

LAMELAS EN HAPLUSTOLES DEL CENTRO OESTE DE CÓRDOBA (ARGENTINA): MORFOLOGÍA Y EFECTO EN LA PERMEABILIDAD

Américo José Degioanni ¹, María Silvana Amín ¹, Miguel Alejandro Becerra ¹, Yanina Chilano ¹, Rosana Marzari ¹, Baltazar Parra ¹, Marcos Darío Bongiovanni ^{1*}

¹ Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina

RESUMEN

El término "lamela" hace referencia a un rasgo morfológico de los suelos que se observa a simple vista en el perfil en forma de capas o bandas horizontales en cantidad, espesor y profundidades variables. Las mismas se encuentran en suelos del centro oeste de la provincia de Córdoba (Argentina). Los objetivos de este trabajo son: 1) registrar la presencia de lamelas en un área de la provincia de Córdoba, 2) caracterizar aspectos morfológicos y 3) evaluar el efecto de su presencia en la permeabilidad. Se comprobó la existencia de lamelas en 195 perfiles en las pedanías Achiras, Río Cuarto y Tegua (Córdoba, Argentina). En 54 perfiles de Haplustoles se registró la cantidad, espesor, forma y profundidad de lamelas. Se tomaron muestras en el perfil de lamela pura y en posiciones sobre y debajo de la misma. Se midió granulometría, materia orgánica y conductividad hidráulica saturada. La cantidad de lamelas por perfil oscila entre una a cuatro, con un espesor promedio de 0,71 cm, mayoritariamente de forma plana y continua y a profundidades entre 18 y 48 cm. En Haplustoles de textura franca y franca arenosa se comprobó un 13% promedio de ganancia en el contenido de arcilla de la lamela, particularmente de la fracción fina del coloide (< 0,001 mm). En contraste, el contenido de materia orgánica se incrementó un 20% promedio en los suelos de textura franca. Se comprobó también que la presencia de lamela en Haplustoles de textura franca arenosa, altera significativamente la permeabilidad del suelo, reduciendo la conductividad hidráulica saturada en la porción del horizonte que contiene la lamela, entre un 30 a un 70%. Este trabajo confirma la presencia de lamelas en Haplustoles del centro oeste de Córdoba y que provocan una disminución de la permeabilidad en suelos de textura franca arenosa.

Palabras Claves: eluviación – iluviación, conductividad hidráulica, franca arenosa, franca.

LAMELLAE IN HAPLUSTOLLS FROM CENTRAL WEST CÓRDOBA (ARGENTINA): MORPHOLOGY AND EFFECT ON PERMEABILITY

ABSTRACT

Lamellae are a morphological feature of soils that can be observed visually, as horizontal layers or bands of varying quantity, thickness and depth in the soil profile. They are found frequently in soils from the central-west region of the province of Córdoba (Argentina). The objectives of this study are: 1) to identify the presence of lamellae in an area of the province of Córdoba, 2) to characterize their morphological aspects, and 3) to evaluate their effect on soil permeability. The existence of lamellae was confirmed in 195 profiles in the districts of Achiras, Río Cuarto, and Tegua (Córdoba, Argentina). In 54 profiles of Haplustolls, the quantity, thickness, shape, and depth of lamellae were registered. Samples were taken both from the pure lamella profile and from positions above and below it. Particle size distribution, organic matter, and saturated hydraulic conductivity were measured. The number of lamellae per profile ranges from one to four, and they are found at depths between 18 and 48 cm. They are mostly flat and continuous, and have an average thickness of 0.71 cm. In Haplustolls with loamy and sandy loam textures, an average 13% increase in lame-

* Autor de contacto:
mbongiovanni@ayv.unrc.edu.ar

Recibido:
05-12-23

Recibido con revisiones:
25-02-24

Aceptado:
26-02-24

lae clay content was observed, particularly in the fine colloid fraction (<0.001 mm). In contrast, an average 20% increase in organic matter content was observed in loamy soils. Saturated hydraulic conductivity was significantly reduced (30%-70%) where lamellae were present, altering soil permeability in sandy loam Haplustolls. This study confirms the presence of lamellae in Haplustolls in the central-west region of Córdoba and their effect on decreasing permeability in sandy loam soils.

Keyword: eluviation - illuviation, hydraulic conductivity, sandy loam, loam.

INTRODUCCIÓN

En la morfología de suelos, el término "lamela" hace referencia a un rasgo morfológico que se observa en el perfil como bandas o finas capas horizontales y subhorizontales, de espesor y profundidades variables. También reciben el nombre de bandas de arcilla, laminillas de arcilla iluvial o bandas múltiples amarillo-rojizas, entre otras denominaciones (Gile & Grossman, 1979; Rawling, 2000; Van Reeuwijk & de Villiers, 1985). Según Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2014) la lamela conforma un horizonte iluvial de menos de 7,5 cm de espesor y contiene más arcilla silicatada que el horizonte eluvial suprayacente. Poseen un ligero incremento de arcilla y silicatos de hierro y contienen microláminas de arcilla iluvial que recubren y unen granos de arena (Rawling, 2000).

En relación con la génesis de las lamelas no hay un acuerdo generalizado. Se reconocen diferentes orígenes: a) sedimentario: formadas durante el depósito de materiales parentales, b) pedogenético: formadas por iluviación de arcilla, c) origen mixto: formadas por iluviación de arcilla y controlada por procesos sedimentarios del material de origen (Bockheim & Hartemink, 2013; Falconer et al., 2006; Gichón y Pernasetti, 2018; Gray et al., 1976; Rawling, 2000). Obear et al. (2017) sugieren que estas estructuras pueden tener origen antropogénico y formarse en períodos menores a 10 años. Gus-Stolarczyk et al. (2023) concluyeron que, en suelos de origen loésico, las lamelas se forman por translocación de arcilla en ausencia de carbonato de calcio. Con el tiempo, estas estructuras son modificadas por procesos redox, bioturbación y expansión - contracción.

Las clases texturales de las lamelas pueden ser areno-franca, areno-franca fina, franco arenosa, franca o franca limosa con un mayor contenido de arcilla en relación con la posición suprayacente y subyacente de la lamela en el orden del 5% (Bockheim & Hartemink, 2013) hasta el 25% (Gus-Stolarczyk et al., 2023). Este cambio en el contenido de arcilla modifica la porosidad generando discontinuidad en el tamaño de poros en la parte superior de las mismas y, por tanto, producen una reducción de la conductividad hidráulica, disminuyendo la permeabilidad del suelo (Bouabid et al., 1992; Obear et al., 2017; Tomer et al., 1996). En consecuencia, la lamela además de influir con respecto al flujo del agua en el suelo también afecta el flujo de nutrientes, especialmente en suelos de textura gruesa (Bockheim, 2014).

Estos rasgos morfológicos han sido más frecuentemente estudiados en suelos con predominancia de materiales sedimentarios y de granulometría arenosa (Bockheim & Hartemink, 2013; Etchevehere, 1976; Gichón y Pernasetti, 2018; Schaetzel, 2001; Torrent et al., 1980). Por consiguiente, la distribución geográfica de las mismas está vinculada a paisajes geomorfológicos de dinámica eólica (Gus-Stolarczyk et al., 2023; Hanson et al., 2010; Holliday & Rawling, 2006; Kilibarda et al., 2008). Sin embargo, Bockheim and Hartemink (2013) en una revisión sobre la presencia de lamelas en USA encontraron que las mismas están presentes en una superficie de 3,6 millones de ha en suelos con mineralogía mixta en un 73%, con régimen de temperatura frígido o críico en un 59%, con régimen de humedad údico y ústico en un 89% y con una clase textural arenosa o arenoso-esquelética en un 59%.

En el Departamento Río Cuarto, provincia de Córdoba, los suelos bien drenados más frecuentes son Haplustoles de origen loésico, representando el 50,6% del total de pedones de dicho departamento (Jarsún et al., 2006). Tanto en la cartografía oficial de Córdoba a escala 1:500.000 (Jarsún et al., 2006), como en el levantamiento cartográfico: Zonificación y descripción de las tierras del Departamento Río Cuarto (Córdoba). Escala 1:250.000 (Cantero et al., 1999) no se indica presencia de lamelas. Sin embargo, diferentes relevamientos de campo han reportado la presencia de bandas de color más oscuro que el horizonte que las contiene en los perfiles observados. En tal sentido, se plantea como primera hipótesis que estos rasgos morfológicos hallados en la región son "lamelas" porque se han enriquecido de arcilla silicatada. Como segunda hipótesis, se plantea que dichas estructuras morfológicas alteran en flujo vertical del agua disminuyendo la permeabilidad del suelo. En consecuencia, los objetivos de este trabajo son 1) registrar

la presencia de lamelas en un área de la provincia de Córdoba 2) caracterizar aspectos morfológicos y 3) evaluar el efecto de su presencia en la permeabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio comprende tres pedanías del Departamento Río Cuarto (Córdoba, Argentina): Tegua, Achiras y Río Cuarto con una superficie de 7.285 km². Durante la confección de la Carta de Suelos - Hoja Río Cuarto 3363-19 (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Córdoba, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos de Córdoba - MAyG - INTA - MAAySP, 2019) se identificaron 141 perfiles (sin clasificar) con presencia de lamelas (Figura 1). A los efectos de completar la observación en el área de estudio, se diseñó una cuadrícula con unidades de 36 km² para completar sectores que no habían sido visitados, realizando una observación por cuadrícula.

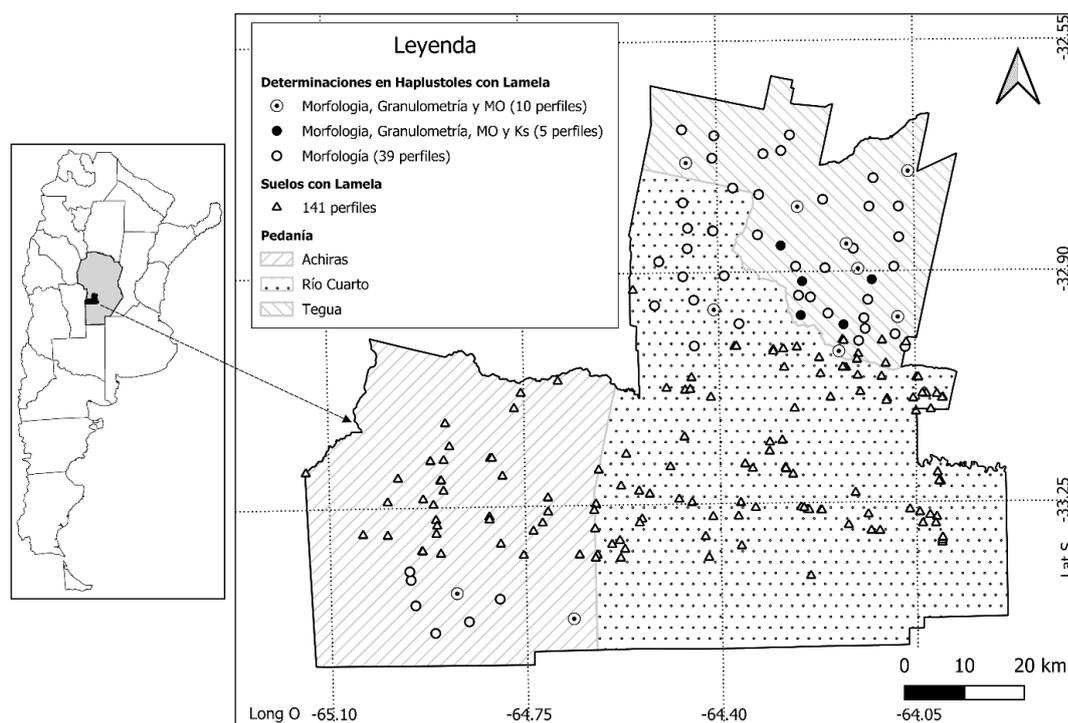


Figura 1: Mapa del área de estudio y localización de perfiles con lamelas y sitios de las determinaciones.

Figure 1: Map of the study area and the location of profiles with lamellae and sampling sites.

De esta observación se describieron 60 perfiles, 54 de los cuales son Haplustoles. En cada perfil, se realizaron descripciones de paisaje (uso del suelo, cobertura superficial, relieve, pendiente, erosión) y morfología del perfil (horizontes, profundidad, estructura y textura al tacto) según Normas de Reconocimiento de Suelos (Etchevehere, 1976). A su vez, se registró la presencia de lamelas, cantidad, profundidad (tomando como referencia la superficie del perfil), espesor y forma (plana u ondulada; continua o discontinua). En 15 perfiles de los descritos, con presencia de una sola lamela, se tomaron muestras de lamela pura (L) mediante cortes delgados de la misma y muestras de la porción superior (SL) e inferior (BL) asegurando que estas muestras representen el horizonte genético (A, Bw) (Figura 2). En este conjunto de muestras se determinó granulometría realizando un pre-tratamiento de muestra según Gee and Bauder (1986) para luego medir el tamaño de 0 a 2 mm (arcilla, limo y arena) y la proporción de partículas por difracción láser, con un medidor con láser FRITTSCH (Modelo ANALYSETTE 22 Economy) y materia orgánica (MO) con el método Walkley and Black (Nelson y Sommer, 1982).

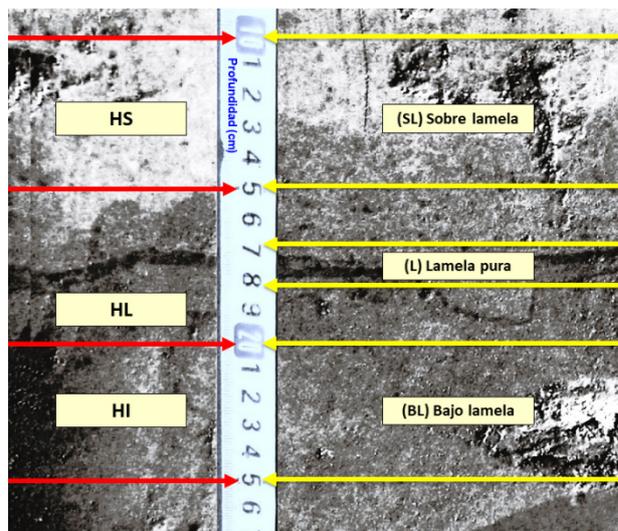


Figura 2: Posiciones de muestreo en el perfil en un Haplustol con lamela.

Figure 2: Sampling positions in the profile in a Haplustoll with lamellae.

En cinco Haplustoles típicos, con la misma clase textural (franca arenosa) en los horizontes principales (A y Bw) y con presencia de una sola lamela, se tomaron 276 muestras sin disturbar con cilindros de 100 cm³ distribuidas de la siguiente manera: un tercio en el horizonte A, superior a la lamela (HS), otro tercio en el horizonte AB que contiene la lamela (HL) y el último tercio en el horizonte Bw inferior a la lamela (HI) (Figura 2). A cada muestra se determinó la conductividad hidráulica saturada (Ks) mediante el método de carga constante (Klute y Dirksen, 1986). Las determinaciones de Ks se realizaron con un equipo de medición de doce muestras en simultáneo (Casacchia et al., 2020) para tiempos de medición de una hora con dos repeticiones para cada tanda de muestras. Los cilindros utilizados son de 5,3 cm de altura y 18,52 cm² de sección. La carga constante con que se realizaron las medidas fue de 3,4 cm y para percolar se utilizó una solución de cloruro de calcio (CaCl₂) 0,1 N.

Se realizaron análisis de la varianza a fin de observar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las propiedades edáficas evaluadas. En caso de existir diferencias significativas, se efectuaron test de comparación mediante la prueba Tukey con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Se utilizó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Morfología

Los 54 perfiles descriptos pertenecen al Gran Grupo Haplustol. El relieve, en todos los suelos es tipo Normal. Para el 25% de los suelos, la clase por pendiente corresponde al tipo 1, con gradientes de pendientes entre 0,5 al 1% y el resto de los suelos al tipo 2, con gradientes entre el 1 y 3%. El drenaje natural en todos los suelos es Clase 4: Bien Drenado y en el 90% de las observaciones se han identificados signos de erosión ligeros a moderados tanto hídrica como eólica. El uso predominante es agrícola con cultivos anuales.

Las características morfológicas modales observadas presentan los siguientes rasgos: el horizonte Ap posee un espesor promedio de 9 cm con un cambio abrupto con el horizonte A que se extiende hasta los 19,5 cm promedio, con límite claro y suave. Los horizontes subsuperficiales que se identificaron son de tipo transicional AC y AB o directamente Bw. La textura al tacto es franca arenosa o franca. El subtipo de estructura en todos los horizontes son bloques subangulares cuya clase y grado es más fino y débil en superficie. En algunos perfiles, se observó tendencia a la formación de bloques aplanados en el horizonte A posiblemente por efecto de compactación por labranza.

Las lamelas se observan en el perfil en primer lugar, como bandas de orientación horizontal o subhorizontal con un marcado contraste de color con el resto de los horizontes (Figura 3). Por ejemplo, para una coorde-

nada de color del horizonte A: 10YR 3/3, la lamela siempre registra al menos un valor de croma menos, es decir 10YR 3/2. En segundo lugar, se observan por la disposición en el perfil: cantidad de lamelas, profundidad (medida desde la superficie del pedón) y el espesor individual de cada una. En la Tabla 1 se presentan la síntesis de las características de las lamelas halladas.

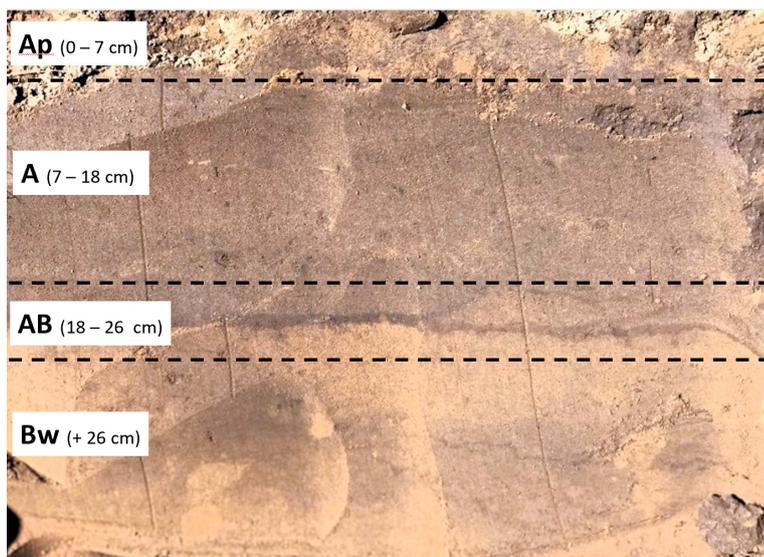
Tabla 1: Cantidad de lamelas por perfil, profundidad (cm) y espesor (mm) promedio

Table 1: Lamellae number per profile, average depth, and standard deviation (cm).

Número de lamela por perfil	Número Perfiles	Profundidad y Espesor promedio (cm)			
		1º Lamela	2º Lamela	3º Lamela	4º Lamela
1	28	23,5 – 0,9	-	-	-
2	18	18,1 – 0,75	33,1 – 0,5	-	-
3	6	19,5 – 0,68	22,8 – 0,5	26,7 – 0,41	-
4	2	26 – 0,4	31,5 – 0,35	38 – 0,4	48 – 0,5

Más de la mitad de los perfiles observados poseen una sola lamela mientras que el resto contienen de dos a cuatro hasta los 50 cm de profundidad. Esta característica contrasta con lo reportado por Bockheim and Hartemink (2013), quienes indican la presencia de una a 16 lamelas hasta los 160 cm de profundidad, y por Holliday and Rawling (2006) con presencia de una a 30 lamelas hasta el metro de profundidad en suelos de origen eólico. El espesor promedio de las lamelas es 0,71 cm ($\pm 0,6$ cm), similar al reportado Holliday and Rawling (2006) que fue 0,6 cm, aunque es aproximadamente la mitad del reportado por Bockheim and Hartemink (2013) que fue 1,42 cm para suelos de texturas arenosas. En los perfiles con una sola lamela, esta se encuentra por debajo del límite inferior del horizonte A (19,7 cm) tal como reportan Holliday and Rawling (2006) y en el “techo” de antiguos pisos de arado (Baillie, 2001). Por lo general, se localizan en un horizonte transicional AB o AC según corresponda al subgrupo Haplustol típico o éntico respectivamente. Por último, otro aspecto a destacar es la forma de la banda. En su mayoría son planas y en algunas situaciones onduladas. Tienden a ser láminas continuas, aunque a veces se discontinúan por interrupciones o bifurcaciones (Figura 3 A), especialmente en lamelas más finas tal como reportan Holliday and Rawling (2006).

Desde el punto de vista taxonómico, la cantidad y espesor de las lamelas es significativo de cara a la redesignación de horizontes. La condición mínima requerida a tal efecto es la presencia de más de una lamela, con un espesor individual mayor o igual a 0,5 cm y que la suma combinada de todas las lamelas presentes debe ser 15 cm o más (Baillie, 2001). Esta condición, se cumple parcialmente para más de la mitad de los suelos observados (con más de una lamela y espesor mayor o igual a 0,5 cm) pero no cumple con la suma del espesor combinado. En tal sentido, se descarta la influencia de las lamelas en la redesignación de los horizontes descriptos en campaña.



(A) corresponde a la imagen de arriba
(B) corresponde a la imagen de abajo

Figura 3: (A) Perfil de un Haplustol típico con lamela, plana, continua y con bifurcaciones. (B) Detalle del horizonte AB que contiene la lamela principal.

Figure 3: (A) Profile of a Typic Haplustoll with flat, continuous lamellae with bifurcations. (B) Detail of AB horizon containing the main lamella.

Granulometría

La distribución por tamaño de partículas medidas en las posiciones sobre y bajo lamela y agrupadas por clase textural resultante se presentan en la Tabla 2. La textura resultante es Franca en seis perfiles y Franca arenosa en nueve perfiles. Si bien la presencia de lamelas es más frecuente en suelos de texturas arenosa o arenoso-esquelética, también se encuentran en suelos con estas clases texturales (Bockheim & Hartemink, 2013).

Tabla 2: Granulometría promedio y desviación estándar según clase textural

Table 2: Average particle size distribution and standard deviation according to textural class.

% Arcilla (0 – 0,002 mm)	% Limo (0,002 – 0,05 mm)	% Arena (0,05 – 2 mm)	Clase Textural
11,4 (1,6)	28,2 (4,8)	60,4 (5,9)	Franca arenosa
15,5 (2,2)	36,2 (4,9)	48,3 (6,9)	Franca

A los efectos de verificar cambios en la proporción de arcilla en la lamela pura (L) en relación con el contenido de arcilla sobre y bajo lamela (SL y BL). se procedió a comparar los valores medios tanto para el contenido total de arcilla (0 – 0,002 mm) como para las fracciones fina (< 0,001 mm) y gruesa (0,001 – 0,002 mm) (Tabla 3).

Tabla 3: Contenido de arcilla total, arcilla fina y arcilla gruesa en lamela pura (L) y en las posiciones sobre (SL) y bajo lamela (BL) para texturas franca y franca arenosa.

Table 3: Total, fine and coarse clay content in pure lamellae (L) and in positions above (SL) and below lamellae (BL) for loamy and sandy loam textures.

Textura		Posición en el perfil		
		SL	L	BL
Franca	Arcilla total (< 0,002 mm)	14,6 a	17,2 b	14,7 a
	Arcilla fina (< 0,001 mm) %	10,2 a	11,9 b	9,8 a
	Arcilla gruesa (0,001 - 0,002 mm)	4,5 a	5,4 a	4,9 a
Franca arenosa	Arcilla total (< 0,002 mm)	10,7 a	12,5 b	11,0 a
	Arcilla fina (< 0,001 mm) %	7,6 a	8,7 b	7,4 a
	Arcilla gruesa (0,001 - 0,002 mm)	3,2 a	3,7 a	3,6 a

Valores con una letra común en la misma línea no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El ANAVA comprobó que existe, con significancia estadística, una mayor proporción de arcilla total en la lamela pura con respecto a las posiciones superior e inferior a la misma. Cuando se analizan los contenidos en forma relativa se observa que L en la clase textural franca posee un 14,3% más de arcilla que SL y un 13,2% más que BL para la textura franca. En la clase textural franca arenosa la lamela L posee un 13,2% y 11,6% más en relación con SL y BL respectivamente. En promedio, la lamela ha ganado un 13,07% de arcilla en relación con las posiciones SL y BL. Sin embargo, cuando se analizan los incrementos de arcilla por fracción, la ganancia promedio de arcilla fina en L en ambas texturas es de 14,5%, mientras que para la fracción gruesa de arcilla, en la textura franca no se evidencian diferencias significativas mientras que en la textura franca arenosa hay una ganancia del 14,8% en relación a SL.

Estos resultados confirman, que hay un aumento promedio del 13% en el contenido de arcilla total y un 14,5% de arcilla fina en la lamela. Dicho valor se ubica en el rango de incremento entre el 5% y 25% informados por Bockheim and Hartemink (2013) y Gus-Stolarczyk et al. (2023) respectivamente.

Materia Orgánica

En el mismo sentido que con el coloide mineral y a los efectos de verificar cambios en el contenido de MO de la lamela pura (L) en relación con las posiciones sobre y debajo de ésta, se procedió a comparar los valores medios medidos. El contenido de MO (g kg^{-1}) para las tres posiciones de muestreo (SL, L y BL) se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Contenido de materia orgánica (g kg^{-1}) en las posiciones en el perfil sobre lamela (SL), lamela (L) y bajo lamela (BL) según clase textural.

Table 4: Organic matter content (g kg^{-1}) above lamellae (SL), lamellae (L) and under lamellae (BL) in the soil profile, according to textural class.

Textura	Posición en perfil	Promedio (g kg^{-1})
Franca	SL	12,50 a
	L	14,49 b
	BL	10,71 a
Franca arenosa	SL	10,28 ab
	L	11,21 b
	BL	8,87 a

Valores con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El ANAVA comprueba que existe un enriquecimiento de MO en L para los Haplustoles de textura franca, con un incremento relativo del 14,5% y 26,3% en relación con las posiciones de SL y BL respectivamente. Este resultado confirma que hay translocación y ganancia de coloide orgánico en la lamela tal como reportan Coen (1966) y Firmino et al. (2022). Sin embargo, para los suelos de textura franca arenosa, los resultados son dispares entre posiciones del perfil por lo que no se puede confirmar ganancias significativas de MO.

Se hipotetiza que estos procesos de translocación de coloide mineral y orgánico podrían estar vinculado a cambios en la relación de bases del complejo coloidal. Datos de esta investigación (no publicados) arrojan, para la posición del perfil sobre lamela (SL), una saturación promedio del coloide (S) del 58,3% con una saturación con calcio menor al 40% ($\pm 13\%$). Este indicio de desaturación del coloide podría ser la causa de la dispersión y la movilidad vertical de arcilla y MO.

Conductividad hidráulica saturada

La conductividad hidráulica saturada medida en cada horizonte superior e inferior a la posición de la lamela (HS, HI – Figura 2) arrojan valores medios de K_s de 2,97 y 2,12 cm h^{-1} para HS y HI respectivamente. Este rango de valores para la granulometría de la clase textural franca arenosa (11,4 % de arcilla y 60,4% de arena) se encuentran dentro del valor teórico esperado de 2,19 cm h^{-1} según Saxton et al. (1986). Sin embargo, cuando se comparan estos valores de K_s con las muestras de horizontes que contiene la lamela (HL) se evidencia una considerable reducción de la conductividad hidráulica. De los cinco perfiles de Haplustoles evaluados, en todas las mediciones la K_s es menor en el horizonte que contiene la lamela (HL) con respecto a las muestras del horizonte suprayacente (HS) y en cuatro perfiles es menor en relación con el horizonte subyacente (HI) (Figura 4).

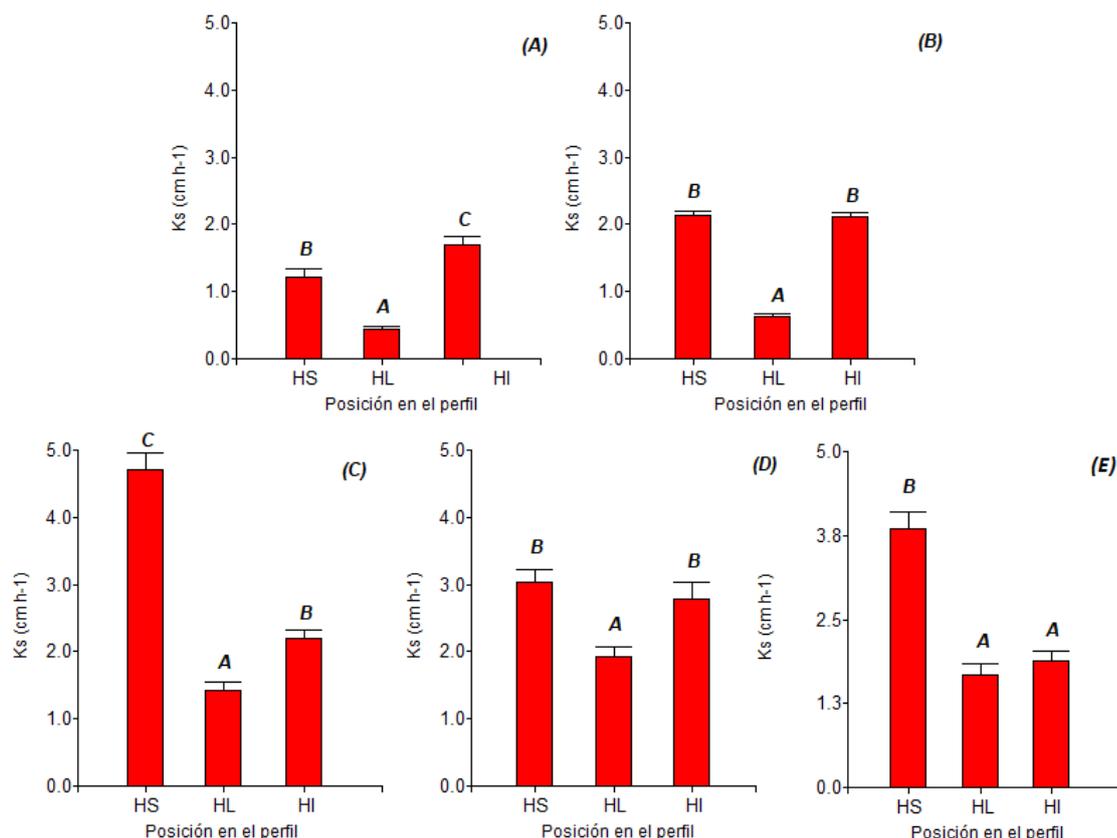


Figura 4: Conductividad hidráulica saturada (K_s) promedio para cinco Haplustoles (A, B, C, D y E) en tres posiciones en el perfil: horizonte superior a la lamela (HS), horizonte que contiene la lamela (HL) y horizonte inferior a la lamela (HI). Letra común en los valores medios no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figure 4: Average saturated hydraulic conductivity (K_s) for five Haplustols (A, B, C, D, and E) at three positions in the profile: horizon above the lamella (HS), horizon containing the lamella (HL), and horizon below the lamella (HI). Same letters indicate that mean values are not significantly different ($p > 0.05$).

Las K_s promedio de los horizontes con lamela (HL) son: 0,44; 0,63; 1,43 y 1,94 cm h^{-1} para el Haplustol A, B, C y D respectivamente. Por otra parte, para los horizontes de posición inferior (HI) son: 1,70; 2,11; 2,19 y 2,78 cm h^{-1} lo que implica reducciones en la permeabilidad de entre un 30% al 70%. Valores en este orden de reducción han sido reportados por López et al. (2018) y Firmino et al. (2022). Estos resultados, confirman que la existencia de una lamela en Haplustoles de textura franca arenosa, reduce el flujo vertical de agua tal como indica Bockheim (2014) y por tanto la permeabilidad del perfil. La reducción de la K_s puede ser explicada por la discontinuidad en el tamaño de poros. Bouadbid et al. (1992) mediante la observación de cortes de suelo con microscopio de epifluorescencia, observaron poros más finos en la base de la lamela y más gruesos en la parte superior del horizonte subyacente, originando modificaciones en las propiedades hidráulicas del suelo.

CONCLUSIONES

Se concluye, en primer lugar, que los rasgos morfológicos observados en Haplustoles de textura franca y franca arenosa del centro oeste de Córdoba son lamelas debido a que poseen un enriquecimiento de arcilla total promedio del 13%, particularmente de arcilla fina. También se comprobó enriquecimiento de MO, lo que explica el oscurecimiento de estos rasgos morfológicos. En segundo lugar, se confirma que la presencia de lamelas en Haplustoles de textura franca arenosa, disminuye la permeabilidad del suelo por reducción entre un 30 a 70% de la conductividad hidráulica saturada en el horizonte que las contiene.

Estudios micromorfológicos, mineralógicos y de funcionamiento del sistema coloidal serán necesarios para precisar la génesis de estos rasgos y si este proceso puede intensificarse en adelante.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la provincia de Córdoba. PID_2018 - Relación entre la presencia de lamelas y el funcionamiento hídrico en Haplustoles del sur de Córdoba (Res. 144/2018) y por la Secretaría de Ciencia y Técnica UNRC. Proyecto: Funciones ecosistémicas de depuración y regulación en Molisoles del sur de Córdoba (Res. 083/2020).

REFERENCIAS

- Baillie, I. C. (2001). Soil survey staff 1999, Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, agricultural handbook 436, Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington DC, USA, pp. 869.
- Bockheim, J. G. (2014). *Soil geography of the USA*. Springer, Dordrecht. 320 p.
- Bockheim, J. G. & Hartemink, A. E. (2013). Classification and distribution of soils with lamellae in the USA. *Geoderma*, 206, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.014>
- Bouabid, R., Nater, E. A. & Barak, P. (1992). Measurement of pore size distribution in a lamellar Bt horizon using epifluorescence microscopy and image analysis. *Geoderma*, 53(3-4), 309-328. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(92\)90061-B](https://doi.org/10.1016/0016-7061(92)90061-B)
- Cantero, A., Gil, G., Becerra, V. H., Cisneros, J. M., y Bricchi, E. M. (1999). Un índice de aptitud relativa de las tierras con fines catastrales. Aplicación al Departamento Río Cuarto (Córdoba, Argentina). *Investigación agraria. Producción y protección vegetales*, 14(1), 259-272.
- Casacchia, M., Bonansea, F. y Degioanni, A. (2020). Equipo multimuestra para medir conductividad hidráulica saturada. En *Actas XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo* (pp. 1-6). ISBN 978-987-46870-3-6.
- Coen, G. M., Pawluk, S. & Odynsky, W. (1966). The origin of bands in sandy soils of the stony plain area. *Canadian Journal of Soil Science*, 46(3), 245-254. <https://doi.org/10.4141/cjss66-039>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2020). InfoStat Ver. 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com>
- Etchevehere, P. H. (1976). Normas de reconocimiento de suelos. Segunda edición actualizada. INTA, Dpto. de Suelos. Public, 152.
- Firmino, F. H. T., de Lima Camêlo, D., do Nascimento, A. F., de Souza Lima, J. R., Junior, V. S., de Almeida, B. G. & Corrêa, M. M. (2022). Genesis of lamellae in sandy soils: A case study in a semi-arid region in NE-Brazil. *Geoderma*, 406, 115447. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115447>
- Falconer, D. M., Craw, D., Youngson, J. H. & Faure, K. (2006). Gold and sulphide minerals in Tertiary quartz pebble conglomerate gold placers, Southland, New Zealand. *Ore Geology Reviews*, 28(4), 525-545. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.03.009>
- Ge, G. W. & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 383-411.
- Gile, L. H. & Grossman, R. B. (1979). *The desert project soil monograph*. US Government Printing Office.
- Gray, F., Meksopon, B. & Peschel, D. (1976). Study of some physical and chemical properties of an Oklahoma soil profile with clay-iron bands. *Soil Science*, 122(3), 133-138.
- Guichón, B. A. y Pernasetti, O. (2018). Dos casos de suelos con horizontes compactados en la provincia de Catamarca. Capítulo 4. En *Compactaciones Naturales y Antrópicas en Suelos Argentinos*. Editoras: Perla Imbellone y Carina Álvarez. AACs.
- Gus-Stolarczyk, M., Drewnik, M., Michno, A. & Szymański, W. (2023). The origin and transformation of soil lamellae in calcareous and non-calcareous loess soils in the Central European loess belt—A case study from southern Poland. *Catena*, 232, 107399. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107399>
- Hanson, P. R., Arbogast, A. F., Johnson, W. C., Joeckel, R. M. & Young, A. R. (2010). Megadroughts and late Holocene dune activation at the eastern margin of the Great Plains, north-central Kansas, USA. *Aeolian Research*, 1(3-4), 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2009.10.002>
- Holliday, V. T. & Rawling III, J. E. (2006). Soil-geomorphic relations of lamellae in eolian sand on the High Plains of Texas and New Mexico. *Geoderma*, 131(1-2), 154-180. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.03.019>
- Jarsún, B., Gorgas, J. A., Zamora, E. M., Bosnero, H. A., Lovera, E. F., Ravelo, A. C., y Ledesma, M. (2006). Los Suelos: nivel de reconocimiento, escala 1: 500.000: recursos naturales de la Provincia de Córdoba. Agencia de Córdoba D.A.C. y T.S.E.M. Dirección de Ambiente, INTA Manfredi, Córdoba. ISBN 987-20198-3-5
- Kilibarda, Z., Argyilan, E. & Blockland, J. (2008). Wind deposition of mud aggregates and their role in development of lamellae in the Fair Oaks Dunes, Indiana. *Catena*, 72(2), 235-247. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.05.006>
- Klute, A. & Dirksen, C. (1986). Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. *Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods*, 5, 687-734. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c28>
- López, J., Degioanni, A. & Becerra, M.A. (2018). Permeabilidad en horizontes con lamelas. En *Actas. XXVI Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo*. Tucumán. Libro digital, PDF. ISBN 978-987-46870-0-5
- MAYG - INTA - MAAySP. (2019). Cartas de Suelos de la República Argentina HOJA 3363-19 Río Cuarto. Plan Mapa de Suelos de la Provincia

de Córdoba. (<https://suelos.cba.gov.ar/RIOCUARTO/index.html>)

Nelson, D. A. & Sommers, L. (1983). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 539-579. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>

Natural Resources Conservation Service & US Agriculture Department (Eds.). (2010). *Keys to soil taxonomy*. Government Printing Office.

Obear, G. R., Pedersen, M. & Kreuser, W. C. (2017). Genesis of clay lamellae in golf course soils of Mississippi, USA. *Catena*, 150, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.10.019>

Rawling, J. E. (2000). A review of lamellae. *Geomorphology*, 35(1-2), 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00015-5)

Saxton, K. E., Rawls, W., Romberger, J. S. & Papendick, R. I. (1986). Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil science society of America Journal*, 50(4), 1031-1036. URL <http://www.dynsystem.com/netstorm/soilwater.html?74,254>

Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy*. United States Department of Agriculture: Washington, DC, USA.

Schaetzl, R. J. (2001). Morphologic evidence of lamellae forming directly from thin, clayey bedding planes in a dune. *Geoderma*, 99(1-2), 51-63. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00063-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00063-X)

Tomer, M. D., Boll, J., Kung, K. J., Steenhuis, T. & Anderson, J. L. (1996). Detecting illuvial lamellae in fine sand using ground-penetrating radar1. *Soil science*, 161(2), 121-129.

Torrent, J., Nettleton, W. D., & Borst, G. (1980). Clay illuviation and lamella formation in a Psammentic Haploxeralf in southern California. *Soil Science Society of America Journal*, 44(2), 363-369.

Van Reeuwijk, L. P. & de Villiers, J. M. (1985). The origin of textural lamellae in Quaternary coast sands of Natal. *South African Journal of Plant and Soil*, 2(1), 38-43. <https://doi.org/10.1080/02571862.1985.10634137>