

EVOLUCIÓN DEL SUELO EN SEDIMENTOS EÓLICOS DE DEPOSITACIÓN RECIENTE EN EL SEMIÁRIDO. EFECTO DE ESPESORES VARIABLES

Micaela Gisel Berger ^{1*}, Laura Antonela Iturri ¹, Daniel Eduardo Buschiazzo ¹

¹ Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP, CONICET-UNLPam), Santa Rosa, Argentina.

² Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa. FA-UNLPam, Santa Rosa, Argentina.

RESUMEN

Existen evidencias de que el Caldenal (bosque de caldén (*Prosopis caldenia*)) de la Región Semiárida Pampeana funciona como sumidero de sedimentos eólicos. Éstos se acumulan sobre una capa de ceniza volcánica depositada en 1932, lo que permite analizar el grado de evolución del suelo en un período de 90 años. Por ello, se evaluaron propiedades físicas, químicas y morfológicas, de barlovento a sotavento, del horizonte superficial (Ah) del suelo de un bosque de caldén, que evoluciona a partir de dichos sedimentos. Los resultados indicaron que la evolución del suelo fue incipiente, aunque con una tendencia a mejor desarrollo hacia barlovento que a sotavento.

Palabras clave: pedogénesis; carbono orgánico; semiárido; erosión eólica

SOIL EVOLUTION IN RECENTLY DEPOSITED AEOLIAN SEDIMENTS IN A SEMIARID REGION. EFFECT OF VARIABLE THICKNESSES

ABSTRACT

Evidence exists that the Caldenal (caldén (*Prosopis caldenia*) forest) of the Semiarid Pampas Region functions as a sink of aeolian sediments. These sediments accumulate on a layer of volcanic ash deposited in 1932, which allows to analyze the degree of soil evolution in a 90-year period. Therefore, some physical, chemical and morphological properties of the superficial soil horizon (Ah) of a caldén forest, which evolves from those sediments, were evaluated from windward to leeward. The results indicated that the evolution of the soil was incipient, although soil development tended to be better towards windward than at leeward.

Keywords: pedogenesis; organic carbon; semiarid region; wind erosion

INTRODUCCION

Los suelos de la Región Semiárida Pampeana (RSP) evolucionan sobre loess (Zárate, 2003). El viento re transporta preferentemente sedimentos de tamaño limo desde los suelos que erosiona (Iturri et al., 2017). Estos sedimentos se estarían acumulando en parte en los suelos forestales de la RSP (del Caldenal pampeano), dando como resultado un engrosamiento del horizonte superficial de estos suelos, designado como Ah (Soil Survey Staff, 1999). El espesor de dicho horizonte se puede medir fácilmente en la actualidad, debido a que yace sobre una capa de ceniza volcánica, de entre 10 a 30 cm de espesor, acumulada en 1932 durante la erupción del volcán Quizapú, en la Cordillera de los Andes (Smithsonian Institution, 2012). Dicha capa representa un indicador cronológico y espacial preciso para cuantificar la tasa de depositación de sedimentos eólicos, y evaluar el grado de evolución del horizonte a partir de dichos materiales, en un ambiente semiárido.

Existen estudios acerca de la depositación de materiales eólicos en áreas con cobertura arbórea y/o de

* Autor de contacto:
mgberger@conicet.gov.ar

Recibido:
18-01-23

Recibido con revisiones:
03-05-23

Aceptado:
03-05-23

pastizales. Buschiazzi et al. (2007) mostraron que suelos bajo siembra directa de la RSP acumularon 500 kg/ha de sedimentos eólicos en pocos meses. También son conocidos los efectos de la depositación de sedimentos eólicos sobre los suelos. Iturri et al. (2016) mostraron que en un período de 9 años los suelos del Caldenal pampeano incrementaron sus contenidos de limo y C orgánico en los primeros 20 cm del perfil. Menos frecuentes son los estudios acerca de la depositación de sedimentos de potencias variables en función de la distancia (de barlovento a sotavento) en la formación del suelo. Uni & Katra (2017) midieron en una transecta dentro de un bosque de pino de Alepo (*Pinus halepensis*) el material sedimentado proveniente de un área desértica en el Norte de Negev (Israel) y encontraron que una cantidad significativa de sedimentos eólicos fue capturada por el follaje del bosque y depositada posteriormente en el suelo. Esto disminuyó la carga de sedimentos del aire en los márgenes del bosque, principalmente en entornos ubicados a sotavento, y, por lo tanto, su tasa de depositación.

Es aún desconocido el efecto que la depositación reciente (últimos 90 años) de sedimentos eólicos tiene en la formación del suelo. Por un lado, la acumulación de arcilla, limo y C orgánico incrementarían la capacidad de retención de agua, por otro, mejorarían el grado de estructura. La comparación de los stocks de C en el Ah respecto del horizonte enterrado por debajo de la ceniza volcánica (Ab), posibilitaría conocer si la tasa de sedimentación reciente (1932-actualidad) fue similar a la pasada (antes de 1932).

El objetivo de este trabajo es conocer el grado de evolución del horizonte Ah de un suelo de un bosque de caldén, formado por la depositación reciente de sedimentos eólicos de potencias variables, a partir de las variaciones en sus propiedades físicas, químicas y morfológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y muestreo de suelo

El sitio de estudio presenta precipitaciones medias anuales de 640 mm y una temperatura media anual de 15,8 °C. La velocidad media del viento es 8,2 km/h con máximas de hasta 60 km/h. El material parental de los suelos es material loésico del Holoceno y Pleistoceno con influencia de materiales piroclásticos (con más del 90% de vidrio volcánico). En la actualidad, el aporte de estos materiales se presenta como una capa de entre 10 a 30 cm de espesor, de límite abrupto y claro. Esta capa es identificable al presente en los suelos forestales naturales de la RSP (Caldenal).

El estudio fue realizado en un bosque de caldén escasamente disturbado, ubicado en un establecimiento de producción agrícola de la localidad de Eduardo Castex, La Pampa, Argentina (35° 48' 30,57" S; 64° 20' 08,35" O). El sitio fue elegido por el buen estado de preservación de la capa de ceniza volcánica (Figura 1 a) y, además, por su relieve plano, con pendiente de clase 1, que va desde 0 a 1 % (Etchevehere, 1976) y su cobertura homogénea (estrato arbóreo dominado por *Prosopis caldenia*, y un estrato herbáceo dominado por *Stipa tenuis Phil.*, *Stipa speciosa* y *Panicum sp.*). Se realizó una ilustración fotográfica del lugar de estudio con un Dron DJI Phantom 4 equipado con una cámara y georreferenciador de la imagen (Figura 1 b). Se estimó visualmente la cobertura del suelo, la cual al ser abundante y uniforme, permitió explicar la variabilidad de la materia orgánica sólo en términos de la textura, eliminando el efecto significativo que variaciones en la temperatura edáfica asociadas con una escasa y heterogénea cobertura podrían aportar.

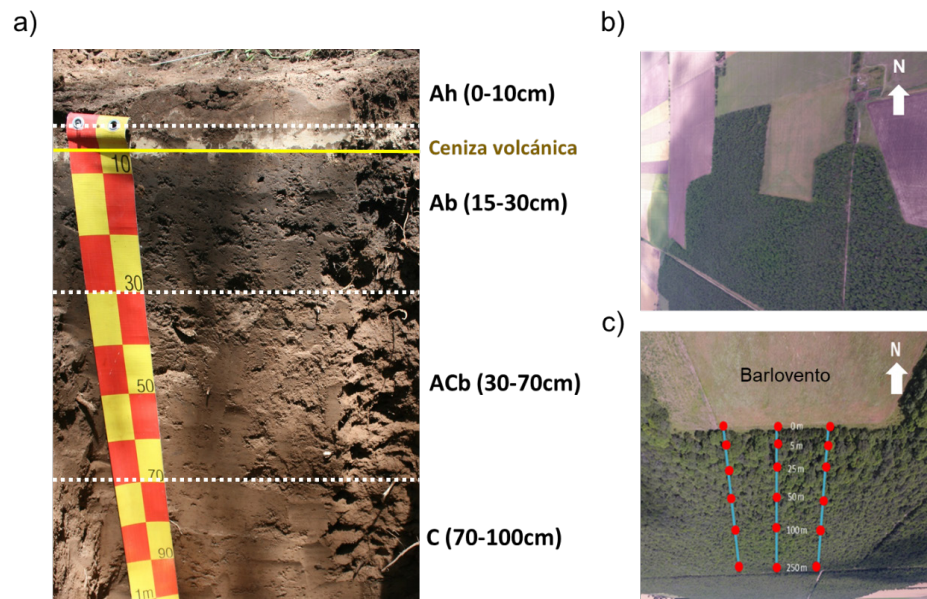


Figura 1. a) Perfil de suelo estudiado, b) fotografía de la densa y homogénea cobertura vegetal y c) representación esquemática del muestreo.

Figure 1. a) Studied soil profile, b) photograph of the dense and homogeneous vegetation cover and c) schematic representation of sampling.

Según los mapas de suelo vigentes, el suelo del caldenal clasifica como Haplustol éntico, no obstante la presencia de la capa de ceniza demandaría su reclasificación. El suelo del bosque de caldén fue elegido debido a la susceptibilidad a la erosión eólica de los suelos agrícolas colindantes, también Haplustoles énticos, con altos contenidos de limo (entre 50 % a 60 %) y bajos de materia orgánica (2,2 %).

El muestreo constó de 3 transectas de 250 m, separadas 50 m entre sí y orientadas N-S (Figura 1 c), la dirección de los vientos predominantes y más erosivos (Panebianco et al., 2010). Dentro de cada transecta se tomaron 6 muestras de suelo, con cilindro de acero cuya superficie es de 30 cm², hasta la capa de ceniza volcánica, desde barlovento (0 m) y luego a distancias de 5, 25, 50, 100 y 250 m hacia sotavento.

Además, en cada uno de los 18 puntos y siguiendo la misma metodología que la descrita para el Ah, se tomaron muestras del horizonte Ab con el objetivo de comparar las tasas de sedimentación de C orgánico ocurridas en los últimos 90 años.

Determinaciones de propiedades morfológicas, físicas y químicas

A campo, se realizó la descripción de un perfil modal de suelo del bosque de caldén considerando su representatividad en cuanto a la distancia al borde del bosque y al grado de cobertura, mediante los parámetros de Taxonomía de Suelos (Etchevehere, 1976; Soil Survey Staff, 1999). Para ello, se realizó una calicata a 30 m al sur del borde N del bosque de caldén. Además, se realizaron muestreos de control (con barreno) en cada punto de las tres transectas y por triplicado. Se midió el espesor del Ah y se observaron y registraron sus rasgos morfológicos predominantes, tales como color, tipo, clase y grado de estructura (Etchevehere, 1976).

En el laboratorio, las muestras colectadas se secaron y pesaron para luego calcular su densidad aparente. El método utilizado fue el método del cilindro.

Luego, sobre las muestras secas y tamizadas a través de malla de 2 mm se analizó: 1) la composición granulométrica mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos, las partículas se clasificaron de acuerdo a la clasificación de USDA como arena (partículas con un diámetro de 50 a 2000 μm), limo (2 a 50 μm) y arcilla (menor a 2 μm); y 2) C orgánico por digestión húmeda (Norma IRAM-SAGPyA 29571-3:2011).

Sobre muestras sin disturbar tomadas siguiendo el diseño experimental detallado anteriormente, se analizó la distribución de agregados a través del método de tamiz rotativo y se calculó la fracción erosionable (FE) (Chepil, 1962).

Análisis matemáticos y estadísticos

La tasa de depositación de materiales eólicos se calculó a partir del espesor del Ah en cada punto y los años desde la sedimentación de la ceniza volcánica (desde 1932). Los stocks de C orgánico se calcularon a partir de sus concentraciones en cada punto de muestreo, considerando su densidad aparente y espesor. Las concentraciones de arcilla, limo y C orgánico del Ah se compararon con los del Ab para estimar si la sedimentación reciente fue similar a la pasada, considerando que el horizonte enterrado habría alcanzado el equilibrio con el ambiente.

La concentración de las fracciones texturales y los stocks de C orgánico entre puntos de las transectas se comparó por ANOVA simple ($\alpha=0,05$), con el objetivo de identificar el efecto de su espesor, en las propiedades morfoquímicas del Ah (Infostat/Professional version 1.1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El horizonte Ah presentó una acumulación de material orgánico medianamente descompuesto, mezclado con las partículas minerales del suelo. Se observó un recubrimiento oscuro de las partículas minerales con materia orgánica. Este horizonte fue continuo, de límite abrupto y suave, de 10 cm de espesor (Figura 1 a). Se clasificó como Ah, dada la abundancia de materiales orgánicos, con 3,5 % de materia orgánica (MO). Su color clasificó como 7,5 YR 4/2 en seco (marrón) y 7,5 YR 2,5/2 en húmedo (marrón muy oscuro). Tanto el contenido de MO como el color se determinaron a partir de una muestra colectada de los diferentes horizontes del perfil del suelo de Caldén. El horizonte Ah presentó agregados esferoidales, de tamaño 5 (6,4 mm,) y de grado de resistencia moderado a débil.

El perfil del suelo del bosque de caldén estudiado presentó una capa de ceniza volcánica sin signos de disturbio ni transformación, con límites de tipo abrupto y suave, y un espesor de 5 cm (Figura 1 a). Por debajo de esta capa se observó un pedón de suelo antecesor a la depositación de la ceniza volcánica, formado por la secuencia de horizontes Ab, ACb, C (Figura 1 a). El horizonte denominado Ab, por clasificar como un horizonte superficial enterrado (de acuerdo a la Taxonomía de Suelos) de 20 cm de espesor, presentó un límite de tipo gradual y forma suave (Figura 1 a). Este horizonte presentó una estructura en bloques subangulares, clase media, de grado moderado a fuerte y algunos agregados pocos definidos y escasamente observables. El horizonte entre los 30 cm a 70 cm de profundidad se denominó ACb, de transición. A partir de los 70 cm, el horizonte se designó como C. Tanto el ACb como el C, se caracterizaron como de grano suelto. El espesor del horizonte Ah en general disminuyó a medida que aumentó la distancia desde barlovento (Figura 2 a). El mayor espesor (23,5 cm) del Ah se presentó a los 5 m. Esto se debe, posiblemente, a la disminución de la energía de transporte del viento al incidir en el dosel, lo que habría causado una mayor depositación de sedimentos eólicos a barlovento que a sotavento. Una excepción ocurrió a 0 m (Figura 2 a), el límite entre el suelo agrícola colindante y el del bosque. Es posible que un efecto combinado de la escasa cobertura del suelo agrícola, sumado a su labranza frecuente, hayan determinado disminuciones del espesor de su horizonte Ah.

La tasa media de depositación para todos los puntos fue de 0,20 cm/año. A 5 m la tasa de depositación fue la más alta (0,26 cm/año). Valores similares fueron encontrados por Tarabini et al. (2019) en un estudio realizado en suelos con diversas coberturas vegetales, en Esquel, Argentina.

La concentración de arcilla en el Ah tendió a disminuir hacia sotavento (Figura 2 b). Los puntos 0 y 5 m presentaron los más altos contenidos de esta fracción (15 % en promedio). Esto, podría explicarse por la depositación de microagregados de tamaño limo en los primeros metros del bosque, más difícilmente transportables por el viento que las partículas minerales finas y/o las orgánicas de baja densidad, desagregadas (Iturri et al., 2017). La concentración de limo fue uniforme en todos los puntos (48 % en promedio) (Figura 2 c). Esto indica que el limo habría sido depositado en toda la extensión del bosque. Esto sería resultado del transporte diferencial de sedimentos por el viento. La concentración de arena varió de manera inversa a la de arcilla (Figura 2 d).

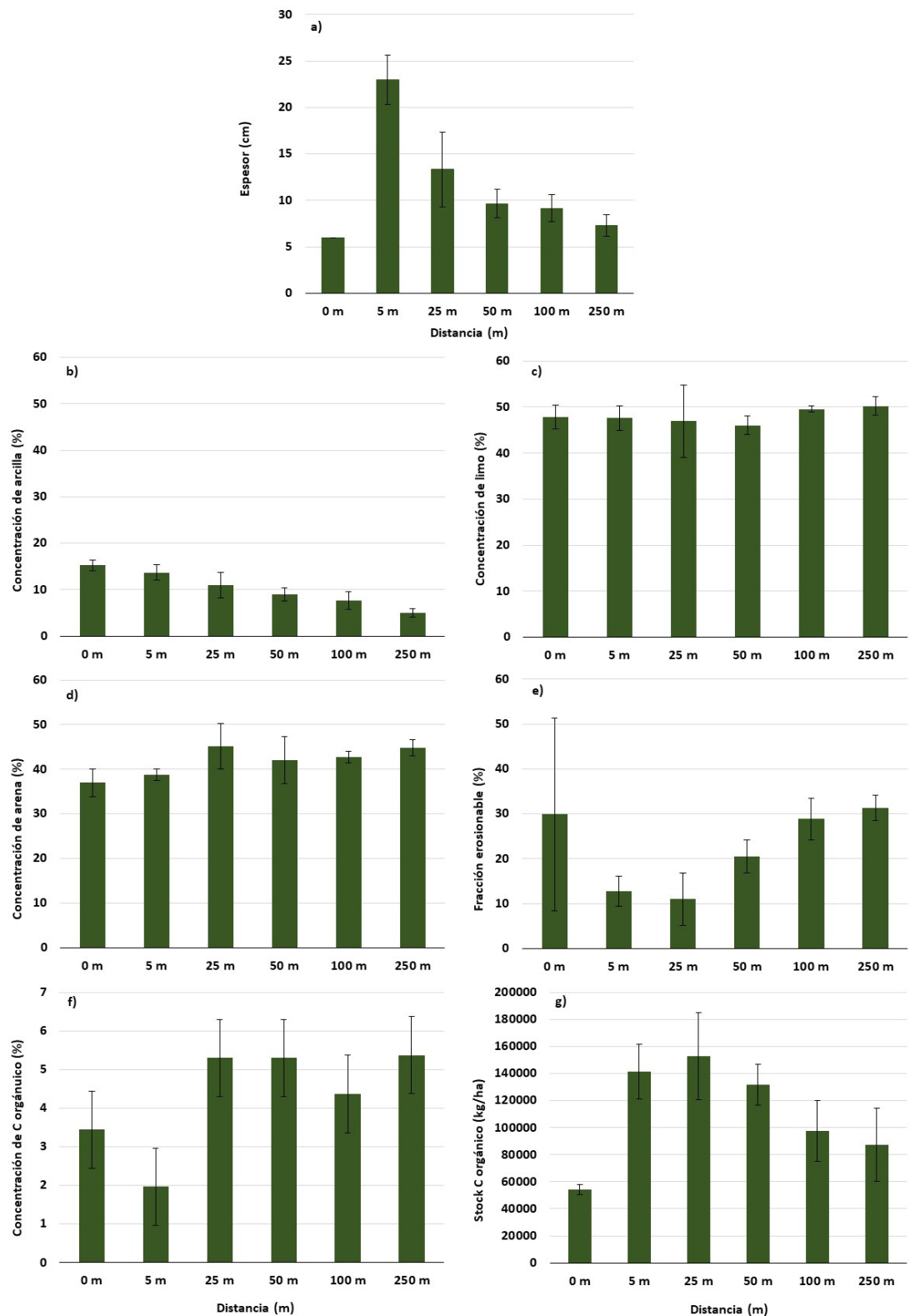


Figura 2. a) Espesor del horizonte superficial (Ah) del bosque de caldén; concentraciones de b) arcilla, c) limo y d) arena; e) fracción erosionable, f) concentración de carbono (C) orgánico y g) stock de C orgánico del Ah en función de la distancia. Los resultados son promedio de tres repeticiones. Las barras de error representan el desvío estándar.

Figure 2. a) Thickness of the superficial horizon (Ah) of the caldén forest; concentrations of b) clay, c) silt and d) sand; e) erodible fraction, f) organic carbon (C) concentration and g) organic C stock in Ah as a function of distance. Results are the mean of three replicates. Error bars represent the standard deviation.

La FE a 5 y 25 m (12 % en promedio) presentó valores más bajos que de 50 a 250 m (27 % en promedio) (Figura 2 e). Esto indica una mejor agregación a barlovento que a sotavento. La mayor acumulación de arcilla a barlovento, determinaría una mayor capacidad de retención de agua. Esto, resultaría en una mejor agregación (Aimar et al., 2012), la cual explicaría la menor FE encontrada respecto de los puntos a sotavento. Una excepción fue el punto a 0 m (FE de 30 %), similar a todos los puntos por su desvío estándar (Figura 2 e). Esto podría estar dado por una acumulación de materiales finos, como arcilla y limo, transportados por el viento incluso a baja alturas desde el suelo agrícola colindante (Iturri et al., 2016). La elevada proporción de arcilla a 0 m (Figura 2 b) podría ser un indicador de su aporte en agregados gruesos, transportados por el viento a baja altura desde distancias cercanas (Iturri et al., 2017).

La concentración de C orgánico fue similar en todos los puntos de la transecta (4,8% en promedio) excepto en 5 m, donde el contenido fue más bajo (2,0 %) (Figura 2 f). Este resultado estaría explicado por el mayor espesor (Figura 2 a) y la mejor agregación (Figura 2 e) del Ah en este punto respecto de los demás puntos de la transecta. El stock de C orgánico fue más alto a barlovento ($1,4 \times 10^5$ kg/ha en promedio para 5, 25 y 50 m) que a sotavento ($9,2 \times 10^4$ kg/ha, en promedio para 100 y 250 m) (Figura 2 g). Probablemente, la mayor acumulación de C orgánico a barlovento resulta de la mayor acumulación de sedimentos eólicos en los primeros metros del bosque, además del aportado por la biomasa, el cual se asume constante en toda su extensión.

Los cocientes entre las concentraciones de arcilla y de limo en el Ah respecto del Ab fueron cercanos a 1,0 y similares en todos los puntos a barlovento. La similar composición granulométrica de ambos horizontes haría suponer que la génesis del Ah responde a la acumulación de similares materiales a los acumulados en el pasado en el pedón enterrado por la capa de ceniza volcánica. En tal sentido, Etchichury y Tófaló (2004), han demostrado que los suelos de la Pampa semiárida tienen una composición mineralógica cualitativa, aunque no cuantitativamente, homogénea. Es posible que la acumulación reciente en el Ah de sedimentos eólicos de similar granulometría a los del Ab, se deba al re-transporte selectivo del viento de dichos materiales desde suelos relativamente cercanos. Los cocientes de arcilla inferiores a 1,0 a sotavento, coinciden con la menor acumulación de arcilla en este mismo sentido. La mayor sedimentación de arcilla a barlovento estaría dada por la sedimentación preferencial de, posiblemente microagregados de tamaño limo, como se describió anteriormente. Esto no se observaría en el Ab porque, posiblemente, su génesis antecedió a la abundante cobertura arbórea reciente. Más estudios son necesarios para interpretar las condiciones de sedimentación de los materiales parentales, tales como la adición de un análisis sedimentológico mediante la escala de Wentworth (1922), a fin de caracterizar el ambiente de sedimentación.

El cociente entre la concentración de C orgánico en el Ah respecto del Ab muestra en general valores mayores a 1,0 en todos los puntos de la transecta. La mayor concentración de C orgánico del Ah respecto del Ab estaría dada por el aporte reciente de C orgánico de los sedimentos eólicos y de la biomasa del bosque, siendo este último de mayor proporción. También, es posible que haya tenido lugar la oxidación de la materia orgánica originalmente acumulada en el Ab. Esto habría determinado la baja concentración de C orgánico del Ab en el presente. Más estudios deben realizarse para elucidar los cambios de la composición de la materia orgánica que pudieran haber tenido lugar en el Ab, como el análisis del tiempo de residencia media.

CONCLUSIÓN

Este estudio analizó cómo la acumulación de distinta magnitud de sedimentos eólicos en un suelo de bosque de caldén de la Pampa semiárida en función de la distancia (de barlovento a sotavento), puede afectar el grado de evolución del suelo en el corto plazo (aproximadamente 90 años).

La tasa media de sedimentación de materiales eólicos fue de 0,2 cm/año, con valores máximo de 0,3 cm/año a barlovento y mínimos de 0,1 cm/año a sotavento. Las altas tasas de sedimentación hacia barlovento se darían por una combinación del transporte por el viento a baja altura y corta distancia, y el de gran altura y larga distancia, mientras que, las tasas menores a sotavento podrían deberse al transporte mencionado en último lugar.

La acumulación de sedimentos eólicos produjo espesores variables del horizonte Ah. El mayor espesor hacia barlovento determinaría un mayor grado de evolución del suelo en ese sentido.

Las similitudes en cuanto a la composición granulométrica entre el horizonte Ah y el Ab, hace suponer que la génesis del primero responde a la acumulación de similares materiales a los acumulados en el pasado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a H. Moyano por facilitar el acceso al sitio de estudio y al Ing. Agr. C. Aimar por su colaboración en el muestreo y análisis de suelo. Este estudio estuvo financiado por los proyectos PICT 2017 N° 2111 (ANPCyT-CONICET), PIP 2020 N° 321 (CONICET), PICT 2019 N° 2154 (ANPCyT-CONICET) y I-158/19 (FA-UNLPam).

REFERENCIAS

- Aimar, S. B.; Mendez, M.; Funk, R. & Buschiazzi, D.E. (2012). Soil properties related to potential particulate matter emissions (PM10) of sandy soils. *Aeolian Research*, 3, 437-443. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2010.12.001>.
- Buschiazzi, D. E., Zobeck, T. M. & Abascal, S. A. (2007). Wind erosion quantity and quality of an Entic Haplustoll of the semi-arid Pampas of Argentina. *Journal Arid Environments*, 69, 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.013>.
- Chepil, W. S. (1962). A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical analysis. *Soil Science Society of America Proceedings*, 26, 4-6. <https://doi.org/10.2136/sssaj1962.03615995002600010002x>.
- Etchevehere, P. H. (1976). Normas de reconocimiento de suelos. Departamento de suelos, INTA, Buenos Aires, Argentina, Publicación N° 152. 211 páginas.
- Etchichury, M. C. y Tofalo, O. R. (2004). Mineralogía de arenas y limos en suelos, sedimentos fluviales y eólicos actuales del sector austral de la cuenca Chacoparanense. Regionalización y áreas de aporte. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (2), 317-329. <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/1415>.
- Iturri, L. A., AVECILLA, F., Hevia, G. G. & Buschiazzi, D. E. (2016). Comparing adjacent cultivated- and "virgin" soils in wind erosion affected environments can lead to errors in measuring soil degradation. *Geoderma*, 264, 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.09.017>.
- Iturri, L. A., Funk, R., Leue, M., Sommer, M. & Buschiazzi, D. E. (2017). Wind sorting affects differently the organo-mineral composition of saltating and particulate materials in contrasting texture agricultural soils. *Aeolian Research*, 28, 39 - 49. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2017.07.005>.
- Norma IRAM-SAGPyA 29571-3:2011-(2017). Calidad ambiental - calidad del suelo. Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 3 - Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante, escala micro.
- Panebianco, J. E.; Buschiazzi, D. E. & Zobeck, T. M. (2010). Comparison of different mass transport calculation methods for wind erosion quantification purposes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 1548-1555. <https://doi.org/10.1002/esp.1995>.
- Smithsonian Institution. 2012. *Global Volcanism Program*, <http://www.volcano.si.edu/world/list.cfm>.
- Soil Survey Staff, (1999). Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. *U.S. Government Printing Office*, Washington.
- Tarabini, M.; Gomez, F. y La Manna, L. (2019). Ceniza volcánica reciente como indicadora de retención de partículas en los suelos de la patagonia andina. *Ciencia del Suelo*, 37(1), 101-112.
- Uni, D. & Katra, I. (2017). Airborne dust absorption by semi-arid forests reduces PM pollution in nearby urban environments. *Science of the total environment*, 598, 984-992. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.162>.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392. <https://doi.org/10.1086/622910>.
- Zárate, M. A. (2003). Loess of southern South America. *Quaternary Science Reviews*, 22, 1987-2006. <https://doi.org/10.1086/622910>.