

Capítulo 4

Dos casos de suelos con horizontes compactados en la provincia de Catamarca

Two cases of soils with compacted horizons in Catamarca province, Argentina

Beatriz Alicia Guichon¹
bguichon132@yahoo.com.ar

Olga Pernasetti²

**Autor de contacto*

¹ CONICET. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.

² Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Catamarca. Argentina.

ÍNDICE CAPÍTULO 4

■ RESUMEN	123
■ EXTENDED ABSTRACT	125
■ INTRODUCCIÓN	127
■ DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS	128
Suelos con horizonte petrocálcico	128
Suelos con laminaciones	129
■ MÉTODOS	131
■ RESULTADOS	133
Suelos con horizonte petrocálcico	133
Suelos con laminaciones	136
■ DISCUSIÓN	138
Suelos con horizonte petrocálcico	138
Suelo con laminaciones	141
■ EFECTOS DE LA COMPACTACIÓN DEL SUELO SOBRE LOS CULTIVOS	145
■ CONCLUSIONES	148
■ BIBLIOGRAFÍA	148

■ RESUMEN

Se describen dos casos de suelos con compactaciones naturales, ubicados en la provincia de Catamarca. El primero de ellos se encuentra en una zona serrana, en los faldeos orientales de la sierra de Ambato, importante bloque montañoso perteneciente al sistema orográfico de las sierras Pampeanas. Las precipitaciones oscilan alrededor de 600 mm anuales, las temperaturas varían con la altitud, y existe déficit de humedad edáfica durante todo el año; las lluvias se concentran en la época estival. En suelos desarrollados sobre sedimentos loésicos que recubren las áreas cumbreales, con vegetación predominante de pastizal de altura, se encuentran abundantes depósitos de carbonato de calcio de origen pedogenético. En algunos perfiles dichos depósitos forman compactaciones de morfología y dureza que afectan el desarrollo de plantaciones de nogales, provocando el abandono de algunas parcelas por el escaso desarrollo de las plantas. Los suelos estudiados son poco evolucionados, del tipo A,C; A,Ck o ACkm. Entre ellos se encuentran principalmente Haplustoles énticos, y entre los que tienen más contenido de carbonatos, Calciustept petrocálcicos (Soil Survey Staff, 2014). Según la clasificación IUSS WRB (2015) serían Haplic Kastanozem y Petric Calcisol. Si bien raramente exceden el 15 % de contenido en carbonatos, es habitual observar depósitos de carbonatos secundarios en forma de pseudomicelios y recubrimientos en las caras de los agregados y nódulos. En algunos casos, estos depósitos se presentan en forma de superposición de planchas de escaso espesor (0,5 mm), de continuidad lateral parcial, que en conjunto forman un espesor cementado de alrededor de 15 cm. Se estima que la conjunción del clima y la textura limosa del sedimento original, más el aporte de carbonato de calcio en forma de polvo han provisto las condiciones necesarias para la penetración de los carbonatos con las lluvias y la formación de una calcreta discontinua, en algunos perfiles; la misma está a distintas profundidades, obstruyendo el desarrollo de las raíces del cultivo, cuando se encuentra cerca de la superficie del suelo.

El otro caso se trata de suelos desarrollados en una planicie aluvial o bajada, perteneciente al piedemonte occidental de la Sierra de Ambato, que forma parte de una gran cuenca semiendorreica: el Bolsón de Pipanaco. Los sedimentos que forman el sustrato de los suelos son gravillas y arenas a los que se superponen con frecuencia depósitos eólicos en forma de médanos o mantos de arena. La pendiente es suave (0,5 a 1,5 %). El clima es subtropical árido, con precipitaciones escasas (150 a 200 mm), concentradas fuertemente en la época estival. La temperatura media anual es de 19°C, los vientos son frecuentes todo el año y hay un alto déficit de humedad. La vegetación natural es una estepa arbustiva de jarilla, con algarrobales en galería aledaños a los cursos de agua, que son todos transitorios. Los suelos se clasifican como Torrifluent típicos por el sistema Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2014) y Eutric Fluvisols por el sistema (WRB, 2015), excepto el Pedón 26, que por su alto contenido en sales se definió como Haplic Solonchak. En esta área se encuentran, en numerosos perfiles con escaso desarrollo genético, una sucesión de capas conteniendo láminas de material fino (limo/arcilla), de poco espesor y colores contrastantes (gris oscuro y claro, rojizas) con respecto al sedimento arenoso que las contiene. Muchas de estas láminas poseen espesores mayores a 7,5 cm con límites abruptos y en ningún caso cortan la estratificación del sedimento. En los cortes delgados observados al microscopio no se detectaron revestimientos de arcilla. Las características macro y micromorfológicas sugieren que, las láminas pueden interpretarse como "lamelas" de origen petrogénico. Se postulan dos orígenes posibles para las mismas: a) depósitos aluviales esporádicos de escorrentía, b) y/ o aportes eólicos, ambos con energía variable que explicarían las diferencias granulométricas entre estas láminas de material fino, limo y arcilla en distintas proporciones y, la matriz arenosa que las separa. Estos suelos se destinaron al cultivo de olivos, pero en el sector del campo con suelos laminados las plantas se desarrollaron en forma defectuosa por impedimentos en el crecimiento de sus raíces debidos a su presencia. La existencia de

“lamelas” es discontinua en el paisaje y la consecuencia de su presencia se observa por el “manchoneo” heterogéneo en el desarrollo de las plantas de olivo.

En ambos casos estudiados, de horizontes compactados naturalmente, ya sea por carbonatos secundarios y/o presencia de “lamelas”, los cultivos implantados se ven afectados en su desarrollo vegetativo. La presencia de las compactaciones se detectó por el efecto suelo-planta en la respuesta de los cultivos. La compactación produjo aumento en la densidad y resistencia mecánica de los suelos, destruyendo y/o debilitando la estructura, disminuyendo la macroporosidad y porosidad total del suelo y consecuentemente dificultando o impidiendo el desarrollo de las raíces. En los suelos con horizonte petrocálcico a menos de 70 cm de profundidad, las plantas de nogal tuvieron poco crecimiento y el rendimiento fue pobre y poco rentable, lo que motivó el abandono del cultivo en ese sector. En los suelos con laminaciones, los olivos tuvieron escaso desarrollo radicular, lo que motivó que fueran volteados por la ocurrencia de vientos fuertes, bastante frecuentes en la zona sobre todo en la época estival.

Palabras clave

calcreta,
lamelas,
nogales, olivos.

■ EXTENDED ABSTRACT

Two cases of soils with natural compactions from Catamarca province, Argentina, are described. One of the soils is located in a montane area on the eastern hillsides of Ambato Sierra, an important mountainous block belonging to the orographic system of Pampean Sierras. Mean annual rainfall is about 600 mm concentrated in summer; temperature varies with altitude and water deficit occurs all the year. The area is covered with high altitude grasslands. In soils developed in loessial sediments, abundant pedogenic calcium carbonate deposits are found. In some profiles, these deposits are compacted and have a morphology and hardness that affect walnut plantations, some of which were abandoned due to the poor growth of plants. The studied soils are slightly developed, with A,C or A,Ck, or ACkm sequences. The more common soils are Entic Haplustolls and, where carbonates are abundant, Petrocalcic Calcicustepts (Soil Taxonomy, 2014). According to the WRB classification (2015) the soils are Haplic Kastanozems and Petric Calcisols. Secondary carbonate deposits such as pseudomycelia, coatings on ped faces and nodules are common, although carbonate content rarely exceeds 15 %. In some cases, the cemented deposits are about 15 cm thick and are constituted by a superposition of thin (0.5 mm) layers, with a partial lateral continuity. It is assumed that the combination of climate and the silty texture of the parent material, as well as the addition of calcium carbonate as dust, have permitted the penetration of carbonates with rainwater and the formation of a discontinuous calcrete in some profiles; this layer occurs at variable depths and hinders the growth of crop roots when it is near the soil surface.

A different case is when soils develop on alluvial plains or bajadas, belonging to the western piedmont of Ambato Sierra, which is a part of a large semi-endorheic basin: the Pipanaco bolson. The sediments that form the soil substrate are fine gravels and sands, frequently overlain by eolian deposits such as dunes or sand sheets. The slopes are gentle (0.5 - 1.5 %). The climate is arid subtropical with precipitations (150-200 mm) largely concentrated in summer. Mean annual temperature is 19 °C; winds are frequent throughout the year and the moisture deficit is high. Vegetation is a shrub-steppe of *Larrea sp.* and gallery forests of *Prosopis sp.* are found along temporary watercourses. The soils are classified as Typic Torrifluvents (Soil Taxonomy, 2014) and Eutric Fluvisols according to the WRB system (2015), except Pedón 26, which was classified as a Haplic Solonchak due to its high salt content. In this area, many slightly developed soils are found which exhibit thin layers of fine material (silt/clay) and contrasting colours (dark and light gray, reddish) in comparison with the sandy sediments that separate them. Many of these layers are thicker than 7.5 cm; they have abrupt boundaries and never intersect the sediment bedding. Microscope observations in thin sections do not reveal clay coatings. The macro- and micromorphological characteristics suggest that the layers can be interpreted as petrogenic “*lamellae*”. Two possible origins can be postulated for them: a) sporadic runoff alluvial deposits and/or b) eolian contribution. In both cases, variations in energy would explain the grain-size differences between the fine material of the layers (different proportions of silt and clay) and the sandy matrix that separate them. These soils are devoted to olive-tree production, but in the areas with laminated soils, plants are defective due to restrictions in root growth. The presence of “*lamellae*” is discontinuous in the landscape, which explains the patchy pattern due to the different conditions of olive plants.

In the two cases of naturally compacted horizons due to the presence of secondary carbonates and/or “*lamellae*”, the vegetative growth of the crops was affected. Compactions were detected due to the soil-plant effect in crop response. Compaction gave rise to an increase in density and strength; the structure was destroyed or became weaker with a decrease of macroporosity and total porosity; con-

sequently, root growth was difficult or impossible. In the soils where the petrocalcic horizon is above 70 cm depth, walnut plants were stunted, giving low, unprofitable yields; this resulted in the abandonment of the crops in those sectors. In the soils with laminations, olive-trees had poor root growth and tipped over during strong winds, which are rather frequent in the region, especially in summer.

Keywords calcrete,
lamellae,
walnut-trees, olive-trees.

■ INTRODUCCIÓN


Si bien en la provincia de Catamarca se dan algunas condiciones ambientales que podrían haber favorecido el desarrollo de suelos con compactaciones naturales (aridez, abundancia de carbonatos), en los estudios de suelos realizados hasta la fecha son escasas las menciones al respecto. Aparte de los 2 casos que se tratarán a continuación, sólo se conocen referencias de presencia de un suelo con horizonte petrogypico en las cercanías de la localidad de San Martín, en el límite con la provincia de La Rioja (R. Ogas, *com. per.*); otro suelo con horizonte petrocálcico, al pie de la sierra de Ancasti, en el Valle Central de Catamarca, (P.Watkins y O.Pernasetti; *com. pers.*), y un suelo con posible duripán en el mismo valle, en cercanías de la capital provincial, observado en el campo por los autores. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que aproximadamente el 70 % de la Pprovincia está constituida por terreno montañoso, con incipiente o nulo desarrollo de suelos, siendo bastante escasas en el resto de la provincia las cartografías de suelos de detalle o semidetalle que podrían aportar datos sobre este tema. Al respecto, cabe señalar que los casos aquí descriptos han sido detectados por estudios de suelos detallados en superficies reducidas, a nivel de predio, encargados por propietarios de áreas bajo cultivo que tenían dificultades con el crecimiento y desarrollo de los mismos, en un caso con plantaciones de olivos y en otro con plantaciones de nogales. De lo antedicho se deduce que, aunque la presencia de suelos con horizontes compactados no se menciona con frecuencia en la provincia de Catamarca, no tenemos certeza absoluta al respecto por insuficiencia de información. En la **Figura 1** , se señala la ubicación de dos zonas que presentan suelos compactados y donde se encuentran los Pedones seleccionados para el estudio.



Figura 1: Ubicación de las áreas de trabajo: suelos con laminaciones y plantaciones de olivos, en un piedemonte dentro del bolsón de Pipanaco, y suelos con horizontes petrocálcicos y plantaciones de nogales, en un valle intermontano de la sierra de Ambato.

Figure 1: Location of the study areas: soils with laminations and olive plantations (piedmont in Pipanaco bolson) and soils with petrocalcic horizons and walnut tree plantations (intermountain valley in Ambato sierra).

■ DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS

Suelos con horizonte petrocálcico

Estos suelos se encuentran ubicados en uno de los valles de origen tectónico y orientación N-S desarrollados entre los diferentes bloques montañosos que conforman la sierra de Ambato. El valle está flanqueado hacia el este por el cerro Alto del Pitadero, y hacia el oeste por el Cerro El Mishino (González Bonorino, 1978). Los perfiles descriptos se ubican a ambos lados de la ruta provincial N° 4, entre las localidades de El Rodeo y Las Juntas, en el paraje conocido como Bella Vista.

Originalmente el estudio de los suelos en este sitio fue requerido por el propietario de una finca productora de nueces, donde se presentaban problemas con el desarrollo de algunas plantas en determinadas parcelas. Esto determinó la realización de 7 calicatas en distintos puntos de la finca, a fin de obtener información detallada sobre las condiciones de los suelos.

Según el Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA, 1990) este suelo se ubica en la Región Natural "Sierra con Vegetación de Chaco y Bosque de Transición". Las precipitaciones registradas son de 300 a 600 mm anuales, las temperaturas varían con la altitud, y existe déficit de humedad edáfica durante todo el año. Los suelos definidos para el área son Ustortentes y Haplustoles líticos.

En otras publicaciones, el clima de esta zona ha sido clasificado como: Árido de Sierras y Bolsones (Daus *et al.*, 1954), con balance hídrico deficitario y lluvias concentradas en la época estival. El factor orográfico provoca que en las laderas orientales se registren mayores tenores de humedad respecto a las occidentales. La precipitación media anual para la estación Catamarca del Servicio Meteorológico Nacional, ubicada a 52 km de la zona de estudio, es de 350 a 450 mm anuales, según el período considerado. Sin embargo, datos provinciales para las localidades de El Rodeo y Las Juntas dan valores entre 700 y 800 mm aproximadamente, lo cual se explica por la "sombra de lluvia" provocada por la Sierra de Ambato. Esta última información concuerda con el mapa de distribución de lluvias en el NOA publicado por el INTA en su cincuentenario (Acuña y Elena, 2012). Presenta veranos benignos e inviernos rigurosos con frecuente ocurrencia de precipitaciones sólidas, nieve o granizo. Las temperaturas medias anuales para el valle de Catamarca oscilan entre 20,2 y 20,7 °C. La temperatura media anual para la localidad de Las Juntas es aproximadamente de 13°C según datos provinciales. Entre los años 2009 y 2012 la T° máxima anual registrada fue de 37,6°C, y la mínima de -11,6°C.

El predio en estudio se encuentra ubicado dentro de la provincia Fitogeográfica Chaqueña, Distrito Chaco Serrano. La vegetación se dispone en pisos, cada uno de los cuales presenta una estructura y composición particular. Los intervalos altitudinales ocupados por cada piso varían en función de la latitud, longitud y orientación de las laderas. La finca en estudio se ubica aproximadamente a los 1500 m s.n.m., en el límite entre el primer piso, de fisonomía de Bosque, que gradualmente se vuelve arbustivo y va pasando al segundo piso, un pastizal de altura.

La red de drenaje general está rígidamente controlada por la estructura. El suelo bajo estudio se encuentra en una lomada dentro de un valle estructural, flanqueada por 2 vías de escurrimiento transitorias que drenan el faldeo oriental de la sierra de Ambato, uniéndose aguas abajo para confluir con el río Ambato en las cercanías de la localidad de El Rodeo.

Dicha lomada, de acuerdo a la Hoja Geológica correspondiente al área, estaría constituida por conglomerados de la Formación Concepción (Fidalgo, 1966; Blasco *et al.*, 1994), que corresponden al

Primer Nivel de Piedemonte, portadores de rodados de tamaño grava mediana a gruesa compuestos por esquistos, migmatitas y rocas graníticas. A la escasa matriz limosa de igual mineralogía (Blasco et al., 1994), suele agregársele vidrio volcánico de origen eólico (Nullo, 1981). Esta unidad ha sido asignada al Pleistoceno. En la finca bajo estudio no se han encontrado afloramientos de esta formación, que se presume estaría cubierta por al menos 8 m de un depósito eólico, como puede verse en la **Figura 2** , tomada en un corte de la ruta provincial 4 que atraviesa la propiedad.

Este depósito de origen eólico, descrito por Fidalgo (1966) como “Limo parecido a Loess”, cubre parcialmente tanto a la Formación Concepción como a algunas laderas y zonas cumbres del basamento. El espesor general en la región es de 1 a 2 m (Fidalgo, 1966), aunque como ya se ha dicho en la zona estudiada se han registrado espesores de 8 m y más, con ausencia casi total de estratificación. A partir de este sedimento se ha desarrollado el suelo con horizonte endurecido calcáreo que se estudia, tanto por su interés genético como agronómico.



Figura 2: Aspecto masivo del depósito eólico en un corte de la ruta provincial Nº 4 que atraviesa la finca.

Figure 2: Massive aspect of the eolian deposit exposed in a roadcut (provincial route Nr. 4, which crosses the farm).

Depósitos eólicos de características similares han sido descritos tanto en la provincia de Catamarca (Toledo, 2003) como en otras provincias del NOA como Salta (Visich, 2006), Tucumán (Sayago *et al.*, 2003) y también en la provincia de Córdoba (Cantú, 1992; Sanabria y Arguello, 2003), ocupando posiciones parecidas en el paisaje, en forma de manto eólico sobre el basamento cristalino.

Suelos con laminaciones

En el piedemonte que desciende desde la localidad de Pomán, al oeste de la Provincia, se realizó un estudio semidetallado de suelos a escala 1:50.000 en una propiedad de 608 has. con el objetivo de ampliar una plantación de olivos ya existente. El mismo permitió detectar la presencia de algunos suelos con horizontes laminados intercalados entre otros arenosos.

El área en estudio se ubica dentro del bolsón de Pipanaco, cuenca semiendorreica en la que predominan los procesos de sedimentación sobre los erosivos. Este Bolsón está circundado por montañas salvo al sur, y su parte más baja está ocupada por una extensa salina que se extiende en sentido NNE – SSW. La propiedad donde se realizó el estudio se encuentra ubicada en el piedemonte que desciende


desde la ladera occidental de la sierra de Ambato, donde los abanicos aluviales coalescen formando un gran plano aluvial inclinado hacia el oeste **Figura 3** .



Figura 3: Ubicación en el paisaje de los suelos con materiales laminados.

Figure 3: Location in the landscape of soils with laminated materials.

Aquí, los sedimentos son de granulometría intermedia a gruesa (gravillas y arenas) y es frecuente la presencia de sedimentos eólicos, a veces como formaciones medanosas puras (medanos, mantos de arena) o bien mezclados con sedimentos de otros orígenes. La pendiente es suave (0,5 a 1,5 %). En el plano aluvial se puede distinguir: 1) un área proximal o bajada, donde los ríos aún conservan un cauce definido y donde se encuentran los suelos con horizontes laminados; 2) un área distal o campo de derrame donde por falta de pendiente se desdibuja la red de drenaje, formándose áreas ocasionalmente inundables (barriales o bañados). Aquí la pendiente es generalmente inferior al 0,5 %, el relieve es plano, y los sedimentos son arenas finas, limos y arcillas (Sosic, 1973).

Los datos climáticos son escasos, pero se lo caracteriza como subtropical árido con precipitaciones que oscilan entre 150 y 200 mm anuales y fuerte concentración estival (60 al 70%). Las lluvias son torrenciales y localizadas, con alta variabilidad y erraticidad dentro del año y de un año a otro, con desviaciones hasta del 100% en torno a la media histórica.

Los valores de temperatura, con un promedio medio anual de 19 °C, también presentan variación diaria y estacional muy amplia con ocurrencia de heladas durante el otoño, invierno y primavera y vientos todo el año, siendo particularmente desecantes en primavera.

El área en estudio pertenece a las provincias fitogeográficas del Monte y Prepuneña. La provincia del Monte en Catamarca se extiende por valles y bolsones y la de Prepuna por los faldeos montañosos de la región Centro-Oeste. Las barreras climáticas constituidas por los cordones montañosos determinan una muy escasa precipitación en toda el área, la alta heliofanía implica elevadas temperaturas, de modo que existe un gran déficit de humedad durante todo el año.

La fisonomía dominante de la vegetación natural en la zona donde se ubica el campo en estudio es una estepa arbustiva de jarilla; como acompañantes pueden encontrarse retamo, jume, algarrobo,

cachiyuyo, o vegetación psammófila según sea el sustrato. Sobre las vías de escurrimiento suele haber algarrobales en galería.

Desde el faldeo occidental de la sierra de Ambato bajan cursos consecuentes que se insumen en el piedemonte al abandonar el frente montañoso. Se destacan los ríos Pajanco, Siján y Pomán. Este último, forma al salir del frente montañoso varios brazos que se unen en las proximidades del pueblo de Pajonal; luego recibe al río Mutquín y se dirige al sur, hacia los bañados de Villanca y Los Pozuelos. En la zona de bajada, donde se ubica el suelo en estudio, no se registran cursos permanentes, sino vías de escurrimiento que llevan agua solamente en las grandes tormentas; son cauces generalmente paralelos, respondiendo a la morfología de plano inclinado de esta unidad geomorfológica.


El agente modelador principal son los ríos y arroyos permanentes y temporarios que bajan del frente montañoso, acarreando sedimentos fluvio-aluviales en grandes cantidades. Estos cursos de agua actúan de dos maneras: a) erosionando, en la medida que van excavando sus cauces buscando el nivel de base y, b) acumulando sedimentos al ir perdiendo poder de arrastre por la disminución de la pendiente, lo cual produce una selección granulométrica en función del declive y la distancia a sus nacientes.

La altura sobre el nivel del mar en las partes más bajas del Bolsón del Pipanaco es de 700 m s.n.m.

Según el Atlas de Suelos de la República Argentina, (INTA, 1990) el suelo en estudio se ubica dentro de la región natural "Valles y Bolsones Pampeanos". Debido a las altas temperaturas, la evapotranspiración potencial también es alta, con déficit de agua en el suelo durante todo el año. Según la publicación citada, predominan los Cambortides típicos, con una secuencia de horizontes A, B2, C, epipedón ócrico claro y un horizonte cámbico, suelto. Son suelos con buen drenaje, y texturas arenoso franco a franco arenosas.

En fincas ubicadas más al norte, en posiciones geomorfológicas equivalentes, no se han encontrado perfiles de suelos con laminaciones (GTC, 1984; Pernasetti, *com. pers.*).

■ MÉTODOS

Los puntos de ubicación de las calicatas (perfiles 1 a 7) realizadas en los suelos con compactaciones calcáreas se muestran en la **Figura 4** . Se efectuaron tres en el llamado Sector 1, que es una pequeña colina de elevada pendiente (aprox. 16%) y gradiente muy variable, en la margen izquierda de la ruta, y en distintas posiciones, (P1 parte baja; P2 en la parte más alta y P3 en la parte intermedia de la loma). Otras tres en el Sector 2 que es una loma extendida en la margen derecha de la ruta, y la última en el Sector 3, en el valle estructural principal, que limita hacia el este la loma antedicha. Se realizó la descripción morfológica de los suelos según normas convencionales para descripción de campo y se tomaron 23 muestras en total.

En todos los casos, las muestras de suelo fueron remitidas al laboratorio donde se realizaron los siguientes análisis (Black, 1965): pH (mediante el uso de peachímetro en una suspensión de suelo y agua de relación 1:2,5), salinidad total o conductividad eléctrica (CE, con conductímetro en un extracto acuoso de suelo a saturación), cationes sodio y potasio (por fotometría de emisión), niveles de nitrógeno total (micro Kjeldhal), fósforo asimilable (Olsen), contenidos de materia orgánica (Walkley-Black, determinada solo en las 2 capas superficiales), carbonatos totales por volumetría, textura (método universal


de la pipeta), y potasio intercambiable (método acetato de amonio pH 7). Algunos trozos de horizontes laminados se impregnaron en resina sintética a fin de hacer observaciones micromorfológicas.



Figura 4: Ubicación y distribución de los suelos, algunos de ellos con cementaciones calcáreas.

Figure 4: Location of soils, some of them with calcareous cementations.

El horizonte endurecido mostró su expresión máxima en el perfil 6. La descripción original de este perfil fue hecha con fines agronómicos y era poco detallada, por lo que se decidió efectuar una descripción más detallada del horizonte endurecido en una excavación muy cercana al perfil original. Con los datos obtenidos, se pudo completar el perfil tipo conteniendo la calcreta.

Con respecto a los suelos con laminaciones, la ubicación de los perfiles en el predio se realizó en base a las características geomorfológicas de relieve y pendientes observadas en fotos aéreas. Se distinguieron tres áreas: A: plano interfluvial; B: campo de derrames y C: hondonadas y cauces menores **Figura 5** . En total se realizaron 26 calicatas en la propiedad, pero solamente en 14 de ellas se encontraron horizontes laminados, todas ubicadas en el sector C del campo.

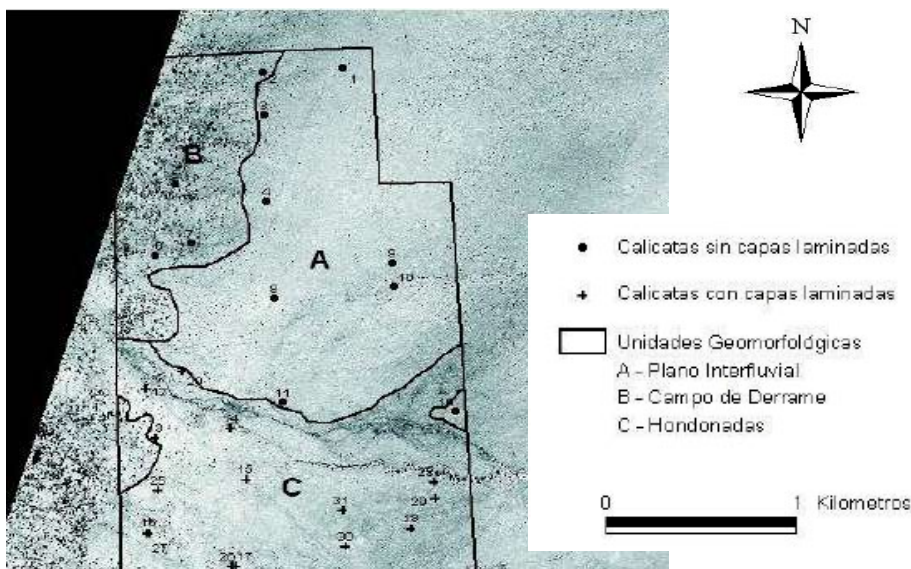


Figura 5: Ubicación y distribución de las calicatas de suelos con (Pedónes 12-13-14-15-16-17-18-20-25-26-27-28-29-30-31) y sin (Pedónes 1- 2- 3-4-5-6-7-8-9-10-11-19) horizontes laminados.

Figure 5: Location of profile pits of soils with laminated horizons (Pedóns 12-13-14-15-16-17-18-20-25-26-27-28-29-30-31) and without them (Pedóns 1- 2- 3-4-5-6-7-8-9-10-11-19).

■ RESULTADOS

Suelos con horizonte petrocálcico

En las descripciones a campo de las calicatas se destacan los colores más oscuros en los horizontes superiores de los suelos, debidos a un mayor contenido en materia orgánica, respecto a los horizontes inferiores, de colores más pálidos, y con mayor contenido de carbonato de calcio. Las texturas son mayoritariamente franco limosas, heredadas del material loessico original, lo cual produce una porosidad fina. Estos suelos son adhesivos y duros en seco. Las estructuras son moderadas, de bloques angulares o subangulares. El carbono orgánico tiene valores mayores al 1% en la mayoría de los casos en el horizonte superficial, disminuyendo abruptamente a partir del segundo horizonte. Los valores de CE obtenidos en todos los perfiles corresponden a suelos no salinos. En la **Tabla 1** se detallan algunas propiedades de los suelos descriptos.

Tabla 1: Algunas propiedades fisicoquímicas de los suelos con concentraciones de carbonatos.

Table 1: Selected physicochemical properties of soils with carbonate concentrations.

Horiz.	Prof. (cm)	Granulometría, USDA (%)			Clase textural	pH (pasta)	Corg. (%)	CaCO ₃ (%)
		arcilla	limo	arena				
Pedón 1. Haplustol éntico (TS). Haplic Kastanozem (Siltic) (WRB) Ubicación: Pie de loma 28° 9'39.40"S 65°53'26.10"O								
A	0-25	14,1	52,9	33,0	FL	7,0	1,74	4,6
C	25-67	11,4	57,0	31,6	FL	7,9	0,68	6,5
Ck1	67-102	9,6	60,8	29,6	FL	8,1	n.d.	6,9
Ck2	102-155	13,1	52,3	34,6	FL	8,3	n.d.	7,2
Pedón 2. Haplustol éntico. Haplic Kastanozem (Siltic). Ubicación: Loma 28° 9'39.50"S 65°53'31.10"O								
A	0-36	18,8	52,9	28,3	FL	7.6	1,36	8,5
Ck1	36-82	13,8	60,1	26,1	FL	8,2	n.d.	9,7
Ck2	82-130	8,5	54,4	37,1	FL	8,3	n.d.	8,6
Pedón 3. Calciustept petrocálcico. Petric Calcisol(Ochric) Ubicación: Media Loma 28° 9'34.70"S 65°53'26.70"O								
A	0-26	16,7	56,4	26,9	FL	7,6	2,14	7,1
C1	26-57	15,6	57,9	26,5	FL	8,2	0,64	9,1
Ckm	57-90	10,2	60,3	29,5	FL	8,3	n.d.	7,5
C2	90-145	9,7	60,1	30,2	FL	8,6	n.d.	6,7
Pedón 4. Ustortent típico. Eutric Regosol (Protocalcic,Siltic) Ubicación: Loma 28° 10'5.30"S 65°53'16.80"O								
A	0-31	17,1	52,7	30,2	FL	8,1	0,81	9,2
Ck	31-93	12,2	60,1	27,7	FL	8,3	n.d	12,1
C	93-150	9,2	62,9	27,9	FL	8,4	n.d.	12,1
Pedón 5. Haplustol éntico. Haplic Kastanozem (Siltic) Ubicación: Media Loma Alta 28° 09'56.20"S 65°53'20.00"O								
A	0-33	9,9	63,0	27,1	FL	7,9	1,15	12,1
Ck	33-73	8,2	67,0	24.8	FL	8,4	n.d	12,2
C	73-150	8,4	70,2	21,4	FL	8,1	n.d.	12,2
Pedón 6. Calciustept petrocálcico. Petric Calcisol(Ochric) Ubicación: Media Loma Baja 28° 09'43.9"S 65°53'20.40"O								
A	0-23	16,2	55,4	28,4	FL	7,9	1,63	10,2
Ckm	23-120	4,3	66,0	29,7	FL	8,1	n.d.	12,2
Pedón 7. Haplustol éntico. Haplic Kastanozem (Siltic) Ubicación: Fondo de Valle 28° 09'46.80"S 65°53'12.70"O								
A	0-22	11,3	58,3	30,4	FL	7,8	2,24	10,1
Ck	22-55	11,4	52,3	36,3	FL	8,2	0,89	12,2
2C1	55-108	8,0	56,4	35,6	FL	8,4	n.d	11,9
2C2	108-150	2,3	41,7	56.0	FAr	8,7	n.d.	9.5

Clase textural: FAR: franco arenosa, FL: franco limosa.

El pH y el contenido en carbonatos presentan diferencias importantes según la ubicación de los perfiles de suelo en el paisaje. En aquellos ubicados en la loma más alta (perfiles 1 a 3) y el valle (7) el pH en las capas inferiores es moderadamente alcalino (7,9 a 8,5), mientras que en el horizonte superior es levemente alcalino (7,4 a 7,8). En cambio, para los perfiles excavados en la loma larga (4, 5 y 6), el pH medido es superior a 8 desde el tope de la calicata. La infiltración del agua se estima lenta, debida a la porosidad fina que provee la textura predominantemente limosa de estos suelos.

En cuanto al contenido en carbonatos, los perfiles 1 a 3 poseen tenores inferiores al 10 %, aunque en el pedón 3 se describe en profundidad un horizonte Ckm por su morfología. En el resto de los perfiles el tenor de carbonato de calcio supera este valor en casi todos los horizontes. Desde el punto de vista del cultivo, más que el contenido total de carbonatos, lo importante es el grado de cementación y la disposición en planchas, que es lo que puede impedir el desarrollo en profundidad de las raíces de los nogales.

De las calicatas realizadas originalmente, la correspondiente al perfil 6 presentaba rasgos morfológicos de fuerte carbonatación y cementación más superficiales **Figura 6** ©, por lo que se realizó una excavación muy cercana a esa posición para describir con más detalle dichas características, por su valor tanto genético como agronómico.



Figura 6: Perfil del Pedón 6.

Figure 6: Profile of Pedón 6.

En esta calicata complementaria, denominada 6 bis, se hicieron algunas determinaciones adicionales. Así, la sección correspondiente al segundo horizonte del perfil 6 (Ckm) quedó subdividido en varios subhorizontes por tener variaciones importantes en profundidad y, sobre todo en el grado de endurecimiento. El perfil completo quedó de la siguiente manera: A (0-30 cm); Ckm1 (30-42 cm); Ckm2 (42-70 cm); Ckm3 (70-98 cm); Ckm4 (98-130 cm) **Figura 7** ©. En esta figura el suelo estaba húmedo, por lo que no se aprecia con tanta claridad como en la **Figura 6** la presencia de carbonatos, donde el suelo estaba seco.



Figura 7: Perfil del Pedón 6 bis.

Figure 7: Profile of Pedón 6 bis.

El color evidenció un aumento de la luminosidad desde la superficie hacia la base, pasando de 7,5YR6/4 (seco) en el horizonte superficial a 7,5YR7/3 (seco) en Ckm1 y Ckm2, y 7,5YR7/4 en los dos horizontes más profundos, Ckm3 y Ckm4. Se observaron recubrimientos de carbonatos tapizando las caras de los agregados del suelo **Figura 8** ☉.



Figura 8: Depósitos de carbonatos pedogenéticos en las caras de los agregados y en la masa del suelo, en forma discontinua.

Figure 8: Deposits of pedogenic carbonates on ped faces and discontinuously disseminated in the soil mass.

Hay abundantes raíces muy finas en el horizonte superficial, pero a partir de los 30 cm el suelo empieza a compactarse, y las raíces son escasas, penetrando entre los bloques, pero no dentro de los mismos. La estructura es de bloques con tendencia a grumosa en la superficie; el límite entre el horizonte A y el Ckm1 es ondulado y abrupto. Este último horizonte aumenta su compactación hacia abajo

presentando un límite gradual y ondulado con el horizonte Ckm2 (42-70 cm), de mayor endurecimiento. Desde esta profundidad y con un límite difuso y ondulado disminuye la compactación levemente hacia abajo, volviendo a aumentar en el último horizonte. En todos los horizontes endurecidos se observan abundantes signos de carbonatación secundaria, ya sea en forma de pseudomicelios, concreciones, revestimientos entre bloques o difusos en la masa del suelo. El horizonte Ckm1 presenta continuidad lateral parcial de la cementación. En los horizontes con alguna cementación calcárea, se observa plasma micrítico impregnando la matriz del suelo en forma heterogénea y discontinua espacialmente.

Los análisis de CO_3Ca efectuados en la excavación complementaria arrojaron los siguientes resultados para los distintos horizontes del perfil: A (12,9 %); Ckm1 (15,4 %); Ckm2 (9,1 %); Ckm3 (7,4 %); Ckm4 (6,9 %).

Suelos con laminaciones

Las características de los suelos encontrados en el predio son las siguientes:

Área del plano interfluvial: (Perfiles 1-3-4-8-9-10-11-19). Estos suelos no poseen laminación. Los suelos son de clase textural arenosa a franco arenosa (Ar-FAr) en casi todos los horizontes y con gravilla. En algunos casos (8-9) hay clases más finas (FL) en profundidad. Quizás estos horizontes más finos no aparezcan en el resto de los perfiles porque no se cavó más abajo. El grado de la estructura es débil o grano suelto, y pH en general mayor a 8,5. La C.E. es menor a 4 dS/m. Hay escasa o nula presencia de carbonatos y el contenido de C.O. está entre 0,03 y 0,43 %. Generalmente las relaciones son $\text{Ca} + \text{Mg} > \text{Na}$, con RAS muy bajo.

Área de derrame: (Perfiles 2-5-6-7.) Estos suelos poseen laminación incipiente o nula. Los suelos poseen horizontes con texturas variables (Ar-ArF-FAr-FL), a veces hay gravilla; estructura masiva débil a moderada y a veces estructura laminar incipiente en superficie, pH entre 7,8 a 9,7, presencia de carbonatos en varios horizontes y C.O. entre 0,07 y 0,60 %. Generalmente las relaciones son $\text{Ca} + \text{Mg} \gg \text{Na}$, con RAS muy bajo.

Área de hondonadas: (Perfiles 12-13-14-15-16-17-18-20-25-26-28-29-30-31). Estos suelos poseen marcada laminación. Los suelos son de texturas gruesas (Ar a ArF), algo gruesas (FAr) y medias (FL) intercaladas. Algunos horizontes tienen estructuras laminares marcadas mayormente por la presencia de capas finas de distintos colores (gris claro, rojizo, etc.), de grado moderado hasta fuerte. Poseen pH entre 7 y 9,7, $\text{CE} \geq 2$ dS/m en alguna capa del suelo y CO entre 0,07 y 1,43 %. Los tenores más altos en CO estarían vinculados a las láminas de CO asociadas a estructuras laminares **Figuras 9** y **10**. En general $\text{Ca} + \text{Mg} > \text{Na}$.



Figura 9: Suelos con material sedimentario fuertemente laminado en el área de “hondonadas”.

Figure 9: Soils with strongly laminated sedimentary material in depressions.



Figura 10: Muestra de mano con estructura laminar.

Figure 10: Hand specimen with platy structure.

En la **Tabla 2** se presentan algunas propiedades de perfiles con laminaciones (13, 15, 25 y 26) y uno sin laminaciones (11) con fines comparativos.

Tabla 2: Propiedades seleccionadas de los suelos con laminaciones.

Table 2: Selected properties of soils with laminations.

Horiz.	Prof. cm	Ar. %	Lim. %	Arci. %	Cl. text.	Estruc.	Consis.	pH	C.E. dS/m	C.O. %
Pedón 11. Torripsamment típico (TS). Eutric Regosol (Arenic, Ochric) (WRB). 28°20'15,7" 66°20'38,4"										
A	0-28	70,0	28,0	2,0	F Ar	Bsa f d	s	9,1	0,83	0,24
2C1	28-46	90,9	7,8	1,3	Ar	Gr.suelt	s	8,9	0,58	0,15
2C2	46-120	83,2	14,8	2,0	Ar F	Bsa f d	s	9,5	0,44	0,13
3C3	120-150	68,6	28,2	3,2	F Ar	Ba m-f d		8,6	1,78	0,29
Pedón 13. Torrifluvent típico, familia arenosa sobre franca, térmica, micácea, somera. Eutric Fluvisol (Densic, Ochric). 28°20'22,8" 66°21'04,3"										
A	0-13	92,6	3,8	3,6	Ar	gr suelto		9,4	1,89	0,19
C1	13-42	94,9	4,2	0,9	Ar	gr suelto		9,7	0,42	0,07
2C2	42-112	33,4	58,3	8,3	F L	Ba g-m m		9,2	0,47	0,39
2C3	112-163	31,8	58,2	10,0	F L	Bsa m-f d	b	8,0	0,44	0,34
Pedón 15. Torrifluvent típico, familia arenosa sobre franca, térmica, micácea. Eutric Fluvisol (Endodensic, Ochric, Protosalic). 28°20'31,5" 66°20'45,9"										
A	0-38	90,7	7,9	1,4	Ar	Bsa f d	b - s	8,7	0,47	0,16
C1	38-65	90,0	8,5	1,5	Ar	L f d	b - s	8,1	3,61	0,11
2C2	65-92	40,8	55,8	3,4	F L	L f-m m-f	ld	7,8	7,34	0,45
3C3	92-110	60,9	26,1	13,0	F Ar	L f-m f	ld a d	7,6	16,81	0,70
4C4	+110	24,5	67,5	8,0	F L	L f d	b	7,8	9,75	0,41
Pedón 25. Torrifluvent típico, familia franca gruesa térmica, micácea, somera. Eutric Fluvisol (Densic, Ochric, Protosalic, Siltic). 28°20'33,7" 66°21'03,8"										
A	0-18	35,6	57,9	6,5	F L	Bsa m-g d	b	8,6	1,17	0,48
C1	18-46	34,4	60,2	5,4	F L	L d	ld	7,8	9,21	0,77
2C2	46-75	52,7	44,8	2,5	F Ar	Ba m-g d	ld	7,9	8,82	0,20
3C3	75-143	32	63,8	4,2	F L	L m	d	8,0	4,61	0,74
Pedón 26. Torrifluvent típico, familia franca gruesa térmica, micácea, somera. Haplic Solonchak (Abruptic, Densic, Ochric). 28°20'49,4" 66°20'48,9"										
A	0-16	91	7,2	1,8	Ar	gr suelto		8,5	18,11	0,19
2C1	16-39	53,9	34,7	11,4	F Ar	L		7,7	2,34	0,92
3C2	39-70	38,5	43,8	17,7	F	L		7,9	19,90	0,79
4C4	70-110	78,8	18,6	2,6	Ar F	gr suelto		8,0	7,65	0,14

Clase textural: Ar: arenosa; FAr: franco arenosa; FL: franco limosa; F: franca. Estructura (tipo, clase y grado): gr suelto: grano suelto; Ba g-m m d: bloques angulares gruesos medios moderados débiles; Bsa m g-f d: bloques subangulares medios grandes finos débiles; L f-m m-f-d: laminar finos medios moderada fuerte débil. Consistencia (seco): b: blanda; s: suelto; ld: ligeramente duro; d: duro.

A continuación, se describen en detalle las zonas morfológicamente heterogéneas en la totalidad o en partes del perfil, con distintos grados de expresión, que se encontraron en los perfiles seleccionados:

Perfil 13: entre los 42 y 112 cm de profundidad (horizonte 2C2), hay una alternancia de capas, que de la más superficial a la más profunda poseen el siguiente espesor y clase textural: 8 cm (F); 7 cm (FAr); 4 cm (F); 5 cm (FAr); 10 cm (F); 8 cm (FAr); 6 cm (F); 8 cm (FAr); 11 cm (F). Cabe destacar que, en las capas con textura franca, el componente más grueso es arena fina, en tanto que en las capas FAr, la arena es gruesa. En el horizonte descrito (2C2), hay CO_3Ca localizado.

Perfil 15: desde los 65 cm hacia abajo (2C2, 3C3, 4C4), hay capas laminares de material fino y colores claros (H:10YR 5/3; S:10YR 7/2) intercaladas entre otras arenosas.

Perfil 25: las capas y estructuras laminares se encuentran bien definidas en todos los horizontes (C1, 2C2, 3C3), excepto el superficial, donde la laminación es incipiente. C1 (18-46 cm) y 3C3 (75-143 cm) son laminares en su mayor parte, rompiendo en bloques y/o láminas y suelto.

Perfil 26: es muy compacto, con láminas continuas entre 16 y 70 cm (2C1y 3C2); en este último horizonte hay capas rojizas intercaladas entre otras de color más claro, arenosas.

En las secciones delgadas se pudo observar que las laminaciones y/o lentes son paralelas y oblicuas entre sí, más o menos continuas, en algunas zonas totalmente discontinuas, de espesor variable, entre 1 y 5 mm. Están distribuidas en distintas zonas del perfil, algunas a escasa profundidad desde la superficie y otras en profundidad, hasta la base de las observaciones, cerca de 2 m. Todas están constituidas por depósitos de tamaño limo / arcilla, en distintas proporciones, dentro de una matriz arenosa fina. Los granos del sedimento poseen orientación entre sí y a veces, apilamiento contra los granos de mayor tamaño, tal como ocurre en sedimentos depositados por agentes torrenciales. Se ven muchos granos de muscovita, de tamaño ya sea arena fina en la matriz y limo en las laminaciones. En aquellas con mayor contenido de arcilla se observa un punteado orientado de esos minerales. No se ven revestimientos de arcilla.

■ DISCUSIÓN

Suelos con horizonte petrocálcico

Las observaciones en el campo señalan la presencia de una capa endurecida cuya máxima expresión se encuentra en el perfil 6, aunque en todos los otros perfiles, a excepción del perfil 2, en las descripciones de campo se menciona la presencia de alguna capa compactada o de consistencia dura. En aquellos perfiles que mostraban endurecimiento en la capa superficial, el mismo fue atribuido al pisoteo de vacunos que pastaban entre los nogales.

Según los análisis de laboratorio, el contenido de carbonatos en los perfiles 1 a 7 es inferior al 15 %, y no se verifica en ningún caso una diferencia mayor al 5 % entre las capas intermedias y las inferiores. En los perfiles 1, 4, 5 y 6 no se observa disminución de dicho contenido en profundidad, aunque

según la clasificación WRB (IUSS Grupo de Trabajo WRB 2015), esto puede ser difícil de establecer, si el horizonte inferior se ubicara en el subsuelo profundo. Sin embargo, en todos los casos encontramos abundante presencia de carbonatos secundarios, ya sea en forma de pseudomicelios, concreciones o diseminado en el perfil del suelo, produciendo abundante espuma al ser atacado con HCl, lo que definiría propiedades protocálcicas.

Las características del horizonte superficial descritas para los Pedónes 1, 2, 5 y 7 cumplirían con las condiciones de un horizonte mólico. Por lo antedicho, y por el alto contenido en limo, los Pedónes antes mencionados son clasificados como Haplic Kastanozem (Siltic), según la clasificación WRB (2015). Aplicando la clasificación Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2014), y dado el régimen ústico bajo el cual se desarrollan, se definen como Haplustoles énticos.

El pedón 3 también tiene un horizonte mólico superficial, pero en profundidad se menciona un horizonte cementado de 15 cm, por lo que podría clasificarse como Petrocalcic Kastanozem (Siltic) y Calciustol petrocálcico según los sistemas de clasificación ya mencionados.

El pedón 4, reúne los requisitos de contenido en materia orgánica en el horizonte superficial para un mólico, pero tiene consistencia muy dura según la descripción de campo, por lo que fue clasificado como Eutric Regosol (Protocalcic, Siltic) y Ustortent típico.

En la calicata del perfil 6, encontramos características que definen la existencia de un horizonte petrocálcico. Los análisis del contenido de carbonatos para los distintos horizontes revelan un enriquecimiento en el Ckm1. Las acumulaciones calcáreas en el perfil 6 bis son heterogéneas en su grado de cementación y parcialmente discontinuas en su distribución en el suelo.

Si bien el contenido de materia orgánica en superficie sería suficiente para un horizonte mólico, el color no reúne las exigencias del mismo. Por todo lo antedicho, y considerando que el régimen de humedad es ústico, el pedón 6 bis se clasifica como Petric Calcisol (Ochric) (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2015), y según Taxonomía de Suelos (2014) sería un Calciustept petrocálcico.

De las observaciones consignadas se puede concluir que la combinación de precipitaciones entre 700 a 800 mm, y la infiltración lenta debida a la textura limosa proveen las condiciones necesarias para la disolución y translocación de los carbonatos contenidos originalmente en el depósito eólico, desde la superficie a los niveles inferiores. La acumulación de estos carbonatos se habría producido por la detención del frente húmedo que arrastra los carbonatos en solución, y/o porque el agua que absorben las raíces los concentra y produce su precipitación (Schaetzl *et al.*, 1996; Schaetzl & Anderson, 2009).

Los registros pluviométricos para la zona indican que las precipitaciones se concentran durante el período más cálido del año, de septiembre a abril, siendo muy escasas o casi nulas durante el resto de los meses. Por tanto, durante la primavera-verano en que hay más precipitaciones y mayor concentración de CO₂ debida a la mayor actividad biológica se produciría la disolución del CO₃Ca, depositándose el mismo durante las épocas secas correspondientes al otoño-invierno.

Jenny & Leonard (1934) sugirieron una relación entre la precipitación media anual y la profundidad de deposición de los carbonatos secundarios expresada por la fórmula: $D = 6,35 (P - 30,5)$, donde D sería la profundidad del techo del horizonte Bk, y P la precipitación media anual, ambas expresadas en centímetros; para nuestro caso, el cálculo daría 282 cm. Esta fórmula no toma en cuenta otros factores locales que pueden ser determinantes en la profundidad del horizonte cálcico, como la pendiente, per-

meabilidad, posición en el paisaje, cobertura vegetal, costras superficiales y la distribución temporal e intensidad de las precipitaciones (Schaetzl & Anderson, 2009). En nuestro caso, la profundidad a la que se encuentra el techo de la capa más endurecida (Ckm2: 42-70 cm) se condice mejor con las relaciones gráficas entre precipitación y profundidad encontradas por Arkley (1963) & Yaalon (1983), que parecen reflejar mejor la realidad.

En las descripciones de campo solamente se mencionan compactaciones importantes para los Pedónes 3 y 6, que presentan fuerte resistencia a la penetración con la pala y mucha dificultad para el enraizamiento. Ambos Pedónes tienen en el paisaje una posición similar, ubicándose hacia la parte baja de la pendiente de una loma. Esto coincide con lo señalado por Yair *et al.* (1978), en cuanto a que los sitios ubicados en la base de pendientes son más húmedos que las cimas, por tener más infiltración y menos escurrimiento superficial. En climas subhúmedos como el caso que nos ocupa, esto favorece el desarrollo y penetración de los frentes húmedos carbonatados. A la vez, los Pedónes 3 y 6 están ubicados sobre laderas orientadas al NE, que suelen ser más secas; posiblemente esta alternancia entre condiciones húmedas y secas favorezca la formación de las calcretas. Condiciones similares parecen repetirse en localidades cercanas al predio en estudio, donde se pudo observar la presencia casi continua de un horizonte calcáreo cementado, en barrancas sobre caminos vecinales **Figura 11** ©.



Figura 11: Horizonte cementado por carbonatos (petrocálcico) debajo de un epipedón mólico, en un corte de camino vecinal.

Figure 11: Carbonate-cemented horizon (petrocalcic) underlying a mollic epiPedón (roadcut in a local road).

Gile *et al.* (1965, 1966), definieron 4 estadios para la acumulación de carbonatos en base a los rasgos morfológicos observados. En el estadio I se observan pocos filamentos o pseudomicelios, que pueden representar viejas trazas de raíces, entre los 15-60 cm de profundidad. En el estadio II se encuentran nódulos blandos y algunos más duros, y la matriz entre los mismos puede ser de colores pálidos. En el estadio III hay numerosos nódulos cementados por carbonatos, con impregnación difusa de la masa y relleno de los poros, dando por resultado un horizonte cementado en partes o totalmente. En el estadio IV se forma calcita casi pura en el techo del horizonte ya cementado. Según Blanco & Amiotti

(2014), las morfologías del carbonato para el estadio I corresponden a horizontes k, no cálcicos, representados en nuestro caso por los Pedónes 1, 2, 4, 5 y 7. El pedón 3, en el que se describe una capa endurecida de 15 cm en el horizonte situado entre 57-90 cm representaría un estadio II avanzado. Los Pedónes 6 y 6 bis, que presentan abundante presencia de nódulos, pseudomicelios, revestimientos y alto grado de cementación, se asimilarían al estadio III.

Suelo con laminaciones

De acuerdo al sistema Taxonomía de suelos (2014), el pedón 11 sería un Torripsamment típico, ya que tiene textura arenosa y areno franca en todos los horizontes de la sección de control (entre 25 y 100 cm de profundidad), sin presencia de fragmentos gruesos, bajo un régimen arídico (tórrico), y no tiene ninguna característica transicional a otro suelo. Los Pedónes 13, 15, 25 y 26 se clasificaron como Torrifluent típicos, por el decrecimiento irregular de la materia orgánica. A nivel de Familia, todos los Pedónes son de clase “térmica”, ya que se estima que la temperatura media anual del suelo se ubica entre 15 y 22°C. Sin embargo, encontramos algunas otras diferencias a este nivel. Para los Pedónes 13 y 15 se indican dos clases por tamaño de partículas porque las dos que hay en el perfil son fuertemente contrastantes. Finalmente, para destacar las capas restrictivas para las raíces en los casos en que había presencia de lamellas a menos de 50 cm de profundidad, se usó el término “somera” (Pedónes 13, 25 y 26).

Para la clasificación por el sistema WRB (2015), el pedón 11 es un Eutric Regosol, ya que es un suelo con poco desarrollo genético; se le ha agregado el calificador Arenic por su textura. Salvo el pedón 26, todos tienen el calificativo Eutric que hace referencia a la alta saturación en bases. Los Pedónes 13, 15 y 25 se clasificaron como Fluvisoles, por la ubicación en una planicie aluvial, donde son influenciados por la escorrentía. Los Pedónes con lamellas tienen el calificador Densic; en el caso del Pedón 15 se usó el término Endodensic porque las lamellas están por debajo de los 50 cm. El Pedón 26 tiene un horizonte sálico, por lo que se clasificó como Haplic Solonchak. Los Pedónes 15 y 25 tienen concentraciones de sales, pero no llegan a las exigencias de un horizonte sálico, por lo que se les aplicó el calificador Protosalic.

En numerosas publicaciones que tratan el tema de las *lamellas* (Dijkerman *et al.*, 1967; Bouabid *et al.*, 1992, etc.) se han propuesto diversos orígenes para la formación de las mismas, por lo que se acepta que las lamellas pueden tener distintas historias genéticas que conducen a una equifinalidad (Rawling, 2000).

Los casos de suelos con presencia de lamellas, mencionados en la bibliografía, se presentan siempre en dunas o suelos arenosos finos o gruesos, como ocurre en este trabajo. En la revisión publicada por Rawling (2000), se agrupan las lamellas en tres categorías según su origen: petrogénicas, pedogénicas y pedo-petrogénicas. Las lamellas petrogénicas son aquellas depositadas originalmente como tales, es decir, como delgadas capas de sedimentos contrastantes en granulometría, color, etc con los sedimentos supra e infrayacentes. Las lamellas pedogenéticas son aquellas en las que pueden observarse revestimientos de arcilla/limo originados por iluviación; generalmente estos revestimientos se presentan recubriendo la parte superior de los granos de arena, o formando puentes entre ellos. En las lamellas pedo-petrogénicas, es posible reconocer rasgos de ambos orígenes.

Según la definición de Taxonomía de suelos (2014), “una lamela es un horizonte iluvial menor de 7.5 cm de espesor formada en regolita no consolidada de más de 50 cm de espesor. Cada lamela contiene una acumulación de arcilla silicatada orientada sobre o uniendo granos de arena y limo (y fragmentos

de roca si están presentes). Se requiere que cada lamela tenga más arcilla silicatada que el horizonte eluvial suprayacente". Además, según Schaetzl & Anderson *et al.* (2009) las lamellas pedogenéticas suelen tener su límite superior abrupto y el inferior difuso, y ocasionalmente sus planos de deposición pueden cortar la estratificación original.

De acuerdo a los criterios expuestos, muchas de las lamelas halladas en los suelos estudiados no serían pedogenéticas, pues tienen un espesor mayor a 7,5 cm. Si tomamos los otros criterios morfológicos ya mencionados, parece reforzarse esta suposición, ya que su límite inferior no es difuso, y en ningún caso cruzan los planos de estratificación del sedimento, como podría ocurrir en el caso de lamellas pedogénicas (Schaetzl & Anderson *et al.*, 2009; Schaetzl, 2001).

Las observaciones micromorfológicas confirman esta interpretación, ya que en los cortes delgados no se han encontrado revestimientos de arcilla, sino más bien un apilamiento de material fino contra los granos de arena, tal como ocurre en sedimentos depositados por agentes torrenciales. La granulometría dependería de la competencia del mismo. Por tanto, interpretamos que las lamellas halladas en estos perfiles de suelos son de origen petrogénico.

En las fotos aéreas se puede observar que la unidad geomorfológica donde abundan los suelos laminados es atravesada por una hondonada medianamente profunda y por varios cauces menores, que son brazos distributarios del río Mutquín. También se observa la presencia de algunos médanos. Estos cauces menores podrían ser los responsables de la deposición esporádica de capas de granulometría más fina que constituyen las lamelas, alternadas con capas arenosas, según la energía de la corriente. Podría ser que intervenga en el mecanismo de deposición de las lamellas el tamizado por diferencia en el tamaño de poro (Bouabid *et al.*, 1992; Schaetzl, 1992) o de partícula de arena (Rawling, 1997); para comprobarlo harían falta estudios más detallados de textura y porosidad. La abundancia de granos de muscovita se estima que provendrían de arrastre sedimentario de partículas en el sentido de la corriente, ya que González Bonorino (1978) menciona la presencia de micacitas, filitas cuarzosas biotítico-muscovíticas y esquistos muscovíticos con metacrístales de hasta ½ cm de muscovita **Figura 12** para la ladera occidental de la sierra de Ambato, desde la cual drenan los cauces mencionados. La abundancia de muscovita permite asignar a los suelos 13, 15, 25 y 26 la familia micácea.



Figura 12: Muestra de mano de saprolita metamórfica con abundancia de láminas de muscovita, de la Sierra de Ambato.

Figure 12: Hand specimen of metamorphic saprolite with abundant muscovite plates. Ambato sierra.

La dirección de la corriente se observa también por la abundancia de material vegetal (ramas, tallos, palos) orientado dejado en superficie después de las avenidas **Figura 13** ©.



Figura 13: Alineación de material vegetal arrastrado por las avenidas y formación superficial de láminas (derecha y abajo).

Figure 13: Alignment of vegetal debris carried by floods and surficial formation of plates (right, below).

Desde el punto de vista sedimentario, Campbell (1967) define los términos: *lámina*, conjunto de láminas (*laminaset*), capa (*bed*) y conjunto de capas (*bedset*) como los elementos que componen, de menor a mayor, un cuerpo sedimentario cualquiera. Estos 4 elementos son genéticamente similares, difiriendo solo en su extensión areal y el intervalo de tiempo en que se formaron. La lámina sería el estrato más pequeño que se puede distinguir megascópicamente. Tomando estos conceptos, los sectores de los perfiles que definimos como *lamellas* estarían constituidos por conjuntos de láminas (*laminaset*) **Figura 14** ©. Si asociamos una lamella con una interlamella, tendríamos 1 capa (*bed*). A su vez, la repetición de esta asociación lamella-interlamella en el perfil constituiría un conjunto de capas (*bedset*).



Figura 14: Detalle de las laminaciones en el suelo y en fragmentos quebrados por la pala.

Figure 14: Detail of laminations in the soil and in fragments broken by the spade.

Según Campbell (1967), cada tipo de capa ha sido formada bajo condiciones físicas constantes de deposición. Durante la formación de una lámina, las condiciones prevalecientes operarán en una pequeña área y durante un instante del tiempo geológico. Esta condición puede ser repetida o alterada rítmicamente para formar un conjunto de láminas (*laminaset*), y la repetición de las condiciones que producen un conjunto de láminas darían lugar a la acumulación de una capa. Repeticiones de estos ciclos producirían conjuntos de capas (*bedset*) **Figura 15**.



Figura 15: Conjunto de capas sedimentarias (*bedset*).

Figure 15: Bedset of sedimentary layers.

El origen de la arcilla que se deposita en láminas formando las lamellas, no necesariamente debería ser aportada por procesos aluviales. Holliday & Rawling (2006) postulan al polvo atmosférico como la principal fuente de origen de arcilla para los suelos con lamellas, desarrollados en dunas de Texas y Nuevo México. En nuestro caso, el campo donde se sitúan los suelos también se ubica en una región con abundancia de vientos que producen gran cantidad de polvo en suspensión. El depósito de este material fino sería el final de una secuencia desde arena fina a arcilla resultante de las fluctuaciones en la velocidad y energía del viento.

■ EFECTOS DE LA COMPACTACIÓN DEL SUELO SOBRE LOS CULTIVOS

La compactación del suelo corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él. La compactación produce un aumento de la densidad aparente y de la resistencia mecánica, destruye y debilita la estructuración. Todo esto hace disminuir la porosidad total y la macroporosidad del suelo.

El aumento de la resistencia mecánica del suelo restringe el crecimiento de las raíces a espacios de menor resistencia, tales como los que se ubican entre los agregados (terrones), en cavidades formadas por la fauna del suelo (lombrices) y en espacios que se producen por la descomposición de restos orgánicos gruesos (raíces muertas). Estas condiciones producen un patrón de crecimiento característico de raíces aplanadas, ubicadas en fisuras del suelo, con una escasa exploración del volumen total del suelo **Figura 16** ©. Las raíces necesitan para poder desarrollarse agua y oxígeno, y además debe existir un espacio poroso adecuado entre las partículas del suelo por el que puedan ir creciendo. Conforme va aumentando la densidad del suelo el crecimiento de las raíces requiere un mayor gasto de energía que afecta el desarrollo, pudiendo verse totalmente impedido si la compactación es excesiva.



Figura 16: Raíz de nogal en dirección horizontal.
Figure 16: Horizontally-oriented walnut tree root.

La disminución de la macroporosidad del suelo produce una baja capacidad de aireación y oxigenación del suelo, que ocasiona una disminución de la actividad de las raíces y, consecuentemente, menor crecimiento de éstas, disminución del volumen de suelo explorado, y menor absorción de agua y nutrientes. Este efecto se agrava cuando se riega en forma excesiva, llegando a producirse la muerte de las raíces por asfixia. Esto debido a que los escasos macroporos que pueden airear el suelo permanecen llenos de agua gran parte del tiempo. En consecuencia, los efectos de la compactación se traducen en escaso desarrollo del sistema radical de las plantas y, por lo tanto, menor desarrollo de la planta en su conjunto, y menor producción.

En condiciones naturales, sin intervención antrópica, se pueden encontrar en el suelo horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron durante la formación y la evolución del suelo. Sin embargo, es bajo condiciones de intensivo uso agrícola que este fenómeno se acelera y llega a producir serios problemas en el desarrollo de las plantas cultivadas (Ibáñez, 2006).

En los casos analizados con compactaciones naturales, tanto con laminaciones, u horizontes petrocálcicos el problema está en la profundidad de las mismas, ya que dependiendo del cultivo que se trate y su extensión radicular, será mayor o menor la influencia en el desarrollo del mismo. En el caso de árboles frutales como el olivo y nogal con raíces de mayor profundidad y de amplio desarrollo se observaron serios problemas de crecimiento, por no llegar al tamaño deseado o por caída de las plantas (caso del olivo), al no poder desarrollar bien el sistema radicular. Para cultivos con menor extensión de raíces, o compactaciones a mayor profundidad, el problema sería menor.

Los casos estudiados en la provincia de Catamarca, corresponden a compactaciones naturales en campos con plantaciones de olivo (caso de las laminaciones) y en una plantación de nogal (presencia de horizontes petrocálcicos). En el caso de los olivos, estos lograron crecer hasta que un viento fuerte derrumbó una gran cantidad de plantas ya adultas, observando que la causa fue el pobre desarrollo radical que tenían debido al impedimento producido por dichas laminaciones

Figura 17 ●



Figura 17: Plantaciones de olivos en las zonas con laminaciones subsuperficiales.

Figure 17: Olive plantations in the areas with subsurface laminations.

La matriz de material y porosidad muy fina de estas láminas, favorece la acumulación de agua, que produce asfixia radicular, y carbonatos de calcio en baja concentración, pero suficientes para provocar una leve compactación que afecta la penetración de las raíces. En el resto del suelo predomina la arena. Estas capas llegan a ser limitantes cuando se encuentran dentro del 1,5 m de profundidad que es donde están la mayor parte de las raíces absorbentes que mediante implementos pueden ser rotas (subsolador). En caso de ser más profundas son difíciles de romper y hay que regular muy bien el riego, realizando extensiones laterales para que las raíces se dirijan en forma horizontal hacia los costados, y practicando podas frecuentes **Figura 18** ©.



Figura 18: Raíces laterales de olivos concentradas en la parte superior de las laminaciones. En superficie se ven cañerías de riego por goteo.

Figure 18: Lateral roots of olive trees concentrated atop the laminations. Drip irrigation pipes shown on the surface.

Respecto a los suelos con horizontes petrocálcicos se considera que es la situación más complicada para el desarrollo de árboles frutales, en especial el nogal. Este frutal es exigente en profundidad y aireación del suelo. Las raíces de los árboles adultos pueden penetrar hasta una profundidad de tres metros y las de nuevas variedades compactas, hasta 1,5 metros (dependiendo del origen de la planta semilla, injerto o variedad). La profundidad de suelo óptima es más de 100 cm. Si el subsuelo es suelto y está constituido por piedras con matriz franco arenosa, la profundidad mínima tolerable es de 40 cm. Si el subsuelo es compacto por tener una tosca, roca o estrato de arcilla compactada, la profundidad debe superar los 120 cm; lo mínimo es 75 cm. (Villasaca, 2007). Si las capas superiores descansan sobre un sustrato de gravas y piedras con matriz moderadamente gruesa, las raíces del nogal pueden penetrar y tomar el agua en profundidad. Esta situación es muy común en las zonas nogaleras de la provincia, donde se cultiva mucho en sectores con microclima en piedemontes, donde abundan las piedras, y este cultivo se da muy bien, con los manejos adecuados.

Pero, en los casos que aparecen estos horizontes fuertemente carbonatados es muy difícil que prospere este cultivo, por todas las razones antes explicadas. El árbol puede perdurar, pero no crecerá lo suficiente; la producción será muy pobre y por ende no será rentable **Figura 19** ©. Las razones que impiden el crecimiento no solamente son de índole física sino también química, ya que el pH sube a más de 8 por la presencia de carbonatos y eso dificulta la solubilidad de nutrientes esenciales, especialmente nitrógeno, fósforo, hierro y zinc, a los que este cultivo es muy sensible. Ante la poca disponibilidad de ellos el nogal lo manifiesta claramente con clorosis, poco crecimiento de brotes y frutos pequeños.



Figura 19: Calcreta a escasa profundidad afectando la plantación de nogales.

Figure 19: Shallow calcrete affecting walnut tree plantation.

■ CONCLUSIONES

- 1) La pluviometría en la sierra de Ambato, la textura limosa de los sedimentos loésicos y la posición de los suelos en el paisaje proveerían las condiciones adecuadas para el desarrollo eventual y localizado de horizontes petrocálcicos.
- 2) Las lamellas halladas en los suelos ubicados en el piedemonte cercano a Pomán serían de origen petrogénico, depositadas como parte de los sedimentos aluviales transportados por cauces menores, con variaciones en su energía de acarreo según su caudal ocasional, y también con aporte eólico de material fino.
- 3) En ambos casos se observó en los suelos aumento en la densidad y en la resistencia mecánica, debilitación de la estructura, y disminución de la porosidad total y macroporosidad del suelo.
- 4) En el caso de los suelos con horizonte petrocálcico a poca profundidad, los nogales tuvieron poco desarrollo y el cultivo fue abandonado por baja rentabilidad. En los suelos con laminaciones, los fuertes vientos frecuentes en la zona voltearon las plantas de olivo debido a su desarrollo radicular deficiente.

■ BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, RL & H Elena. 2012. INTA. Las precipitaciones del noroeste argentino. Período 1934-1990. <http://inta.gob.ar/documentos/las-precipitaciones-del-noroeste-argentino-periodo-1934-1990>.
- Arkley, RJ. 1963. Calculation of carbonate and water movement in soil from climatic data. *Soil Sci.* 96: 239-248

- Black, CA (Ed) .1965. Methods of Soil Analysis. *Series Agronomy Nº 9. Am. Soc. of Agronomy, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA.*
- Blanco, M & N Amioti. 2014. Acumulaciones calcáreas en la cobertura pedológica del sur bonaerense. En: *Suelos con acumulaciones calcáreas y yesíferas en la Argentina. (P. Imbellone ed.). INTA, AACS. 219 p.*
- Blasco, G; R Caminos; O Lapido; A Lizuain; H Martinez; F Nullo; J Panza & L Sacomani.1994. Hoja Geológica 2966-II. San F. del V. de Catamarca, Pcias de Catamarca, Santiago del Estero y Tucumán. *Programa Nac. de Cartas Geol. De la R.A. 1:250.000. Sec. de Minería de la Nación, Bol 212, Buenos Aires*
- Bouabid, R; E Nater & P Barak. 1992. Measurement of pore size distribution in a lamellar Bt horizon using epifluorescence microscopy and image analysis. *Geoderma* 53, 309–328.
- Campbell, ChV. 1967. Lamina, laminaset, bed, bedset. *Sedimentology*, 8: 7-26.
- Cantú, MP. 1992. Provincia de Córdoba. En: *El Holoceno en la Argentina (M. Iriondo ed.). Edición de CADIN-QUA, Volumen I: 1-16.*
- Dauss, F; F Garcia Gache & J Cantos. 1954. Geografía de la República Argentina. *Ed. Estrada, Buenos Aires, 209 pp.*
- Dijkerman, JC; M Cline & G Olson. 1967. Properties and genesis of textural subsoil lamellae. *Soil Science* 104: 7–16.
- Fidalgo, F. 1966. Relevamiento geológico del Pleistoceno en el “Valle” de Catamarca. *Servicio Geológico Nacional, carpeta 663. Inédito.*
- Gile, LH; F Peterson & R Grosman.1965. The k horizon: a master horizon of carbonate accumulation. *Soil Science* 99: 74-82.
- Gile, LH; F Peterson & R Grosman. 1966. Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. *Soil Science* 101: 347-360.
- Gonzalez Bonorino, F. 1978. Descripción Geológica de la Hoja 14f, San F. del V. de Catamarca, Pcias de Catamarca y Tucumán. *Serv. Geol. Nac., Bol. 160, Buenos Aires.*
- GTC. 1984. Grupo de Trabajo Catamarca. Plan Dasocrático. Fracción 2. Campo de Saujil. Informe inédito.
- Hanna, PR & R Zanner, R. 1970. Nonpedogenetic texture bands in outwash sands of Michigan. *Soil Sci. Soc. Am.Proc.* 34: 134-136.
- Holliday, VT & J Rawling. 2006. Soil-geomorphic relations of lamellae in eolian sand on the High Plains of Texas and New Mexico. *Geoderma* 131: 154-180.
- Ibáñez, JJ. 2006. La compactación del suelo: Exploración del suelo por las Raíces II. www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/12/25/55938
- INTA. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Escala 1:500.000 y 1:1.000.000. *CIRN. Instituto de Evaluación de Tierras. Buenos Aires. Tomo I, 731 pp. y Tomo II, 677 pp.*
- IUSS Working Group WRB. 2015. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2014. Actualización 2015. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 106. FAO. Roma. 205 pp.*
- Jenny, H & C Leonard. 1934. Functional relationships between soil properties and rainfall. *Soil Sci.* 38: 363-381.
- Khokhlova, OS; I Kovalevskaya & S Oleynik. 2001. Records of climatic changes in the carbonate profiles of Russian Chernozems. *Catena* 43: 203-215.
- Mc Donald, EV; F Person & G Flerchinger. 1996. Application of a soil water balance model to evaluate the influence of Holocene climate change on calcic soil, Mojave Desert, California, USA. *Geoderma* 74:167-192.
- Netterberg, F. 1969. Ages of calcretes in southern Africa. *S. Afr.Archaeol.Bull.* 24: 88-92.
- Nullo, FE. 1981. Descripción Geológica de la Hoja 15f, Huillapima, Pcia de Catamarca. *Serv. Geol. Nac., Bol. 178.*
- Rawling, JE. 1997. Clay lamellae in Upper Mississippi River Valley, Wisconsin MS *Thesis, University of Wisconsin-Madison, Gology and Geophysics Departament, USA, 84 pp.*
- Rawling, JE. 2000. A review of lamellae. *Geomorphology* 35: 1-9.
- Sanabria, J & G Arguello. 2003. Aspectos geomorfológicos y estratigráficos en la génesis y evolución de la depresión periférica, Córdoba, Argentina. *Actas del II Congreso de Cuaternario y Geomorfología, Tucumán, pp. 177-184.*

- Sayago, J; Zinck, A.; M Collantes & M Toledo. 2003. Evolución ambiental de los valles preandinos y la llanura chaqueña occidental argentina durante el Pleistoceno tardío y el Holoceno. *Actas del II Congreso de Cuaternario y Geomorfología*, Tucumán, pp. 185-200
- Schaetzl, R. 1992. Texture, mineralogy, and lamellae development in sandy soils in Michigan. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1538–1545.
- Schaetzl, R. 2001. Morphologic evidence of lamellae forming directly from thin, clayey bedding planes in a dune. *Geoderma* 99: 51-63.
- Schaetzl, R. & S Anderson. 2009. Soils. Genesis and Geomorphology. *Cambridge University Press, United Kingdom*, 817 pp.
- Schaetzl, R., WE Frederick & I Tornes. 1996. Secondary carbonates in three fine and fine-loamy Alfisols in Michigan. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1862-1870.
- Sosic, MV. 1973. Descripción geológica de la Hoja 14e, Salar de Pipanaco. Pcias. de Catamarca y La Rioja. *Carta Geológico-Económica de la Rep. Argentina. Serv. Nac. Minero Geológico, Subsec. de Minería, Ministerio de Industria y Minería*, 55 pp.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. *Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture*. 12th edition. 360 pp.
- Toledo, MA. 2003. La secuencia de loess y paleosuelos del Valle de Balcosna. *Actas II Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología*. Tucumán, 211-218.
- Villaseca, S. 2007. El nogal, una especie exigente en suelo y clima. *Publicado en la revista Tierra Adentro mayo-junio 2007, INIA, Chile*.
- Visich, M. 2006. Génesis y características sedimentológicas de los depósitos de origen eólico, localizados en el Valle de Lerma y Valle Calchaquí, Pcia. de Salta, Argentina. *Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. CD Rom, Trabajo 301*.
- Yaalon, DH. 1983. Climate, time, and soil development. In L.P. Wilding, N.E. Smeck and G.F. Hall (eds.) *Pedogenesis and Soil Taxonomy*. New York, Elsevier, pp. 233-251.
- Yair, A; D Yaalon & S Singer. 1978, Thickness of calcrete (nari) on chalk in relation to relief factors, Shefela, Israel. *10th Int. Sedimentol. Congr., Jerusalem*. 2:754-755.