 25 y 70%, los limos entre el 20 y 50% y las arcillas entre el 20 y 35% para los horizontes Bt, con clases texturales franco limosas, franco arcillo arenosas y franco arcillosas. Los perfiles son débilmente ácidos a neutros en superficie y ligera a moderadamente alcalinos hacia la base. Tienen buena provisión de materia orgánica (generalmente entre el 4 y 4,5%), y los valores de la CIC varían entre 10 y 20 cmol kg⁻¹. Todos los perfiles tienen acumulaciones de carbonatos a partir de la base de los horizontes Bt o BC.

- Los Haplustalfes údicos presentan porcentajes de arena entre el 10 y 25%, de limo entre 30 y 50% y de arcilla entre el 30 y 60%, que resultan en clases texturales que van desde franco arcillo limosas hasta arcillosas. El pH varía de neutro en superficie a moderadamente alcalino en profundidad. Presentan buena provisión de materia orgánica superficial con valores en torno al 4% (llegando al 6% en suelos bajo vegetación de monte), mientras que los de la CIC varían entre 12 y 35 cmol kg⁻¹. Todos los perfiles presentan acumulaciones de carbonatos por debajo de los 40 cm de profundidad.

- Los Haplustertes típicos poseen los porcentajes más elevados de arcilla en todo el perfil (entre 50 y 75%), contrastando con los porcentajes de arenas, que no superan el 1%. Texturalmente comprenden clases que van de arcillo limosas a arcillosas. Son moderadamente alcalinos en todo el perfil. La materia orgánica superficial es del orden del 2,5 a 3% y tienen elevados valores de CIC (entre 25 y 40 cmol kg⁻¹). Todos los horizontes presentan acumulaciones de carbonatos.

Como surge del análisis e interpretación de los datos de laboratorio, existe una amplia variabilidad de texturas entre los suelos, además de presentar diferencias en los distintos parámetros químicos determinados. En este sentido, se observa una gradual disminución en el porcentaje de la fracción gruesa desde los Entisoles a los Vertisoles que, como fue mencionado oportunamente, tendría que ver con

Tabla 1. Descripción sintética y datos analíticos de seis perfiles de suelos representativos.
Table 1. Brief description and analytical data of six representative soil profiles.

Horiz.	Prof. cm	Estructura tipo; clase; grado	Color en seco	Rasgos pedológicos	Arena	Limo %	Arcilla	Clase textural	IMO %	CO ₃ ²⁻ %	pH	CIC cmol kg ⁻¹
C5-Ustipsament típico (lat.: 24° 44' 29"S; long.: 64° 11' 23"O)												
Ap	0-30	Masiva	5YR 3/4	-	90	7	3	Arenosa	0,12	5,0	7,2	2,5
AC	30-60	Masiva	5YR 4/3	-	82	12	6	Arenosa franca	0,20	0,0	7,3	3,0
C ₁	60-91	Masiva	5YR 3/4	-	84	10	6	Arenosa franca	0,41	0,0	7,3	3,4
C ₂	91-114	Masiva	5YR 4/4	-	82	10	8	Arenosa franca	0,49	0,0	7,2	9,0
Ck	114-137	Masiva	5YR 4/6	-	81	11	8	Arenosa franca	0,68	2,0	7,4	6,1
2Ck ₁	137-166	Masiva	5YR 5/4	-	78	16	6	Arenosa franca	0,89	1,8	7,3	-
2Ck ₂	166+	Masiva	5YR 6/4	-	62	30	8	Arenosa franca	1,43	2,0	7,1	-
C159-Haplustol éntico (lat.: 24° 45' 46"S; long.: 64° 13' 46"O)												
Ap	0-20	bloq. sub.; f.; déb.	5YR 4/2	-	62	28	10	Franco arenosa	1,22	0,0	6,3	9,2
AC ₁	20-44	bloq. sub.; m.; déb.	5YR 3/4	-	62	26	12	Franco arenosa	0,88	0,0	6,4	9,7
AC ₂	44-62	bloq. sub.; m.; déb.	5YR 3/3	-	62	29	9	Franco arenosa	0,66	0,0	6,9	9,9
C ₁	62-80	Masiva	5YR 4/3	-	64	27	9	Franco arenosa	0,53	0,1	7,2	9,9
C ₂	80-95	Masiva	5YR 3/4	-	64	29	7	Franco arenosa	0,57	0,1	7,6	9,5
Ck	95+	Masiva	5YR 4/4	-	66	27	7	Franco arenosa	0,38	2,5	8,2	7,7
C158-Haplustol típico (lat.: 24° 45' 47"S; long.: 64° 13' 46"O)												
A ₁	0-12	bloq. sub.; m.; déb.	5YR 3/3	-	40	46	14	Franca	2,84	0,1	6,6	14,2
A ₂	12-36	bloq. sub.; m.; mod.	5YR 4/3	-	58	28	14	Franco arenosa	1,43	0,1	6,5	10,3
Bw	36-68	bloq. sub.; g.; mod.	5YR 4/4	-	41	45	14	Franca	1,16	0,0	6,5	11,9
BC	68-90	bloq. sub.; m.; mod.	5YR 5/4	-	48	41	11	Franca	0,71	0,0	6,6	11,1
C	90-118	Masiva	5YR 5/4	-	58	34	8	Franco arenosa	0,38	0,1	6,9	10,1
Ck	118+	Masiva	5YR 5/4	-	66	28	6	Franco arenosa	0,33	2,8	8,1	7,7

Tabla 1. (continuación)

Table 1. (continue)

Horiz.	Prof. cm	Estructura tipo; clase; grado	Color en seco	Rasgos pedológicos	Arena %	Limo %	Arcilla	Clase textural	MO %	CO ₃ %	pH	CIC cmol kg ⁻¹
C14-Argiustol típico (lat.: 24° 50' 09"S; long.: 64° 08' 55"O)												
A	0-20	bloq. sub.; f.; déb.	5YR 4/3	-	23	55	22	Franco limosa	4,24	0,0	6,4	-
Bt ₁	20-40	bloq. sub.; m.; déb.	5YR 3/3	rev. cihum abund.	25	40	35	Franco arcillosa	2,58	0,0	6,5	15,5
Bt ₂	40-59	bloq. sub.; m.; déb.	5YR 5/3	rev. cihum abund.	27	51	22	Franco limosa	1,35	0,0	6,8	18,0
Bck	59-76	Masiva	5YR 6/3	-	34	45	21	Franca	1,06	9,9	7,5	18,6
Ck ₁	76-100	Masiva	5YR 6/3	-	35	48	17	Franca	0,87	10,0	7,8	11,2
Ck ₂	100+	Masiva	5YR 6/3	-	29	52	19	Franco limosa	0,40	10,4	7,7	11,8
C210-Haplustalf údico (lat.: 24° 48' 55"S; long.: 64° 07' 17"O)												
A	0-5	bloq. sub.; f.; déb.	5YR 4/2	-	19	51	30	Franco arc. lim.	4,34	0,1	4,5	25,6
Bt	5-38	bloq. sub.; m.; fte.	5YR 3/2	rev. cihum abund.	11	29	60	Arcillosa	2,28	0,1	7,1	35,8
Btk	38-60	Prismas; g.; fte.	5YR 3/2	rev. cihum abund.	11	26	63	Arcillosa	1,50	1,9	8,4	28,8
Bck ₁	60-85	bloq. sub.; m.; mod.	5YR 3/4	-	14	34	52	Arcillosa	0,90	2,3	8,5	25,2
Bck ₂	85-120	Masiva	5YR 4/4	-	26	44	30	Franco arcillosa	0,28	1,9	8,6	19,6
Ck	120+	Masiva	5YR 5/4	-	42	46	12	Franca	0,33	1,7	8,7	11,8
C205-Haplustert típico (lat.: 24° 50' 14"S; long.: 64° 05' 53"O)												
A	0-20	bloq. ang.; m.; fte.	5YR 4/2	-	1	48	51	Arcillo limosa	2,59	1,4	8,0	37,6
Btss ₁	20-48	bloq. cun.; m.; mod.	5YR 3/2	sick. abund.; mot. f. e.	1	36	63	Arcillosa	1,62	3,2	8,3	35,5
Btss ₂	48-72	bloq. cun.; m.-f.; mod.	5YR 3/2	sick. abund.; mot. f. e.	1	31	68	Arcillosa	1,38	3,5	8,5	31,4
Bck	72-90	bloq. cun.; m.; mod.	5YR 3/3	moteados finos escasos	1	28	71	Arcillosa	1,10	4,0	8,5	28,3
Ck	90-150	bloq. ang.; m.; mod.	5YR 3/4	moteados finos escasos	1	23	76	Arcillosa	0,76	4,1	8,4	31,4

Referencias: Estructura: bloq.: bloque; sub.: subangular; ang: angular; cun.: cuneiforme; f.: fino; m.: medio; g.: grueso; déb.: débil; mod.: moderado; fte.: fuerte. Rasgos pedológicos: rev.: revestimientos; cihum: clay-húmicos; sick: slickensides; mot.: moteados; f.: finos; abund.: abundantes; e.: escasos.

Referencias: Structure: bloq.: blocky; sub.: subangular; ang: angular; cun.: wedge-shaped; f.: fine; m.: medium; g.: coarse; déb.: weak; mod.: moderate; fte.: strong. Pedological features: rev.: coatings; cihum: clay-humic; sick: slickensides; mot.: mottles; f.: fine; abund.: abundant; e.: scarce.

el proceso de selección granulométrica dentro del cono aluvial relacionado con la distancia al área de aporte. Por otro lado, el aumento en el porcentaje de la fracción fina en los horizontes subsuperficiales de los Argiustoles típicos y Haplustalfes údicos (Tabla 1: perfiles C14 y C210 respectivamente), se debería al proceso de iluviación y neoformación de arcillas que ocurre a esos niveles. También la variación granulométrica dentro de los perfiles permitió establecer discontinuidades no siempre identificadas a campo, como aquellas presentes entre los subhorizontes C del perfil C5 (Tabla 1).

En lo que respecta a los datos químicos, se puede resumir que tanto en los suelos más evolucionados (Argiustoles, Haplustalfes) situados en posiciones relativamente elevadas, como en aquellos desarrollados en los sectores deprimidos del paisaje (Haplustertes), se dan los valores más altos de materia orgánica. El pH es ligeramente ácido en superficie en casi todos los perfiles debido a la materia orgánica y se torna alcalino en profundidad, particularmente en aquellos horizontes con acumulación de carbonato de calcio. La CIC es bastante variable y, como se discutirá más adelante, no solo dependerá del contenido de materia orgánica, sino también de la mineralogía de la fracción arcilla.

Mineralogía

Suelo total. La composición mineralógica en todos los perfiles se caracteriza por la abundancia de cuarzo y feldespatos, estos últimos compuestos por plagioclasas y feldespatos potásicos. En menor cantidad se presentan muscovita, calcita y otros minerales accesorios (Fig. 2).

Los resultados indican un menor contenido de cuarzo en el suelo Haplustert típico (Tabla 2), expresado por valores más bajos de la relación cuarzo: feldespatos, donde el promedio entre todos sus horizontes es de 0,85, mientras en los demás suelos es en general superior a 0,90. Este hecho podría atribuirse a la textura arcillosa del Vertisol, asumiendo que en los materiales analizados el cuarzo domina en las fracciones más gruesas. Además, la variación del índice calculado permitió confirmar la presencia de discontinuidades sedimentarias dentro de algunos perfiles, como aquellas detectadas en la parte inferior y media del Ustipsament típico y el Haplustol éntico respectivamente (Tabla 2).

Fracción arcilla. Los minerales de arcilla identificados han sido illita (10 Å), caolinita (7,1 Å) y minerales expansibles, entre los que se incluyen esmectitas (14 Å) e interstratificados irregulares de illita-esmectita (>15 Å). Los tests complementarios de glicolado y calcinado corroboraron la presencia de estos últimos, debido al desplazamiento de los picos de ~14-15 Å hacia los ~16-17 Å y al refuerzo del pico de 10 Å respectivamente (Fig. 3-Tratamientos).

Los diagramas de DRX muestran que las proporciones de estos minerales varían de acuerdo a los suelos y dentro de cada perfil (Fig. 3). De esta manera, se pueden diferenciar dos tipos composicionales: I) uno donde el material originario (horizontes C) es rico en esmectita e illita (perfiles C5, C23, C158 y C205); y II) otro con menor proporción de minerales expansibles y dominancia de illita (perfiles C14 y C21). A su vez, los resultados revelan que el Ustipsament típico (perfil C5), el Haplustol éntico (C23)

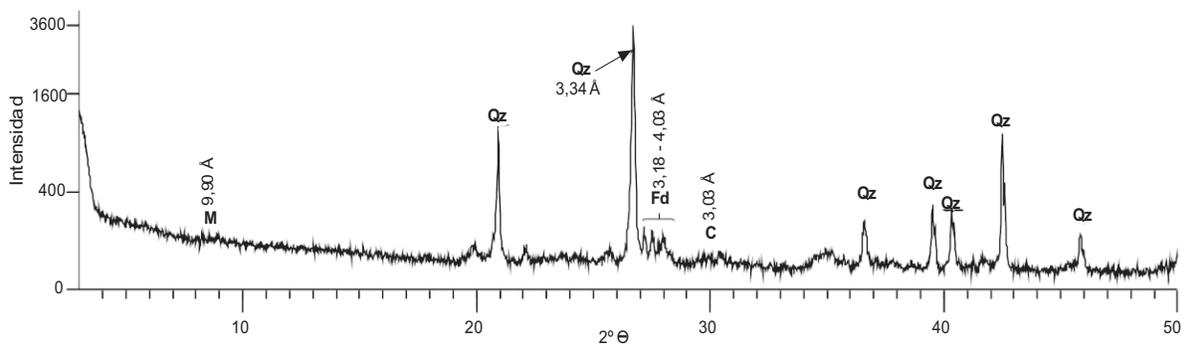


Figura 2. Diagrama de difracción de rayos X en polvo natural. Perfil C5 (Ustipsament típico), horizonte Ck1 (100 cm). Ref.: Qz=cuarzo; M=muscovita; Fd=feldespatos; C=calcita.

Figure 2. Diagram of X ray diffraction on soil natural dust. Profile C5 (Typic Ustipsament, horizon Ck1 (100 cm). Ref.: Qz=quartz; M=muscovite; Fd=feldspars; C=calcite.

Tabla 2. Valores de la relación cuarzo: feldespato y de la Susceptibilidad Magnética dependiente de la frecuencia (XdF) en seis perfiles de suelos representativos.

Table 2. Quartz: feldspar ratio and Magnetic Susceptibility frequency dependent (Xdf) for six representative soil profiles.

Horizonte	Prof. cm	Q/(Q+F)	XdF %
C5-Ustipsament típico (lat.: 24° 44' 29"S; long.: 64° 11' 23"O)			
Ap	0-30	0,79	3,20
AC	30-60	0,98	1,89
C ₁	60-91	0,98	2,45
C ₂	91-114	0,93	2,02
Ck	114-137	0,95	2,27
2Ck ₁	137-166	0,80	2,08
2Ck ₂	166+	0,84	0,35
C23-Haplustol éntico (lat.: 24° 45' 11"S; long.: 64° 11' 15"O)			
Ap	0-17	-	-
A	17-31	0,98	2,04
AC	31-49	0,97	2,53
C ₁	49-69	0,70	2,46
C ₂	69-121	0,96	1,84
C ₃	121-164	0,96	-
C158-Haplustol típico (lat.: 24° 45' 47"S; long.: 64° 13' 46"O)			
A ₁	0-12	-	2,50
A ₂	12-36	0,98	2,97
Bw	36-68	0,92	3,27
BC	68-90	0,94	1,92
C	90-118	0,95	1,69
Ck	118+	0,92	1,25
C14-Argiustol típico (lat.: 24° 50' 09"S; long.: 64° 08' 55"O)			
A	0-20	0,88	2,62
Bt ₁	20-40	0,97	4,26
Bt ₂	40-59	0,94	4,87
BCK	59-76	0,93	3,37
Ck ₁	76-100	0,94	3,45
Ck ₂	100+	0,96	2,55
C21-Haplustalf údico (lat.: 24° 47' 21"S; long.: 64° 06' 10"O)			
A	0-12	-	2,01
Bt ₁	12-30	0,97	4,30
Bt ₂	30-43	0,95	4,99
Btk	43-56	0,97	2,16
BCK ₁	56-76	0,90	2,15
BCK ₂	76-98	0,93	3,49
Ck	98-118	0,98	1,98
C205-Haplustert típico (lat.: 24° 50' 14"S; long.: 64° 05' 53"O)			
A	0-20	0,88	3,22
Btss ₁	20-48	0,84	3,38
Btss ₂	48-72	0,84	3,92
BCK	72-90	0,86	2,42
Ck	90-150	0,80	3,31

y el Haplustert típico (perfil C205) a pesar de ser texturalmente contrastantes, tienen una composición mineralógica similar, mostrando una disminución en la proporción de esmectitas en los horizontes subsuperficiales (AC-C1-Btss2 respectivamente) en relación con sus materiales parentales. Este comportamiento, aunque en menor medida, también ocurre en el Haplustol típico (C158). Las causas de estas variaciones para el caso del Ustipsament típico y los Haplustoles pueden ser atribuidas a procesos sedimentarios que resultan en la superposición de capas de diferente composición, interpretación que se ve reforzada a partir de las oscilaciones de la curva de SM en esos perfiles. Para el caso del Vertisol, la disminución de la proporción de esmectitas en el horizonte Btss podría relacionarse también con la formación progresiva de edificios interstratificados hacia la superficie y/o con la pérdida por eluviación selectiva de las arcillas esmectíticas. Contrariamente, en el Argiustol típico (C14) y en el Haplustalf údico (C21) se observa un aumento en la intensidad de los picos de los minerales de arcilla en los horizontes Bt respecto a sus materiales originarios. En este caso, la intensidad de las reflexiones en las muestras de arcilla de estos horizontes argílicos podría asociarse en parte a un incremento en la proporción de los argilominerales debido al proceso de iluviación; también, y en consonancia con el mayor grado de desarrollo de estos suelos, esta mayor definición de las reflexiones podría reflejar un incremento en la intensidad de los procesos de neoformación o bien un mayor grado de cristalinidad de las arcillas debido a procesos de transformación en estos horizontes. Sin embargo, de acuerdo con la información disponible hasta el momento, no es posible establecer la predominancia de uno u otro de los mencionados procesos.

Susceptibilidad Magnética. Las curvas de Susceptibilidad Magnética a baja frecuencia (Fig. 4) muestran los valores más bajos en el Haplustert típico (C205), hecho que indicaría una menor concentración de minerales magnéticos en ese perfil. Además la variación de la curva con la profundidad muestra tendencias diferentes entre los distintos perfiles, disminuyendo su valor hacia la superficie en el Haplustert típico (C205), en tanto aumenta en ese mismo sentido en el Argiustol típico (C14), en el Haplustalf údico (C21) y en el Haplustol típico (C158), y se mantiene relativamente constante con algunas oscilaciones en el Ustipsament típico (C5) y en el Haplustol éntico (C23). Estos resultados reflejarían diferentes condiciones

sedimentológicas y edáficas en los distintos grupos de suelos de este área: a) en el suelo Vertisol, característico de los ambientes de bañados, los valores absolutos y el perfil vertical de la SM podrían relacionarse con condiciones reductoras y la consecuente destrucción progresiva de minerales magnéticos hacia la superficie. Esta interpretación es compatible con las condiciones de episaturación observadas en el suelo, expresadas por la coloración general del perfil y la ocurrencia de moteados en la parte superior del mismo; sondeos con barreno realizados hasta los 4 metros de profundidad no evidenciaron la presencia de la napa freática; b) en los suelos bien drenados que ocupan sectores positivos o planos del paisaje, como es el caso del Argiustol típico, el Haplustalf údico y el Haplustol típico, predominarían condiciones oxidantes, resultando en un aumento de la SM hacia la superficie; y c) en los suelos de menor desarrollo, como es el caso del Ustipsament típico y el Haplustol éntico, las oscilaciones de la señal magnética se relacionarían con características heredadas y variaciones propias del material parental. Por otra parte, los bajos valores de la χ_{df} (Tabla 2)—en general por debajo del 3%— en los suelos de poco desarrollo y textura gruesa, sugieren que sus minerales magnéticos serían de origen primario, mientras que los valores más elevados medidos en los horizontes argílicos de los suelos más desarrollados y de texturas francas a más finas, sugieren una cierta neoformación de minerales magnéticos en esos niveles.

CONCLUSIONES

A partir del análisis de la relación suelo-paisaje dentro de este cono aluvial, localizado en el piedemonte del Chaco salteño, puede establecerse como esquema general que en las vías de escurrimiento se encuentran suelos poco evolucionados como consecuencia de la prevalencia de procesos morfogenéticos, mientras que en las planicies estabilizadas se encuentran los suelos más desarrollados—con rasgos de iluviación más acentuados— debido a la dominancia de los procesos pedogenéticos. A su vez, en los ambientes de bañados, la textura y composición de los materiales depositados determina el desarrollo de Vertisoles. Por otro lado, la composición mineralógica de la fracción arcilla permitió diferenciar dos tipos de materiales originarios, asumiendo que tanto los suelos poco evolucionados y de textura gruesa del sector proximal como los suelos Vertisoles de textura fina de los sectores intermedio y distal, se han originado a partir del depósito de ma-

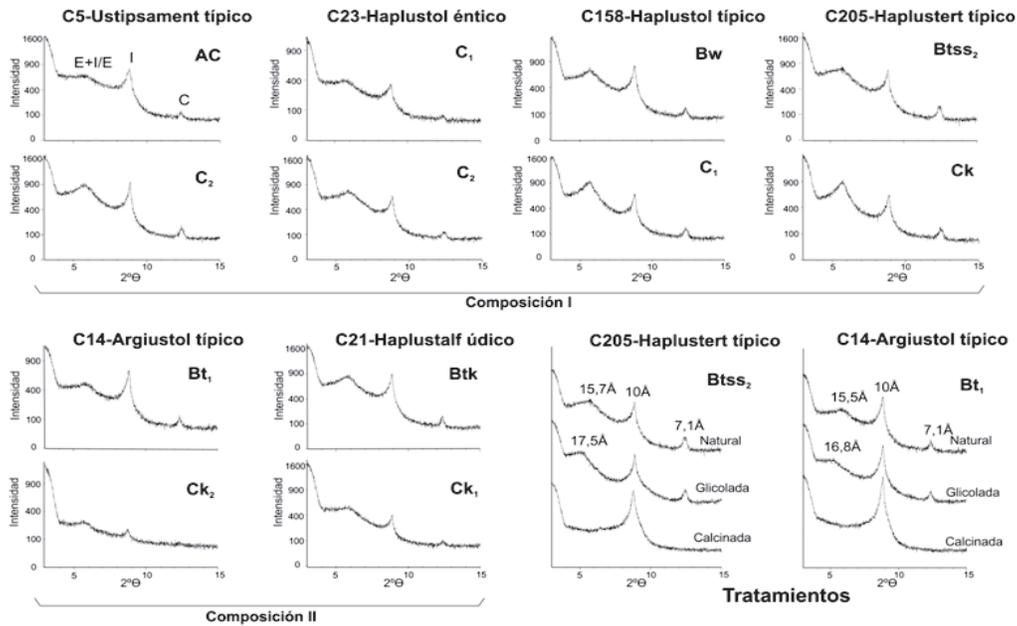


Figura 3. Diagramas de difracción de rayos X de la fracción arcilla en diferentes perfiles y a dos profundidades (horizonte subsuperficial y material originario). Los tratamientos complementarios corresponden a una muestra de cada tipo composicional. Ref.: E=esmectita; I=illita; C=caolinita.
 Figure 3. X ray diffraction diagrams of the clay fraction from different soil profiles obtained at two depths (subsurface horizon and parent material). Complementary treatments correspond to a sample of each compositional type. Ref.: E=smectite; I=illite; C=kaolinite.

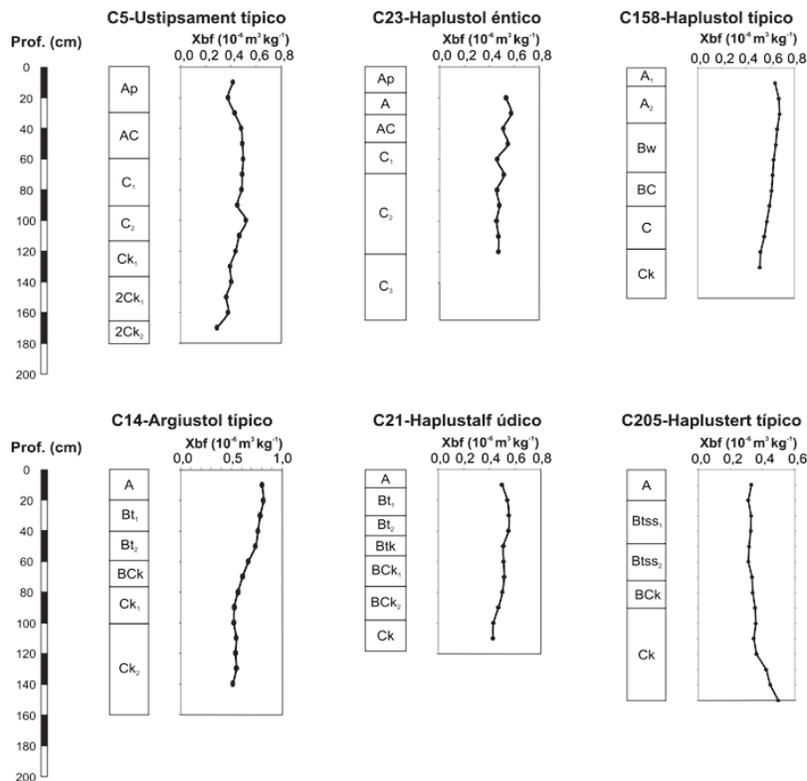


Figura 4. Curvas de variación de la Susceptibilidad Magnética a baja frecuencia con la profundidad.
 Figure 4. Depth functions of low-frequency Magnetic Susceptibility values.

teriales aluviales provenientes de un área de aporte en común. No obstante a pesar de ser similares composicionalmente, estos suelos muestran marcadas diferencias texturales —como surge de los datos analíticos— relacionadas con su distancia al área de aporte. En cambio, los suelos más evolucionados ubicados en las planicies estables se habrían formado a partir de sedimentos provenientes de otra área fuente; los elevados contenidos de limo en sus horizontes C así como la predominancia de illita en la fracción arcilla, estarían relacionados con el origen eólico de estos materiales (loess retransportados). Por otra parte las curvas de Susceptibilidad Magnética reflejan diferentes situaciones entre los perfiles estudiados. El suelo Vertisol se caracteriza por sus condiciones reductoras más acentuadas hacia la superficie, mientras que en la mayoría de los suelos esta tendencia se invierte, mostrando condiciones más oxidantes en ese sentido. Por su parte, los suelos poco desarrollados de textura gruesa, muestran una mayor oscilación en la curva de SM que estaría de acuerdo con la propia heterogeneidad de las capas sedimentarias que los conforman. En base a los resultados aquí obtenidos, este modelo de distribución y composición de suelos podría ser extrapolado —y utilizado con fines cartográficos— a otros ambientes con características similares dentro del piedemonte subandino del Chaco salteño.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto INTA AERN 5652, y fue posible gracias a la contribución de todos sus participantes. Colaboraron en distintas etapas de su elaboración, técnicos y profesionales de la Universidad Nacional de Salta y del INTA, particularmente del Instituto de Suelos de Castelar y de las Estaciones Experimentales Agropecuarias de Salta, Sáenz Peña, Rafaela, Bariloche y Paraná.

BIBLIOGRAFÍA

- Baldis, BA; A Gorroño; JV Ploszkiewicz & RM Sarudiansky. 1976. Geotectónica de la Cordillera Oriental, Sierras Subandinas y áreas adyacentes. 6° Congreso Geológico Argentino, Bahía Blanca, Actas 1: 3-22, Buenos Aires.
- Bianchi A & C Yañez. 1992. Las precipitaciones en el Noroeste Argentino. Vol. 1. 2da ed. 383 pp. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Salta.
- Castellanos, A. 1968. Desplazamientos naturales en abanico del río Salado del Norte en la llanura Chaco-Santagueño-Santafesina. Instituto de Fisiografía y Geología, Universidad Nacional de Rosario 52: 1-14.
- Dearing, J. 1994. Environmental Magnetic Susceptibility using the Bartington MS2 System, Chi Publishing, Kenilworth, UK, 52 pp.
- INTA-UNSA. 2010. Adecuación a un Sistema de Información Geográfica del estudio «Los suelos del NOA (Salta y Jujuy), Nadir, A & T Chafatinos, 1990». <http://anterior.inta.gob.ar/?url=http://anterior.inta.gob.ar/prorenea>. Acceso Marzo de 2012.
- Igarzábal, AP. 1991. Morfología de las Provincias de Salta y Jujuy. *Revista del Instituto de Geología y Minería*, UNJU Rep. Argentina 8: 97-121.
- INTA. 2010. Desarrollo metodológico y operativo para el relevamiento, correlación de suelos y evaluación de tierras. <http://inta.gob.ar/documentos/desarrollo-metodologico-y-operativo-para-el-relevamiento-correlacion-y-evaluacion-de-tierras-area-piloto-las-lajitas-provincia-de-salta/>. Acceso Marzo de 2012.
- Iriondo, MH. 1990. La Formación Urundel, un loess chaqueño. International Symposium on loess, Expanded abstracts. Pp. 89-90.
- Iriondo, MH. 1984. The Quaternary of Northeastern Argentina. Quaternary South American and Antarctic Peninsula, A.A. Balkema Publication 2: 51-78, Rotterdam.
- Iriondo, MH. 1993. Geomorphology and late Quaternary of the Chaco (South America). *Geomorphology* 7: 289-303.
- Iriondo, MH. 1999. El Cuaternario del Chaco y Litoral. *En: R. Caminos (ed.) Geología Argentina, Anales* 29: 696-699. Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires.
- Mon, R & AA Gutiérrez. 2007. Estructura del extremo sur del Sistema Subandino (Provincias de Salta, Santiago del Estero y Tucumán). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62(1): 62-68.
- Moretti, LM; H Morrás; D Rodríguez & M Angelini. 2010. Mineralogía de suelos de un sector aluvial en el extremo occidental del Chaco salteño. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Resúmenes p. 265 y CD de actas.
- Nadir, A & T Chafatinos. 1990. Los suelos del NOA (Salta y Jujuy), Tomos I y II. Universidad Nacional de Salta.
- Omarini, RH; AR Nadir; JJ Marcuzzi & T Chafatinos. 1986. Procesos deposicionales y evolutivos de la baja cuenca del Río Bermejo en relación con la mineralogía, erosión y desarrollo de los suelos. Salta-Argentina. *Ciencia del Suelo* 4(1): 72-81.
- Osinaga, R; T Chafatinos; P Kirschbaum & MS Cardozo. 2008. Utilización de mapas de rendimiento para la cartografía de suelos. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, San Luis. Resúmenes, p. 437 y CD de Actas.
- Peri, VG & EA Rossello. 2008. Influencias morfoestructurales e hidrográficas de las Lomadas de Otumpa (Santiago del Estero y Chaco, Argentina). 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 418-419. Jujuy.
- 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): 634-645.
- Rolleri, EO. 1976. Sistema de Santa Bárbara: una nueva provincia geológica argentina. 6° Congreso Geológico Argentino, Bahía Blanca. Actas 1: 239-255. Buenos Aires.
- Salfity, JA & RA Marquillas. 1994. Tectonic and sedimentary evolution of the Cretaceous-Eocene Salta Group Basin, Argentina. *In: Salfity, JA (ed.) Cretaceous Tectonic of the Andes*, Vieweg ed., 266-315.
- Sayago, J. 1995. The Argentine neotropical loess: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 14: 755-766.
- Vargas Gil, J. 1990. Provincia de Salta, escala 1:500.000. *En: Atlas de Suelos de la República Argentina*. SAGyP-INTA, pp. 285-350.