



FACULTAD DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

Universidad Nacional de La Pampa

**“Distribución de potasio, magnesio y hierro en
sedimentos saltables de suelos de diferentes texturas y
contenidos de humedad”**

HERNÁNDEZ, Lorena Pamela

**TESINA PRESENTADA PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA EN QUÍMICA**

SANTA ROSA – LA PAMPA
ARGENTINA
AÑO 2022

Prólogo

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Licenciada en Química de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNLPam, durante el período comprendido entre agosto de 2021 y noviembre 2022, bajo la dirección de la Dra. Laura A. de Oro y la codirección de la Dra. Antonela L. Iturri.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a la Dra. Laura A. de Oro, directora de la presente tesina, por su apoyo, su calidez, compromiso y por haberme brindado la confianza para llevar adelante este proyecto. Agradecer también a la Dra. Antonela L. Iturri por su generosidad y por acompañarme no solo en los ensayos de laboratorio sino también por estar en cada momento que surgió una duda, en cada mensaje, por su colaboración y apoyo. Gracias de corazón a ambas por su paciencia.

Un agradecimiento especial a la Mg. Rocío Comas, quien me acompañó en cada viaje a Agronomía y me ayudó y asesoró de manera excelente en el desarrollo de los ensayos de laboratorio y con el equipo de absorción atómica. ¡¡Gracias Ro!!

Gracias a mi familia por apoyarme siempre en todas las etapas de la carrera. Por estar, festejar o sufrir cada rendida, y decirme que no bajara los brazos. Les amo profundamente.

A mis amigas, que son todo lo que está bien. Gracias por ese amor incondicional, por alegrarse y festejar conmigo cada logro. Gracias a ese grupo de mujeres luchadoras, increíbles e incondicionales que la vida puso en mi camino.

Gracias a la Universidad Nacional de La Pampa y a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, por haberme brindado los medios y el espacio para desarrollar esta tesina. También agradecer al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía – Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP – CONICET – UNLPam.) por darme el lugar para realizar mis ensayos. Estoy orgullosa de ser egresada de la UNLPam. Sigamos luchando por nuestra educación, gratuita, laica y de calidad.

Gracias a mis compañeros del IHLLA (Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff”) mi actual lugar de trabajo, por su paciencia, apoyo y confianza brindada durante este año.

Quiero dedicar este trabajo a todas las mujeres, quiénes luchamos día a día por conseguir la igualdad de derechos y ganarnos el espacio en diferentes ámbitos, y a todas las víctimas de violencia de género.

Gracias Papá, donde quieras que estés, esto también es por y para vos. Espero estés orgulloso de mi.

Y en último lugar, y el más importante, gracias a mi MAMÁ. El mejor ejemplo de perseverancia y lucha que puedo tener. Gracias Má, porque sin vos no podría haber llegado hasta acá. Gracias por haberme dado la oportunidad de estudiar. Por tu esfuerzo para dejarme cumplir mis sueños. Gracias por haberme mantenido entera hasta el final. Te amo.

A todos y todas... ¡¡GRACIAS TOTALES!!

Resumen

La erosión eólica es uno de los procesos de degradación de suelos más importantes en ecosistemas áridos y semiáridos. La acción del viento, produce la remoción, selección y transporte de partículas del suelo afectando su fertilidad física y química. La humedad del suelo es uno de los factores que controla su magnitud ya que, mayores contenidos de humedad, incrementan la adhesión de las partículas entre sí, aumentando la velocidad umbral. Existen contenidos críticos de humedad del suelo a partir de los cuales un suelo deja de erosionarse, que no sólo dependen de la textura del suelo, sino también de la micro y macro agregación, y son específicos para una velocidad de viento.

El objetivo de este trabajo fue evaluar en el material erosionado por el viento en suelos de diferentes texturas con diferentes contenidos de humedad, la distribución de K, como indicador de minerales claros (livianos) y de Fe y Mg, como indicadores de minerales oscuros (pesados). Para ello, se colectaron sedimentos eólicos a diferentes alturas, luego de simulaciones realizadas en túnel de viento, a los que se les midió la concentración de Fe, Mg y K. En todos los casos, la textura y la materia orgánica (MO) fueron los factores determinantes de la distribución vertical de los elementos. Los suelos de texturas contrastantes, Cramer (AF, arenoso franco) y La Victoria (F, franco) evidenciaron una disminución en la concentración del Fe en altura (0 – 17,1 cm), de 10539,26 a 7765,34 ppm para el suelo AF y de 14454,05 a 5973,22 ppm para el suelo F. Los suelos de texturas intermedias Facultad Natural (FA1, franco arenoso) y Olivillos (FA2, franco arenoso), no mostraron variación en altura para este elemento. El K mostró un comportamiento segregado para los suelos de texturas más gruesas disminuyendo su concentración con la altura, de 6488,28 a 1601,39 ppm para AF, de 6451,17 a 861,87 para FA2 y de 5544,62 a 1103,88 ppm para FA1. Sin embargo, para el suelo de textura fina (F) solo se logró cuantificar a la menor altura de muestreo (0 – 5,7 cm). Por otra parte, el Mg solo se encontró a partir de los 11,4 cm para todos los suelos y principalmente se hizo visible en el suelo texturalmente más fino (F).

En cuanto a la composición mineralógica, se observó que con un incremento de la altura de recolección, la proporción entre minerales claros y oscuros se hace menor para todos los suelos ensayados. Esto implica una mayor concentración de minerales ricos en Fe y Mg, principalmente, que se transportan a mayores alturas.

Finalmente, el contenido de humedad influyó positivamente en la erosión de los elementos en los primeros 5,7 cm del ensayo. Para la mayoría de los suelos, se obtuvo una disminución de la concentración de los elementos a medida que aumentaba el contenido de humedad relativa (HR) lo que favorece su retención y disminuye sus pérdidas del suelo de origen. También se pudo establecer que los suelos de texturas gruesas e intermedias, con bajos contenidos de MO (AF y FA2), transportan elementos a elevados contenidos de humedad (20 a 70%) mientras que los suelos finos lo hacen en un rango más acotado (10 a 40%).

Tanto la distribución de los elementos en altura como el efecto de la humedad sobre los mismos, está condicionado por el tipo de suelo, siendo su clase textural y la micro y macro agregación los factores más importantes que limitaron su movimiento.

Abstract

Wind erosion is one of the most important soil degradation processes in arid and semi-arid ecosystems. The action of wind produces the removal, selection and transport of soil particles, affecting its physical and chemical fertility. Soil moisture is one of the factors that controls its magnitude, since higher moisture contents increase the adhesion of particles to each other, increasing the threshold velocity. There are critical soil moisture contents from which a soil stops eroding, which not only depend on soil texture, but also on micro and macro aggregation, and are specific to a wind speed.

The aim of this work was to evaluate in the material eroded by the wind in soils of different textures with different moisture contents, the distribution of K, as an indicator of light minerals (light), and Fe and Mg, as indicators of dark minerals (heavy). Thus, wind sediments were collected at different heights, after simulations carried out in a wind tunnel, to which the concentration of Fe, Mg and K was measured. In all cases, the texture and organic matter (OM) were the determining factors of the vertical distribution of the elements. Soils with contrasting textures, Cramer (AF, sandy loam) and La Victoria (F, loam) showed a decrease in the Fe concentration in height (0 - 17.1 cm), from 10539.26 to 7765.34 ppm for the AF soil and from 14454.05 to 5973.22 ppm for the F soil. The soils of intermediate textures Facultad Natural (FA1, sandy loam) and Olivillos (FA2, sandy loam), did not show variation in height for this element. The K showed a segregated behavior in height for the coarser textured soils, decreasing its concentration as the height profile progressed, from 6488.28 to 1601.39 ppm for AF, from 6451.17 to 861.87 for FA2 and from 5544.62 to 1103.88 ppm for FA1. However, for the fine-textured soil, F, it was only possible to quantify at the lowest sampling height (0 - 5.7 cm). On the other hand, Mg was only found from 11.4 cm for all soils and it was mainly visible in the finer textural soil (F).

Regarding the mineralogical composition, it was observed that as the profile progresses, the proportion between light and dark minerals becomes lower for all the soils tested. This implies a higher concentration of minerals rich in Fe and Mg, mainly, which are transported to high heights.

Finally, the moisture content positively influenced the erosion of the elements at the first 5.7 cm of the test. For most of the soils, a decrease in the concentration of the elements was obtained as the relative humidity (RH) content increased, which favors their retention and decreases their losses from the original soil. It was also possible to establish that coarse and

intermediate textured soils, with low OM contents (AF and FA2), transport elements at high moisture contents (20 to 70%) while fine soils do so in a narrower range (10 to 40%).

Both, the distribution of the elements in height and the effect of humidity on them, is conditioned by the type of soil, being their textural class and the micro and macro aggregation the most important factors that limited their movement.

Índice:

1.	INTRODUCCIÓN	- 9 -
1.1	Hipótesis.....	- 13 -
1.2	Objetivos	- 13 -
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	- 15 -
2.1.	Suelos estudiados	- 15 -
2.2.	Simulaciones en túnel de viento y recolección de sedimentos eólicos	- 16 -
2.3.	Análisis de los suelos y sus sedimentos eólicos.....	- 19 -
2.4.	Análisis estadístico.....	- 22 -
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 23 -
3.1.	Distribución de K, Fe y Mg en los sedimentos eólicos de suelos de diferentes texturas	- 23 -
3.1.1	Relación entre minerales claros y oscuros en altura	- 27 -
3.2.	Distribución de elementos en sedimentos eólicos de suelos de diferentes texturas, con diferentes contenidos de humedad.	- 28 -
4.	CONCLUSIONES	- 31 -
5.	Bibliografía	- 33 -

1. INTRODUCCIÓN

La erosión eólica es un proceso de degradación irreversible de los suelos, principalmente en regiones áridas y semiáridas, donde las precipitaciones son variables y la cobertura es escasa (Bolte *et al.*, 2011). Los suelos de la Región Semiárida Pampeana de Argentina (RSPA) evolucionan sobre sedimentos loésicos, material altamente susceptible a ser retransportado por el viento, lo que les confiere una alta erodabilidad. La erosión eólica se define como un proceso mediante el cual se produce la remoción, selección y transporte del material superficial del suelo por la acción del viento (Buschiazzo y Aimar, 2003). Se inicia cuando la velocidad del viento excede la velocidad umbral (μt), mínima velocidad del viento requerida para iniciar el movimiento de las partículas del suelo (Bagnold, 1941).

Los minerales más abundantes y que constituyen la mayor parte de las rocas de la corteza terrestre, están constituidos por ocho elementos principales. Por orden de abundancia, estos elementos son: oxígeno (O: 46,6 %), silicio (Si: 27,7 %), aluminio (Al: 8,1 %), hierro (Fe: 5,0 %), calcio (Ca: 3,6 %), sodio (Na: 2,8 %), potasio (K: 2,6 %) y magnesio (Mg: 2,1 %). El O y el Si se combinan para dar lugar al grupo mineral más común llamado silicatos (SiO_4^{4-}), representando más del 90 % de la corteza terrestre. De acuerdo a su composición química, los silicatos se dividen en claros y oscuros. Los primeros tienen generalmente un color claro y son también llamados livianos ya que presentan un peso específico (PE: 2,7) inferior que el de los silicatos oscuros, diferencia que se atribuye a la ausencia de Fe y Mg en los primeros. Los silicatos claros contienen cantidades variables de Al, K, Ca y Na. Entre ellos se pueden encontrar a los feldespatos, cuarzo, moscovita y minerales de arcilla. Los minerales oscuros, también denominados pesados, contienen Fe y Mg en su composición y, debido a la presencia del Fe, poseen un color oscuro y un mayor peso específico (PE: 3,2 – 3,6). Los más comunes son el olivino, piroxenos, anfíboles, biotita y granate (Tarbuck y Lutgens, 2005). En los suelos de la RSPA predominan los minerales de silicatos (Buschiazzo y Taylor, 1993; Ramsperger, *et al.*, 1998; Iturri, *et al.*, 2017). Algunos autores destacan la dominancia de las fracciones livianas en altos porcentajes (mayores al 90 %), compuesta principalmente por feldespatos y cuarzo. Los minerales pesados de la fracción arena representan menos del 1 % del total siendo los opacos y la hornblenda los más comunes, seguidos por pequeñas cantidades de piroxenos y micas (biotita). Son en general escasos el zircón, granate y apatita. Entre los opacos (50%), la magnetita, hematita e hidróxidos de hierro son los más frecuentes (Scoppa y Di Giacomo, 1998; Etchichury y Tófalo, 2004).

El viento produce una remoción selectiva de las partículas del suelo, esto hace que se muevan de diferentes maneras, a distintas alturas y, por lo tanto, distancias en función de su tamaño, densidad y forma (Aimar *et al.*, 2003). La selección de partículas es un proceso que provoca cambios texturales en el suelo de origen, al transportar partículas finas enriquecidas en nutrientes y acumular, residualmente, las partículas más gruesas, menos fértiles (Lyles, 1988; Buschiazzo y Aimar, 2003). Buschiazzo y Taylor (1993), analizaron las características de dos suelos, débil y fuertemente erosionados, y concluyeron que los suelos de RSPA se vuelven más arenosos lo cual disminuye la capacidad del suelo para acumular materia orgánica y elementos esenciales. Además, encontraron que este transporte diferencial de las partículas del suelo, en cuanto a su densidad, provocó una relación entre minerales livianos y pesados mayor en los pedones menos erosionados.

El proceso de erosión eólica se produce principalmente a través de los movimientos de rodadura y saltación, aunque también se puede producir el transporte de partículas más finas por suspensión (Buschiazzo y Aimar, 2003). La Figura 1 muestra los diferentes procesos de transporte de partículas que se dan en forma simultánea durante el proceso de erosión eólica.

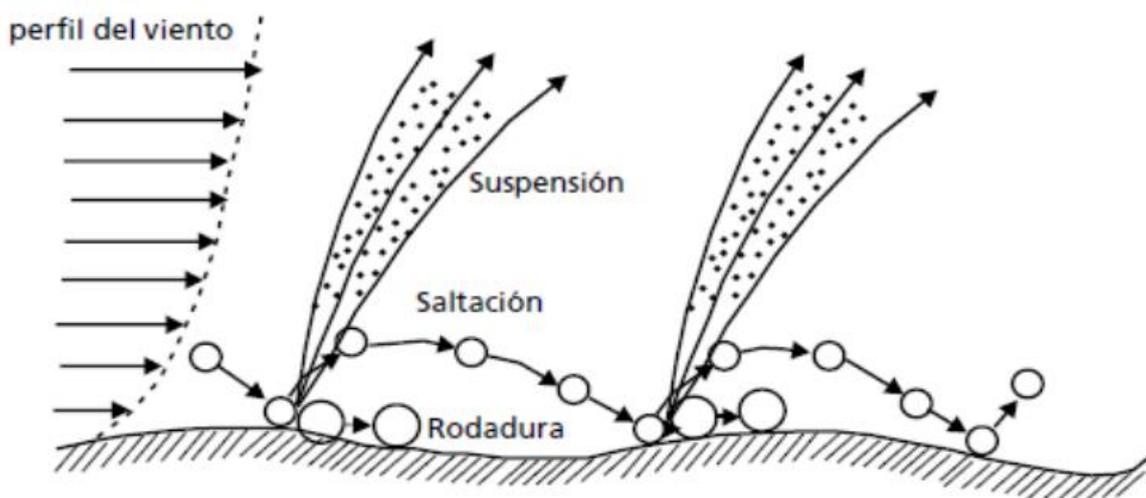


Figura 1. Representación del perfil de viento y de los movimientos de rodadura, saltación y suspensión. Imagen tomada de Aimar (2016).

La suspensión (Figura 1) se refiere al transporte vertical y, eventualmente, horizontal de las partículas más pequeñas del suelo que son eliminadas del área local. Éstas tienen un tamaño que va de los 2 a los 100 μm y son las responsables de las tormentas de polvo. Sin

embargo, en el transporte a larga distancia, predominan las partículas con tamaños menores a 20 μm debido a que las partículas más grandes poseen velocidades de sedimentación significativas. Entre un 3–38% de las partículas erosionadas pueden ser transportadas por suspensión dependiendo de la textura del suelo. La materia orgánica (MO) y algunos nutrientes del suelo que son esenciales para las plantas, son a menudo relacionadas a las fracciones más finas del suelo, es por esto que el material que puede transportarse por suspensión está enriquecido en dichos componentes en comparación con el suelo del que provienen (Chepil, 1945; Lyles, 1988).

La saltación (Figura 1) es el transporte de las partículas o agregados expulsados de la superficie del suelo siguiendo distintas trayectorias, influenciadas por la resistencia del aire y la gravedad. Estas partículas poseen un tamaño que va de 100 a 500 μm y se elevan en ángulos bastantes pronunciados, pero son muy grandes para ser suspendidas por el flujo de aire. Luego vuelven a la superficie donde pueden desgastarse o desgastar otros agregados al impactar, o pueden rebotar o incrustarse iniciando el movimiento de otras partículas. La mayor parte del transporte de partículas se produce por saltación (50–80%) (Lyles, 1988).

La rodadura (Figura 1) se da cuando las partículas del suelo del tamaño de la arena o agregados de 500 a 1000 μm , demasiado grandes para salir impulsados por los vientos erosivos, son empujadas por los impactos de las partículas giratorias en la saltación. Con vientos fuertes, toda la superficie puede avanzar lentamente sin que se produzca el despegue de las partículas. El transporte por rodadura constituye entre el 7 al 25 % del total del transporte producido por erosión eólica. Si bien es un transporte pasivo, muchas partículas que se mueven por rodadura pueden desgastarse hasta alcanzar el tamaño necesario para sufrir saltación y/o suspensión, cambiando de esta manera su forma de transporte (Chepil, 1945; Lyles, 1988).

Los factores que influyen en el proceso de erosión eólica son esencialmente la erosividad del viento, la erodabilidad del suelo y un impacto combinado de ambos (Chepil & Woodruff, 1963). La acción erosiva del viento depende de su velocidad y de factores relacionados con la superficie del suelo, el tamaño y la estabilidad de los agregados, el contenido de arcilla y de materia orgánica, la cobertura vegetal y el contenido de humedad superficial. Entre los factores que gobiernan las condiciones umbrales, el contenido de humedad del suelo es uno de los más importantes (Cornelis *et al.*, 2004 1 y 2; Ravi *et al.*, 2004, 2006; de Oro y Buschiazzo, 2009). Dado su alto dinamismo y variabilidad tiene un impacto crítico en la predicción del proceso de deflación y transporte de partículas por el

viento (Cornelis y Gabriels, 2003; de Oro *et al.*, 2016), ya que contribuye fuertemente a aumentar la velocidad umbral al incrementar la adhesión de las partículas entre sí (McKenna – Neuman y Nickling, 1989). Varios autores han definido al contenido crítico de agua (HRC) como el contenido de agua en el suelo superficial a partir del cual la erosión eólica comienza (Saleh y Fryrear, 1995; Chen *et al.*, 1996), y que dicho valor depende del tipo de suelo y velocidad del viento (de Oro *et al.*, 2016). Otros autores han estudiado la influencia de la humedad sobre los mecanismos de la erosión (Chepil, 1956; Azizov, 1977; Chen *et al.*, 1996; Ravi *et al.*, 2006; Bolte *et al.*, 2011).

El proceso de erosión eólica, altera la fertilidad física y química de los suelos, ya que puede redistribuir los elementos en el paisaje. La concentración de elementos en el material erosionado es fuertemente condicionada por la textura del suelo del cual proviene. El material erosionado, a medida que se colecta a mayor altura, se encuentra enriquecido en elementos nutrientes como C, N, P, S, K, Mg, Ca, Zn, Cu, Fe y Mn. A su vez, esta concentración es mayor a medida que el suelo erosionado es texturalmente más fino debido al rompimiento de agregados de mayor tamaño (Aimar, 2002; Aimar *et al.*, 2010; Aimar, 2016). Sin embargo, estudios más recientes (Webb *et al.*, 2013; Iturri *et al.*, 2021) han encontrado que la concentración de elementos nutrientes C, N y P, en sus formas orgánicas, es más alta en sedimentos eólicos transportados a mayor altura en suelos arenosos que en finos. La razón de esta distribución vertical es la mayor agregación de los suelos finos lo que les permite acumular estos elementos, incluso en agregados grandes, difícilmente transportados por el viento. Asimismo, se han encontrado concentraciones elevadas de Ca y Mg en sedimentos eólicos transportados a bajas alturas, lo que estaría asociado a su transporte en minerales de mayor tamaño y/o densidad en los suelos arenosos más que en los finos.

La redistribución de elementos en el paisaje por parte del viento puede tener efectos tanto positivos como negativos sobre la fertilidad de los suelos, dependiendo del tipo y el origen de los sedimentos transportados. Sankey *et al.*, (2012) analizaron el transporte y deposición de sedimentos eólicos obtenidos de suelos que previamente habían sufrido un incendio. Los hallazgos mostraron que la erosión eólica posterior al incendio dio como resultado un enriquecimiento de macronutrientes como Ca, K, Mg y Mn en los sedimentos eólicos, en relación al suelo del que provenían. Este enriquecimiento, tiene efectos benéficos debido a que promueven un efecto de fertilización a través de la deposición de los sedimentos enriquecidos en estos nutrientes. Por otra parte, existe evidencia de que algunos elementos

nutrientes como el P pueden desencadenar la eutrofización de los cuerpos de agua cuando son erosionados y depositados sobre estos (Mackey *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2018), lo que impactaría negativamente en los ecosistemas marinos.

Existe poca información sobre cómo los diferentes contenidos de humedad del suelo, que actúan en el inicio del proceso erosivo, puedan afectar la composición elemental del material erosionado. Y hay aún menos información sobre si diferentes contenidos de humedad del suelo tienen algún efecto sobre la mineralogía del sedimento erosionado, principalmente respecto a su distribución, altura y tipo de suelo erosionado.

La composición de los sedimentos eólicos es de interés no solo para conocer qué elementos esenciales para las plantas se pueden perder por erosión eólica, sino también para comprender cómo pueden afectar estas pérdidas las características del suelo tales como la CIC, la textura y estructura, y la modificación de la composición mineralógica del suelo. Conocer la composición elemental y las tasas de enriquecimiento del sedimento erosionado no solo aporta información para modelar los ciclos biogeoquímicos sino también conocer posibles efectos sobre la salud humana y degradación del suelo. Por ello, el objetivo de esta tesis es cuantificar el transporte de K, Mg y Fe como parámetros para evaluar la distribución de minerales claros y oscuros en sedimentos eólicos de suelos de texturas contrastantes y bajo diferentes contenidos de humedad.

1.1 Hipótesis

- 1) a. El transporte de K, Fe y Mg será más segregado en suelos de texturas gruesas (menor agregación) y más uniforme en suelos de texturas finas (mayor agregación).
- b. La concentración de K, indicador de la presencia de minerales claros (livianos), será mayor en los sedimentos transportados a elevadas alturas, mientras que la concentración de Fe y Mg, indicadores de minerales oscuros (pesados), será mayor en los sedimentos colectados a bajas alturas.
- 2) La humedad en los primeros centímetros del suelo influye sobre la cantidad de material erosionado, disminuyendo la proporción de K, Fe y Mg en altura.

1.2 Objetivos

- 1) Determinar la distribución de K, Fe y Mg en sedimentos eólicos de suelos de diferentes texturas y con diferentes contenidos de humedad.

2) Estimar la composición mineral de los sedimentos transportados por el viento a distintas alturas, de suelos de diferentes texturas y contenidos de humedad, a través de la cuantificación de las concentraciones de K (indicador de la presencia de minerales claros, livianos), de Fe y de Mg (minerales oscuros, pesados).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Suelos estudiados

Se tomaron muestras de 4 suelos de la RSPA con texturas y contenidos de MO contrastantes (Fig. 2).

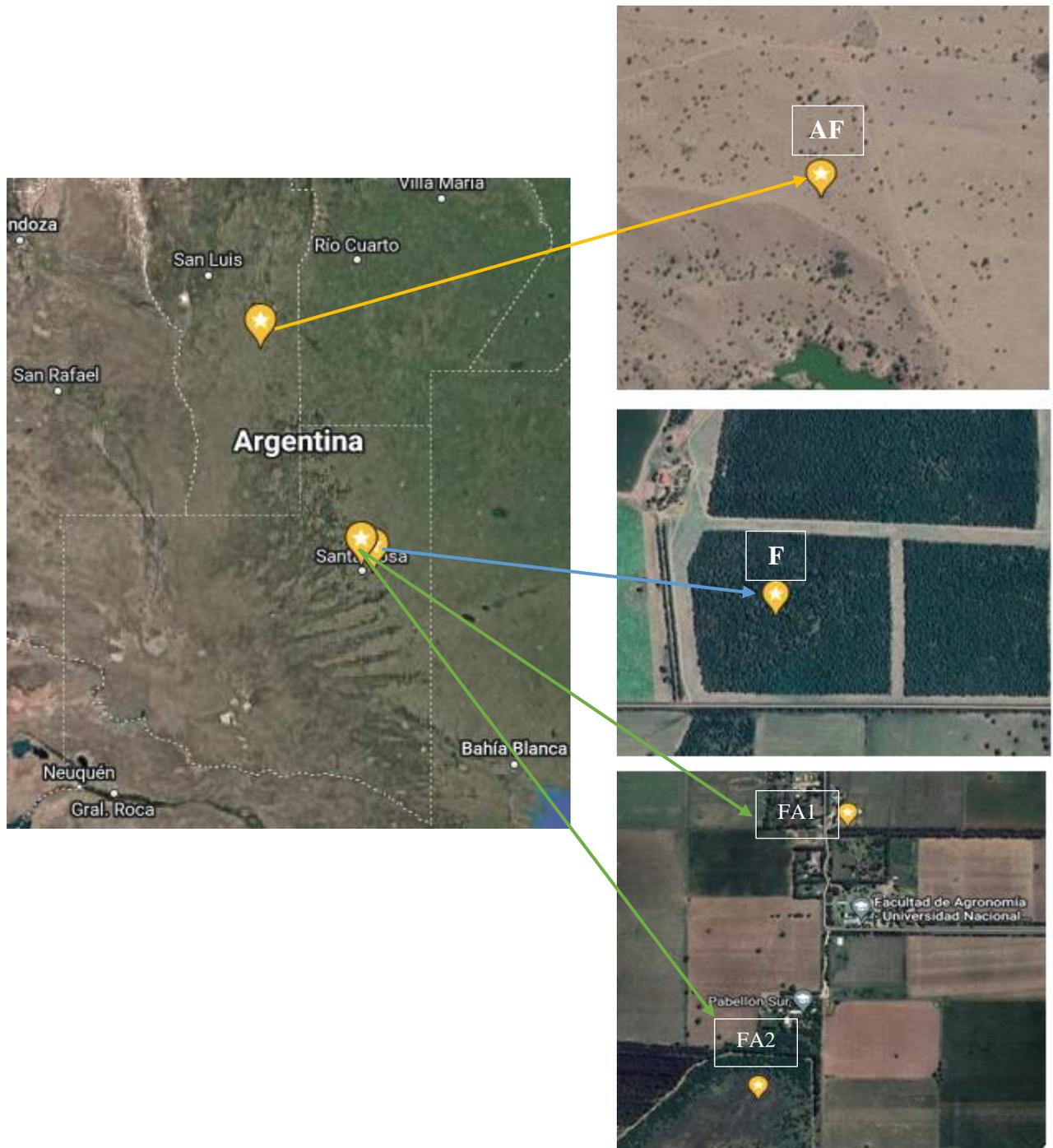


Figura 2. Localización de los sitios de estudio: Facultad Natural (FA1), Olivillos (FA2), Estancia La Victoria (F) y Cramer (AF). Imágenes obtenidas de Google Maps.

El suelo Facultad Natural (FA1) se obtuvo de un potrero sin laboreo en los últimos 20 años, que está dentro del predio del campo de enseñanzas de la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam.) (36°33'12.4''S, 70°15'35''W). El suelo Olivillos (FA2) pertenece a una zona de médanos también ubicada dentro del campo de enseñanzas de la UNLPam. (36°33'51.5''S, 64°18'20.6'' W). El suelo Cramer (AF), perteneciente a la provincia de San Luis, Argentina, es un suelo desarrollado sobre arenas eólicas (33°67'28''S, 65°37'60''W). El suelo Estancia La Victoria (F) fue obtenido de una zona de caldenal, ubicado a 11 km al este del centro de la ciudad de Santa Rosa, La Pampa (36°37'23''S, 64° 09'17''W).

La Tabla 1 muestra las principales características de los suelos estudiados ordenados desde el suelo de textura más fina (F) al de más gruesa (AF).

Tabla 1. Características físico – químicas de los suelos analizados: La Victoria (F), Facultad Natural (FA1), Olivillos (FA2) y Cramer (AF).*

Suelo	Textura	% MO	% Arena	% Limo	% Arcilla	HRc %	FE %
F	Franco	6,2	35,5	42,0	18,5	37,8	25,5
FA1	Franco arenoso	3,7	59,4	24,8	13,1	39,3	45,0
FA2	Franco arenoso	2,0	73,4	19,0	7,2	58,9	87,2
AF	Arenoso franco	1,5	80,4	11,9	7,5	75,5	93,0

% MO: Materia orgánica.

HRc %: Humedad Relativa crítica

FE %: Fracción Erosionable.

*Adaptada de Mota, G., (2014) y de Oro *et al.*, (2019).

2.2. Simulaciones en túnel de viento y recolección de sedimentos eólicos

Se realizaron simulaciones en túnel de viento para coleccionar los sedimentos eólicos de cada suelo muestreado según 2.1. Para ello, se extrajo una muestra representativa de los primeros 20 cm de cada suelo. Luego dichas muestras se secaron al aire durante 24 h obteniéndose de esta manera el contenido de humedad inicial, H₀ (F: 2,7 %; FA2: 2,4 %; FA1: 2,1 % y AF: 1,9 %).

El túnel de viento utilizado (Fig. 3) mide 8 m de largo. Los principales componentes del túnel de viento portátil son: chasis, motor, hélice, sección curva, placa cribada y las secciones del túnel propiamente dicho. La sección de simulación del túnel tiene 6 m de largo, 1 m de alto y 0,5 m de ancho. La sección de trabajo, donde se colocan las muestras, mide 4 m de largo.



Figura 3. Componentes del túnel de viento portátil. a) Hélice, b) motor con carcasa protectora, c) placa cribada, d) zona de medición (4 m), e) tramo del túnel con piso (2 m), f) chapas deflectoras. Imagen tomada de *Mota, G.* (2014).

El impulsor del viento es un motor Honda que se ubica en la parte superior del chasis y posee una potencia de 24 HP. El aire impulsado por la hélice es conducido hacia la sección curva de chapa galvanizada de 1 mm de espesor que desciende 50 cm el flujo de aire, llevándolo a un movimiento horizontal a la altura del suelo. El aire circula luego a través de una placa cribada de 1 m de alto que tiene como función homogeneizar el flujo de viento. El flujo atraviesa posteriormente la sección del túnel propiamente dicha formada por tres secciones de chapa galvanizada, cada una de 2 m de largo, 0,5 m de ancho y 1 m de alto. La primera sección es totalmente recubierta y a su entrada se ubica un conjunto de placas deflectoras móviles que se encargan de orientar el flujo, permitiendo el ajuste logarítmico de la velocidad del viento con la altura. Por último, se encuentran la zona de medición formada por dos secciones sin piso y con ventanas a ambos lados que permiten realizar modificaciones en la zona de medición, sin necesidad de desacoplar los tramos del túnel (*Mota G., 2014; AVECILLA et al., 2015; de Oro et al., 2016*).

Las simulaciones de erosión con el túnel de viento se realizaron a una velocidad $10,5 \text{ m s}^{-1}$ que se controló con un anemómetro de tubo Pitot colocado a la salida del túnel, a 60 cm de altura de la superficie del suelo y a 25 cm desde la pared lateral del túnel. Las simulaciones tuvieron una duración de 3 minutos (*de Oro et al., 2019*).

A la salida del túnel se ubicó un soporte de madera al que se le colocaron, a lo largo del eje vertical, etiquetas autoadhesivas. Dichas etiquetas, que poseen un tamaño de 9,9 cm de largo por 5,7 cm de alto, se ubicaron completando una altura de aproximadamente 30 cm (Fig. 4). Las etiquetas colectaron el sedimento eólico transportado en altura. Más detalle experimental se puede consultar en de Oro *et al.*, (2019). Según estudios de Chepil (1945) el 60 % del material erosionado se transporta dentro de los primeros 6 cm de altura. El presente trabajo se realizó sobre los sedimentos erosionados dentro de los primeros 17,1 cm del perfil de altura de cada suelo a humedad constante (Fig. 5, señalado en rojo). Luego se compararon los primeros 5,7 cm de sedimento eólico colectado en los suelos con distintos contenidos de humedad relativa (HR). La cantidad de sedimentos eólicos colectados a alturas más altas no fue suficiente como para realizar su análisis elemental con una exactitud y precisión analítica aceptable. Por eso, se seleccionó para este estudio el material colectado a bajas alturas, por tratarse de las muestras más abundantes. Además, estudios previos sobre estos mismos suelos, mostraron que la mayor diferenciación entre suelos se da a las alturas más bajas de recolección de material (0 a 11 cm), luego las diferencias tienden a disminuir hasta alcanzar una altura de 28,5 cm donde prácticamente todos los suelos presentan la misma cantidad de material erosionado, el cual no es suficiente para su análisis mediante los métodos asequibles en la UNLPam (Mota, G., 2014).

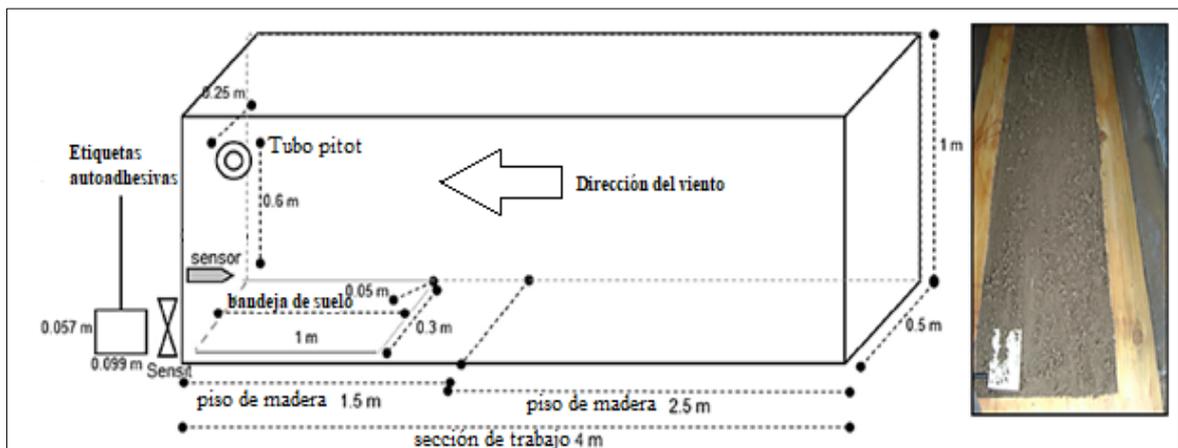


Figura 4. Esquema de túnel de viento portátil utilizado y esquema de diseño experimental. A la derecha, una imagen del sensor de humedad colocado en el área de medición. Imagen tomada de de Oro *et al.*, (2019).

La humedad del suelo se midió utilizando un sensor de humedad colocado a 2,5 cm por debajo de la superficie del suelo (Fig. 4). La primera simulación se realizó utilizando el contenido de humedad inicial de cada suelo luego de haber sido secado al aire durante 24 h.

A continuación, los suelos se rociaron con agua destilada mediante el uso de un atomizador y se mezclaron cuidadosamente para obtener los diferentes contenidos de humedad del suelo ensayados (Tabla 2) y hasta alcanzar el contenido de agua crítico (HRc) para cada suelo (Mota, G., 2014; de Oro *et al.*, 2019). El contenido de agua crítico es el contenido de agua del suelo superficial por debajo del cual se inicia el proceso de erosión eólica (Chen *et al.*, 1996). En la Tabla 2, se presentan los valores obtenidos de humedad para cada suelo.

Tabla 2. Contenidos de humedad relativa (HR) para el perfil de cada suelo que va de 0 a 17,1 cm (S1). Contenidos de humedad relativa (HR) crecientes (S2 a S6) para cada suelo, de los primeros cm del perfil que va de 0 a 5,7 cm de altura. Contenido de humedad relativa crítica (HRc) de cada suelo.*

Suelo	F	FA1	FA2	AF
HR (%)				
S1	15,0	10,7	22,4	24,0
S2	20,0	13,3	29,9	34,1
S3	22,7	17,9	34,5	43,0
S4	26,6	22,0	39,2	54,4
S5	31,1	26,1	48,6	65,8
S6	-	30,2	54,2	70,8
HRc	37,8	39,3	58,9	75,5

*Adaptada de Mota G., (2014) y de Oro *et al.*, (2019).

En la Fig. 5, se muestran las fotografías de las etiquetas autoadhesivas con el material colectado luego del ensayo con túnel de viento. Las imágenes ejemplifican el perfil en altura del material colectado del suelo cuando se realizó el ensayo con el contenido de humedad inicial.

2.3. Análisis de los suelos y sus sedimentos eólicos

Las etiquetas autoadhesivas, con el sedimento eólico colectado a diferentes alturas, se mantuvieron al resguardo de la humedad hasta su análisis. Luego se pesaron y se colocaron en crisoles, previamente llevados a peso constante, y se calcinaron en mufla a 550 °C durante 2 horas (Fig. 6) a efectos de eliminar la materia orgánica (tanto del sedimento como de la etiqueta) y el agua (Schlichting *et al.*, 1985). El procedimiento se realizó también para etiquetas sin sedimento eólico de manera de detectar cualquier aporte mineral proveniente del papel y/o el pegamento.

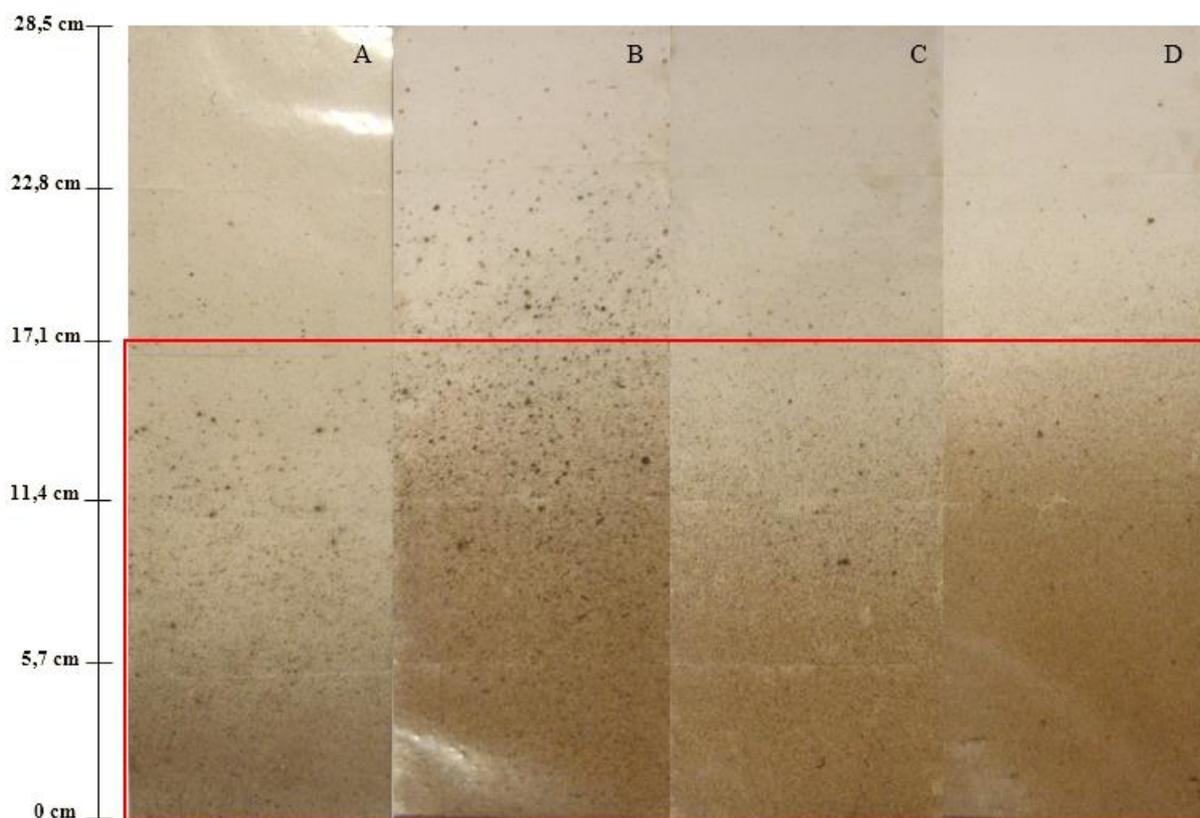


Figura 5. Fotografías de las etiquetas autoadhesivas con el material colectado a diferentes alturas de 0 a 28,5 cm para los suelos: A) F, B) FA1, C) FA2 y D) AF. El área marcada con el rectángulo rojo, indica la altura de muestreo que se seleccionó para realizar este estudio.

Las cenizas resultantes de la calcinación se re-suspendieron en ácido clorhídrico p.a. al 38% m/m y ácido nítrico p.a. al 65% m/m. La mezcla se homogeneizó y se digestó en húmedo a 115 °C durante 2 horas (Fig. 7). El extracto resultante, conteniendo las especies minerales de la muestra, entre ellos K, Fe y Mg, se enrasó con agua destilada a 50 ml (Schlichting *et al.*, 1985).



Figura 6. Crisoles en mufla con etiquetas autoadhesivas conteniendo el sedimento eólico.

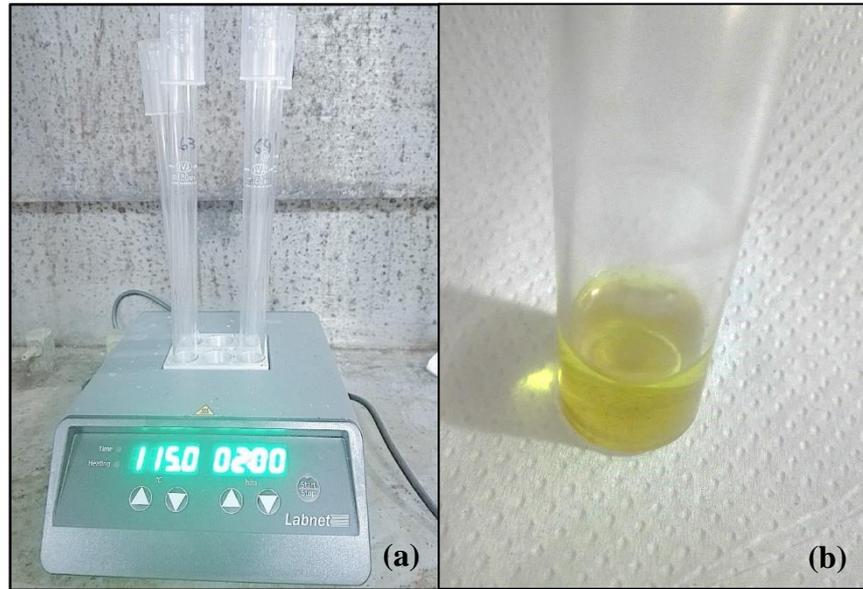


Figura 7. (a) Digestión de las muestras de sedimento eólico. (b) Extracto obtenido luego de la digestión en húmedo.

La concentración (expresada en ppm) de K, Fe y Mg se determinó mediante Espectroscopía de Absorción Atómica con atomización por llama (Fig. 8) (Schlichting *et al.*, 1985).

La cantidad de los elementos colectados, se calculó aplicando la siguiente ecuación:

$$X_{\text{en etiqueta}} (\text{mg cm}^{-2}) = M_{\text{etiqueta}} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^2} \right) \times C_X \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) \times f$$

Donde:

X: Representa la cantidad de elemento colectado en la etiqueta (Fe, Mg, K).

M: Cantidad de sedimento eólico colectado en la etiqueta.

C_X: Concentración del elemento en mg kg⁻¹, obtenida con el espectrofotómetro de absorción atómica.

f: Factor de conversión de unidades.

La cuantificación de estos elementos permitió inferir la proporción de minerales claros (K) y minerales oscuros (Fe y Mg) en función de la altura de transporte de los sedimentos en los cuales se acumulan.



Figura 8. Espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer AA1100).

2.4. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron mediante regresiones simples y test Tukey de comparación de medias con el fin de comparar la distribución de K, Fe y Mg en altura y entre suelos con similares contenidos de humedad, y a una misma altura entre suelos con diferentes contenidos de humedad. Los análisis fueron realizados con un nivel de significancia (α) de 0,05 utilizando el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2002) y Excel 2013.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Distribución de K, Fe y Mg en los sedimentos eólicos de suelos de diferentes texturas

La Figura 9 muestra, para cada suelo, la concentración, en mg kg^{-1} de suelo, hallada de los elementos Fe, Mg y K en los sedimentos eólicos transportados entre 0 y 17,1 cm.

La concentración de Fe disminuyó con la altura ($p < 0,05$) en los suelos AF y F, es decir, los de texturas más contrastantes (Fig. 9a). Sin embargo, para los suelos FA1 y FA2 no se hallaron diferencias en altura ($p > 0,05$) indicando un comportamiento más uniforme, en general, para todas las alturas ensayadas. Además, en los primeros 5,7 cm la concentración de Fe fue diferente entre los suelos de textura contrastante ($p < 0,05$). El suelo de textura más gruesa (AF) fue el que presentó la menor concentración ($10539,26 \text{ mg kg}^{-1}$ de suelo) seguido luego por los de texturas intermedias (FA1 y FA2) con valores de $11700,68$ y $10763,41 \text{ mg kg}^{-1}$ de suelo y por el suelo fino (F) con el valor más alto de concentración, $14454,05 \text{ mg kg}^{-1}$ de suelo. Estos resultados indican que el Fe se transporta preferentemente a baja altura, probablemente en sedimentos gruesos en los suelos de textura gruesa y, además, en agregados grandes, difícilmente transportados por el viento, en los suelos de textura intermedia-fina.

El Mg, en general, no fue detectado en los primeros 11,4 cm de altura (Fig. 9b). Su presencia se detectó en los sedimentos colectados entre los 11,4 – 17,1 cm de altura, a excepción del suelo texturalmente más fino (F) en el que se lo encontró también en los sedimentos colectados a alturas intermedias (5,7 – 11,4 cm). El material erosionado del suelo texturalmente más fino fue el que presentó mayores concentraciones de Mg, a partir de los 5,7 cm hasta los 17,1 cm de altura. Para el rango de alturas intermedias (5,7 – 11,4 cm) su concentración fue de $3550,65 \text{ mg kg}^{-1}$ de suelo y para el rango de mayores alturas (11,4 – 17,1 cm) su concentración fue mayor ($4023,08 \text{ mg kg}^{-1}$ de suelo) frente al resto de los suelos, seguido luego por FA2: $2933,25 \text{ mg kg}^{-1}$ de suelo; FA1: $2626,84 \text{ mg kg}^{-1}$ de suelo y AF: $2316,81 \text{ mg kg}^{-1}$ de suelo, ($p < 0,05$) siendo este último (el suelo más grueso) el que presentó la menor concentración de Mg en dicha altura. Estos resultados indicarían que también el Mg se estaría transportando a alturas bajas, de 11,4 – 17,1 cm, en fracciones relativamente gruesas para los suelos de texturas gruesas e intermedias (AF, FA1 y FA2) y en agregados grandes en el suelo más fino (F).

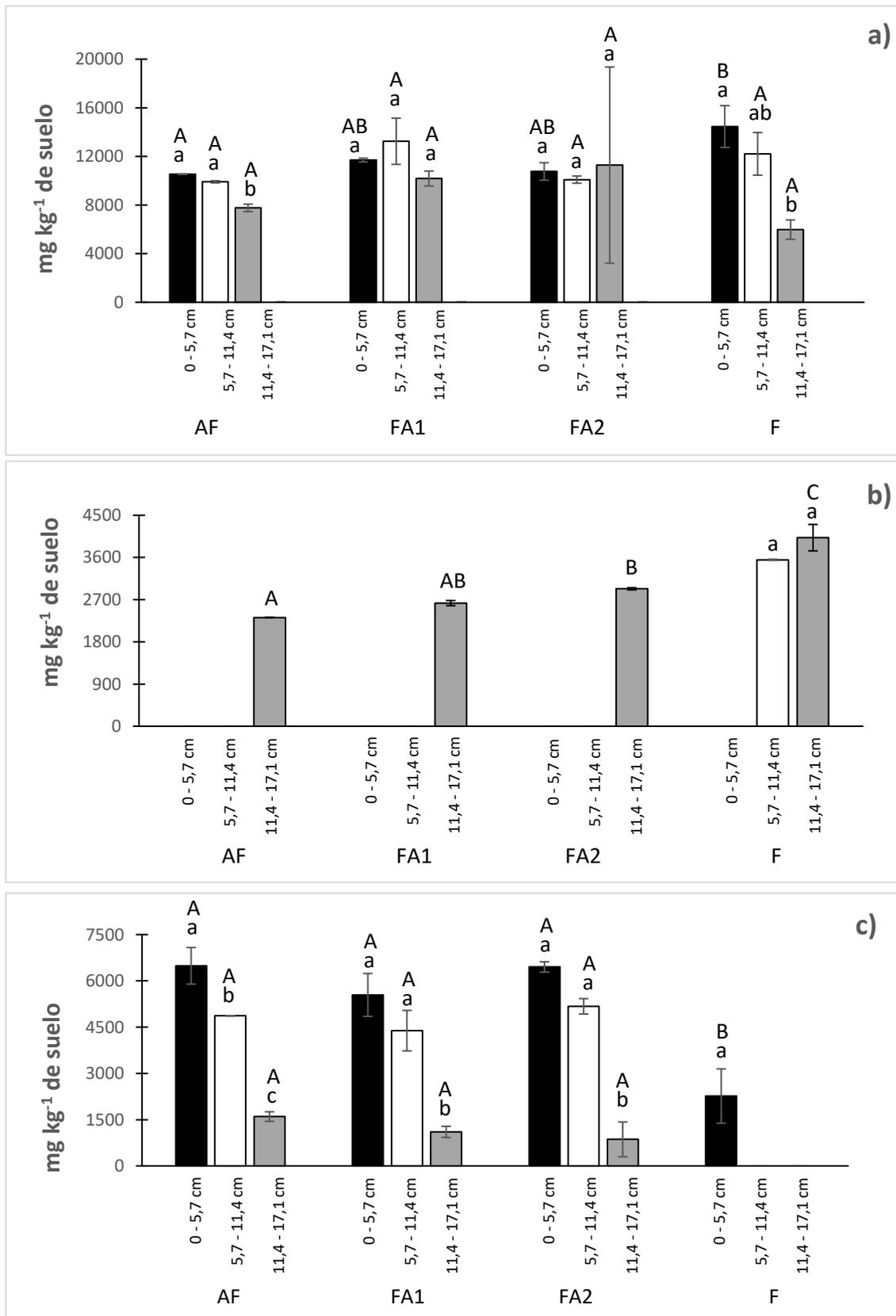


Figura 9. Concentración de (a) Fe, (b) Mg, (c) K en los sedimentos eólicos colectados a 0 – 5,7 cm (negro), 5,7 – 11,4 cm (blanco) y 11,4 – 17,1 cm (gris) para Cramer (AF), Facultad Natural (FA1), Olivillos (FA2) y La Victoria (F). Las letras minúsculas indican dentro de cada suelo como varió el elemento analizado en altura. Las barras de error graficadas corresponden a la variación de los elementos dentro de cada suelo para cada rango de altura. Las letras mayúsculas indican, para cada rango de altura, como varió el elemento entre suelos.

El K, al igual que el Fe, decreció su concentración con la altura ($p < 0,05$). Este elemento se transportó en sedimentos colectados en los primeros cm del suelo, principalmente de 0 a 11,4 cm. Como se ve en la Figura 9c, el suelo de textura más gruesa (AF) presentó las mayores diferencias ($p < 0,05$) entre las tres alturas con valores de concentración de 6488,28, 4866,43 y 1601,39 mg kg^{-1} de suelo. En los suelos de texturas intermedias, FA1 y FA2, la concentración de K también disminuyó con la altura en los sedimentos colectados, aunque solamente hubo diferencias significativas entre el mínimo y máximo rango de altura de recolección ($p < 0,05$). Para el suelo FA1 las concentraciones en orden creciente de altura fueron 5544,62, 4385,96 y 1103,89 mg kg^{-1} de suelo y para el suelo FA2 fueron de 6451,17, 5174,15 y 861,87 mg kg^{-1} de suelo. Por otro lado, en el suelo fino (F) solo se detectó K en los primeros 5,7 cm de altura y su concentración fue la más baja, con un valor 2267,34 mg kg^{-1} de suelo ($p < 0,05$). Al comparar las concentraciones de K para los sedimentos colectados a alturas superiores a 5,7 cm (rangos de 5,7 cm a 17,1 cm) se observa que no hubo diferencias entre los suelos de textura gruesas e intermedias ($p > 0,05$). Este comportamiento podría explicarse por el transporte de K en sedimentos gruesos en los suelos de textura arenosa y en minerales que forman agregados gruesos, difícilmente transportados por el viento, en los suelos de textura intermedia principalmente en el que presenta mayor contenido de MO (FA1).

La Fig. 10 muestra la cantidad de Fe, K y Mg (C_x , en mg cm^{-2}) teniendo en cuenta el total de material erosionado en las etiquetas autoadhesivas.

Como se observa, la cantidad de Fe y K (Fig. 10 a y c) tiende a disminuir en altura en general para todos los suelos ($p < 0,05$), pero en mayor proporción para los suelos de textura gruesa e intermedia (AF, FA2 y FA1). Por otra parte, si bien el Mg (Fig. 10 b) solo se midió al máximo rango de alturas, las mayores cantidades se dieron también para estos mismos suelos. Estos resultados pueden deberse a que son suelos que presentan una mayor susceptibilidad a erosionarse, debido a su textura más arenosa, su menor contenido de MO y de agregación ($AF < FA2 < FA1$). Con respecto al suelo fino (F) la cantidad de Fe, Mg y K (Fig. 10 a, b y c) que se transporta en altura es menor en relación a los otros suelos. Esto se debe a que es menos susceptible a ser erosionado y por ende presenta menor cantidad de sedimento eólico. Estos resultados coinciden con los encontrados por algunos autores que mencionan a la textura como condicionante no solo del tipo y cantidad de material que se erosiona sino también de los elementos que se acumulan en cada tamaño de partícula (Liu *et al.*, 2001; Iturri *et al.*, 2021).

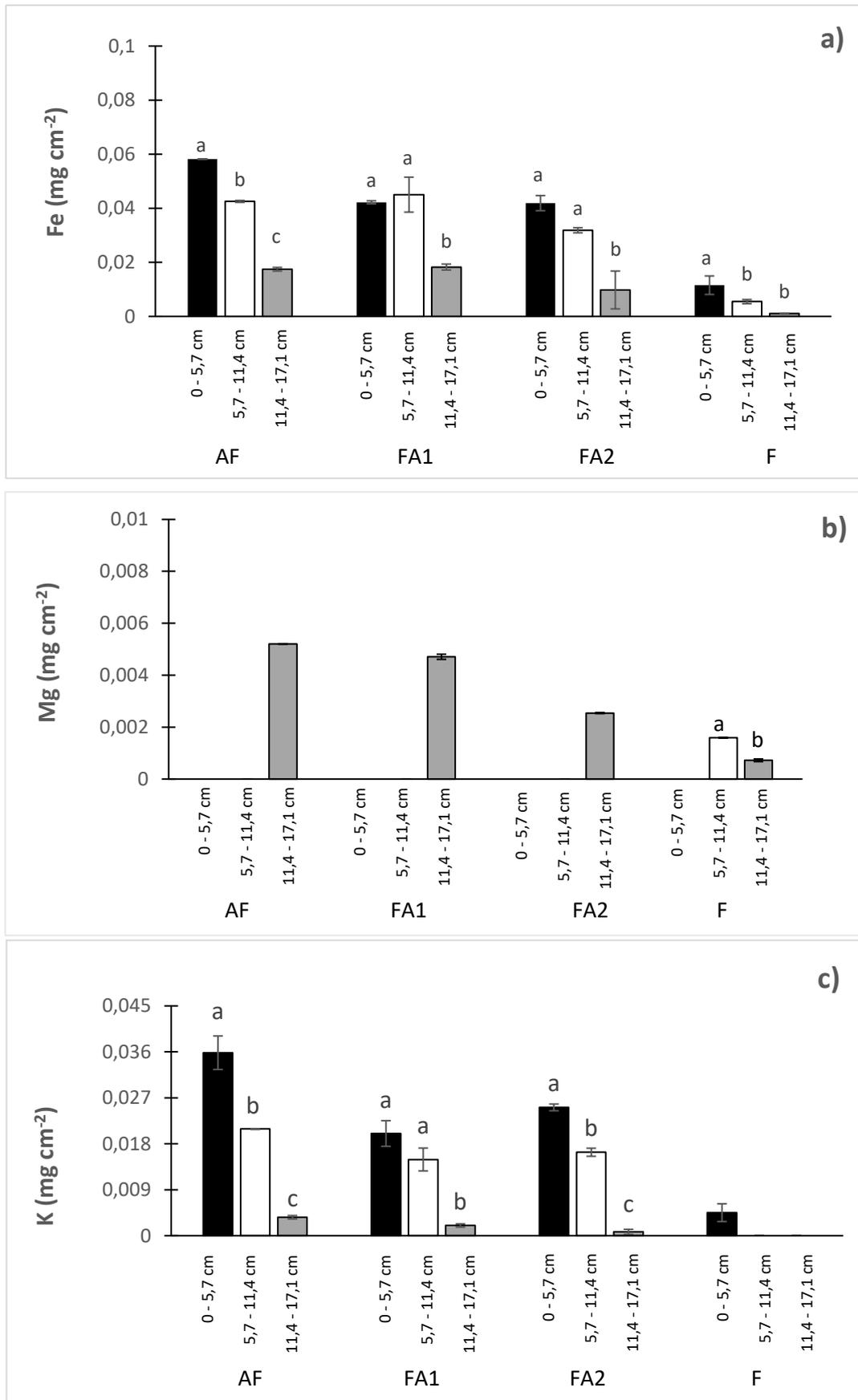


Figura 10. Cantidad de elementos (C_x) acumulados en las etiquetas autoadhesivas (en mg/cm² de etiqueta) (a) Fe, (b) Mg, (c) K en el perfil (0 – 17,1 cm de altura) para Cramer (AF), Facultad Natural (FA1), Olivillos (FA2) y La Victoria (F). Las letras indican dentro de cada suelo como varió el elemento analizado en altura.

3.1.1 Relación entre minerales claros y oscuros en altura

La Fig. 11 muestra el cociente entre K, elemento representante de minerales claros, y Fe+Mg, elementos representantes de minerales oscuros, en función de la altura media para cada rango y los tipos de suelos analizados.

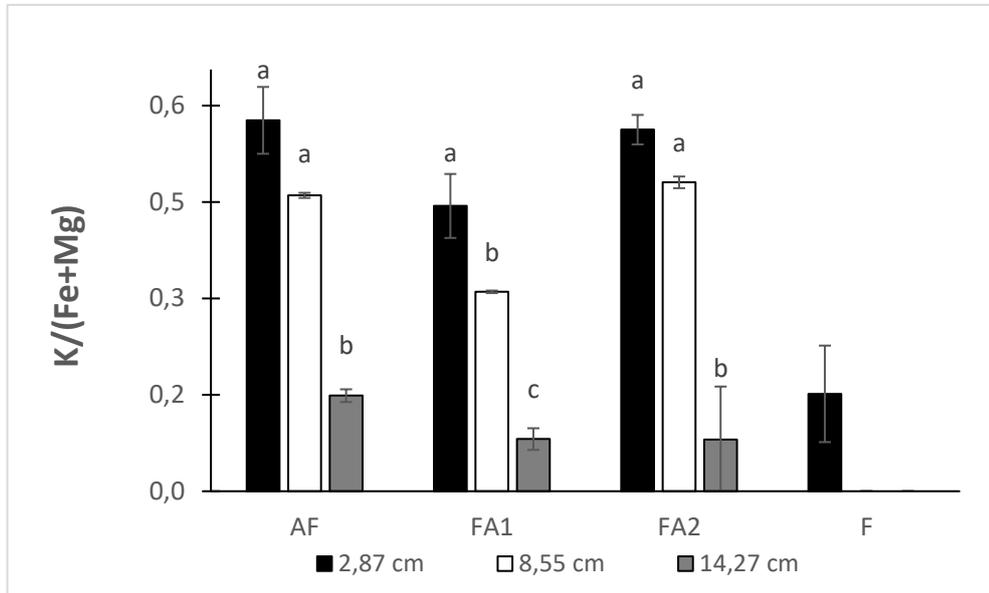


Figura 11: Relación entre K, elemento representante de minerales claros, y Fe+Mg, elementos representantes de minerales oscuros. Letras diferentes dentro de cada suelo indican diferencias significativas en altura.

Como se observa en la Fig. 11, el hecho de que el cociente sea menor a 1,0 en todos los sedimentos eólicos de los suelos, indica que hay una mayor proporción de Fe+Mg que de K. El cociente K/Fe+Mg tiende a decrecer a medida que aumenta la altura, es decir, el elemento indicador de minerales claros (K) disminuye frente a los elementos indicadores de minerales oscuros (Fe y Mg) a medida que crece la altura de recolección, en general, en todos los suelos.

La diferenciación más marcada en FA1 puede deberse a su mayor contenido de MO (3,7%) y a que posee mayor porcentaje de fracciones finas (limo y arcilla) frente a FA2 con quien comparte la misma clase textural (Tabla 1). Se podría pensar que la mejor agregación de este suelo, implica un mayor transporte de los elementos Fe y Mg vs K, principalmente a las mayores alturas. Sin embargo, esto no pudo constatarse en el suelo más fino (F), debido a que no se pudo calcular el cociente para todas las alturas analizadas. La ausencia de K en las mayores alturas no permite concluir tendencias de transporte para este suelo.

Los resultados presentados en el apartado 3.1 y 3.1.1 no permiten validar las hipótesis 1a y 1 b. Es probable que, a menores alturas no sea posible dilucidar una segregación de

elementos mientras que a mayores alturas se podría dar una mayor selección. Se debería ampliar el perfil de estudio para poder establecer con mayor certeza esta selección de minerales en altura. Por otra parte, la relación de minerales claros y oscuros decreció con la altura de muestreo indicando una mayor presencia de Fe y Mg (indicadores de minerales oscuros), a mayor altura que de K (indicador de minerales claros).

3.2. Distribución de elementos en sedimentos eólicos de suelos de diferentes texturas, con diferentes contenidos de humedad.

En la figura 12, se muestra la relación entre humedad del suelo y cantidad del elemento, en los primeros 5,7 cm altura, para cada suelo. Tanto para el elemento Fe (Fig. 12a) como para el K (Fig. 12b) la humedad del suelo se relacionó de manera lineal y negativa con la cantidad elemento (Tabla 3, $p < 0.05$). Es decir, que la pérdida de estos elementos disminuye a medida que aumenta la humedad del suelo. Estos resultados coinciden con los de otros autores que encontraron que a medida que aumenta la HR del suelo, disminuye la cantidad de sedimento erosionado, hasta hallar un valor crítico a partir del cual ese suelo deja de erosionarse (de Oro *et al.*, 2019). Esto se debe a que la humedad del suelo aumenta la cohesión entre las partículas dificultando su movimiento y, en consecuencia, la pérdida de los elementos del suelo (Fécan *et al.*, 1999; Li *et al.*, 2006; Bolte *et al.*, 2011).

Los suelos de texturas más gruesas y con bajos porcentajes de MO (AF y FA2) transportan una mayor concentración de elementos, Fe y K, en un mayor rango de HR que va desde 20 a 70% (valor donde alcanzarán su HR_c, Tabla 1). En suelos de texturas intermedias y finas, FA1 y F, el transporte de Fe y K fue relativamente menor debido a que el rango de HR es más pequeño, de 10 a 40%. Esto se puede visualizar en la Fig. 12 a y b donde para una misma HR, por ejemplo 25%, la cantidad medida de Fe y K (en mg cm⁻² de tarjeta) aumenta desde el suelo más fino (F), pasando por los de texturas intermedias (FA1 y FA2) y finalmente el de textura más gruesa (AF). También se puede apreciar que el Fe es el elemento que se pierde en mayor proporción para todos los suelos, en comparación con K.

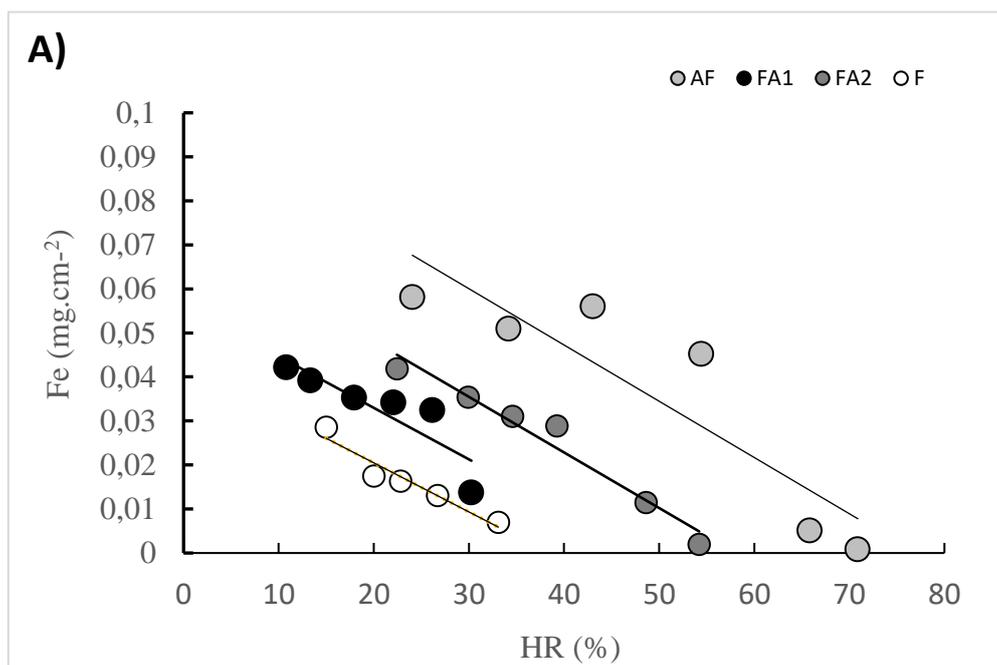
de Oro *et al.*, (2019) evaluaron la micro y macro agregación de los suelos y encontraron que aumenta de suelos de texturas gruesas a finas y de menor a mayor contenido de MO. Esto puede explicar por qué en suelos de texturas gruesas e intermedias con bajos contenidos de MO, como AF y FA2, si bien disminuye la concentración de elementos encontrados a

medida que aumenta la HR, las concentraciones son mucho más elevadas que las que presentaron los suelos de textura fina e intermedia y con alto % de MO (F y FA1).

A su vez poseen valores de HRC elevados, es decir que dejarán de erosionarse a partir de HR altas (> 55%), lo que le permite seguir transportando elementos a elevados contenidos de humedad. Además, de la cantidad de MO, el contenido de arcillas también es una de las principales propiedades que incrementan la agregación del suelo y por lo tanto aumentan su capacidad de retener agua (Galantini y Suñer, 2008; Colazo y Buschiazzo, 2010; Galantini *et al.*, 2016). Por lo que se estima que en suelos con estas características los elementos quedarán mayormente retenidos a medida que aumenta la HR del suelo, como es el caso del suelo F. Este suelo posee la mayor macro y micro agregación, el mayor contenido de MO y arcillas, dando lugar a menores pérdidas de Fe y K en un menor rango de valores de humedad. Prácticamente ambos elementos dejan de erosionarse con un 35% de humedad en el suelo (HRC). Los suelos finos poseen microagregados más estables que pueden retener más agua internamente, debido a que éstos últimos poseen mayor área superficial y forman junto a la MO, grandes fuerzas de cohesión entre las partículas (Funk *et al.*, 2008).

Con respecto al Mg, elemento que presentó un comportamiento diferente en general en todos los suelos, no se pudieron obtener regresiones significativas ya que no está presente para todos los contenidos de humedad analizados dentro de cada suelo.

Por lo expuesto anteriormente, es posible validar parcialmente la hipótesis 2 ya que la humedad en los primeros cm del suelo influye sobre la cantidad de material erosionado en altura, disminuyendo la proporción de K y Fe. Esto no se pudo comprobar para el Mg.



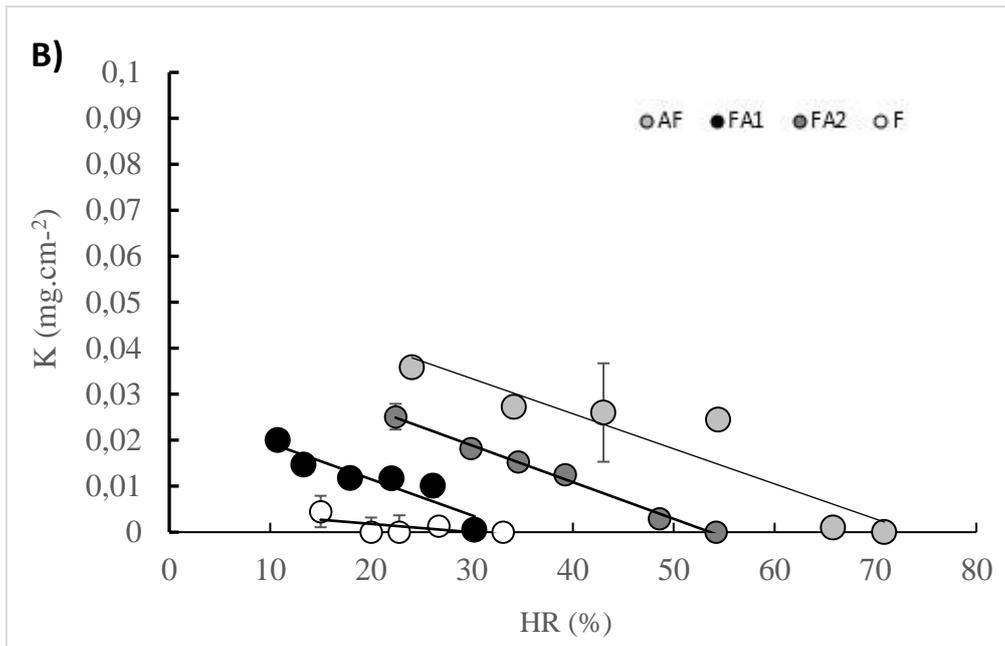


Figura. 12: Distribución de a) Fe y b) K en función de diferentes contenidos de humedad relativas (HR) para los cuatro suelos.

Tabla 3. Valor de los coeficientes de regresión entre la cantidad de Fe y K (mg.cm⁻² de tarjeta) hallados para los 4 suelos y el contenido de HR (%).

Tipo de Suelo	Fe				K			
	a	b	R ²	N	a	b	R ²	N
AF	-0.0013	0.098	0.80 [*]	6	-0.0008	0.056	0.87 ^{***}	6
FA2	-0.0013	0.073	0.96 ^{***}	6	-0.0008	0.043	0.99 ^{***}	6
FA1	-0.0012	0.056	0.77 [*]	6	-0.008	0.027	0.85 ^{**}	6
F	-0.0011	0.043	0.93 ^{**}	5	-0.0002	0.005	0.41 ^{ns}	5

a y b son constantes de regresión y R es el coeficiente de determinación de regresión (***) (***) (*) Significancia al 0.001, 0.01 y 0.05, respectivamente.
ns: no significativo (p>0.05)

4. CONCLUSIONES

Los ensayos realizados sobre los 4 suelos, Cramer (AF), Facultad Natural (FA1), Olivillos (FA2) y La Victoria (F), mostraron la distribución de K, Fe y Mg en sedimentos eólicos colectados entre 0 – 17,1 cm de altura.

El Fe, al igual que el K, decreció su concentración con la altura de recolección, es decir que estos elementos se transportan en sedimentos colectados en los primeros cm del suelo, principalmente de 0 a 11,4 cm. Mientras que el Mg solo fue detectado en las alturas superiores a 11,4 cm.

La concentración de Fe fue diferente entre suelos ($p < 0,05$) solo en los primeros 5,7 cm, siendo el suelo de textura más gruesa (AF) el que presentó la menor concentración seguido luego por los de texturas intermedias (FA1 y FA2) y finalmente el suelo fino (F). Para la misma altura la concentración de K solo varió en los suelos de texturas contrastantes. Mientras que para el Mg su concentración fue diferente entre suelos para el mayor rango de alturas. Podemos concluir que el movimiento de los elementos en altura se relaciona con las características de los suelos, como la clase textural, el contenido de MO y el % de arcilla, que condicionan la macro y micro agregación del suelo.

La relación entre minerales claros versus oscuros mostró un cociente menor a 1,0 en todos los suelos, lo que implica que hay mayor cantidad de Fe+Mg que de K en los sedimentos eólicos. A su vez, el cociente K/Fe+Mg tiende a disminuir a medida que aumenta la altura, es decir, el elemento indicador de minerales claros (K) decrece frente a los elementos indicadores de minerales oscuros (Fe y Mg) a medida que crece la altura de recolección, principalmente en los suelos de textura gruesa e intermedia. Si bien las alturas muestreadas no permiten establecer tendencias de transporte, los resultados obtenidos permiten pensar que la menor agregación de los suelos, implica un mayor transporte de los elementos Fe y Mg, y por ende de minerales oscuros o pesados, a mayores alturas. En el caso del suelo fino (F), no se pudo establecer una relación clara entre dichos minerales. Se debería ampliar el perfil de estudio para poder establecer con mayor certeza esta selección de minerales en altura.

La humedad afectó el transporte de los elementos del suelo. Incrementos en el contenido de humedad favorecieron la retención de los mismos, evitando así su pérdida del suelo.

Los suelos de texturas gruesas e intermedias con bajos contenidos de MO, como AF y FA2, transportan elementos a elevados contenidos de humedad (20 – 70%) mientras que los suelos finos lo hacen en un rango más acotado (10 – 40%).

Podemos concluir que tanto la distribución de los elementos en altura como el efecto de la humedad sobre los mismos está condicionado por el tipo de suelo, siendo su clase textural y la micro y macro agregación los factores más importantes que limitaron su movimiento.

5. Bibliografía

- Aimar, S.B. 2002. Estimaciones cualitativas y cuantitativas de pérdidas por erosión eólica en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Buenos Aires. Tesis de Maestría.
- Aimar, S.B., Buschiazzo, D.E. y Peinemann, N. 2003. Cuantificación de la erosión eólica en la Región Semiárida Pampeana Central (RSPC). En: Golberg, A. D. y A. G. Kin. Viento, suelo y planta. INTA, 130 pp.
- Aimar, S.B., Iturri, A., Rojas, J.M., Guevara, G. S., & Buschiazzo, D. E. 2010. Nutrient losses by wind erosion in an Entic Haplustoll of Chaco, Argentina. ICAR VII-II Jornadas Argentinas de Erosión Eólica, 5-9.
- Aimar, S.B. 2016. Calidad del material erosionado por el viento en suelos de Argentina. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. Tesis Doctoral.
- Avecilla, F., Panebianco, J.E. & Buschiazzo, D.E. 2015. Variable effects of saltation and soil properties on wind erosion of different textured soils. *Aeolian Res.* 18, 145–153.
- Azizov, M.T. 1977. Influence of soil moisture on the resistance of soil to wind erosion. *Soviet Soil Sci.* 1:105-108.
- Bagnold R.A. 1941. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen: London: 265.
- Bolte, K., Hartman, P., Fleige, H. & Horn, R. 2011. Determination of critical soil water content and matric potential for wind erosion. *Journal Soil Sediments*, 11: 209-220.
- Buschiazzo, D.E. y Taylor, V. 1993. Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. *Ciencia del Suelo*, 10(11), 46-53.
- Buschiazzo, D.E. y Aimar, S.B. 2003. Erosión Eólica: Procesos y predicción. En: Viento, Suelo y Planta. Golberg, Daniel A. y A.G. Kin. Eds. EEA Anguil, Ing. Agr. Guillermo Covas y Fac. De Agronomía, UNLPam. Ediciones INTA. Pp 23-34.

- Chen, W., Dong, Z., Li, Z., & Yang, Z. 1996. Wind tunnel test of the influence of moisture on the erodability of loessial sandy loam soils by wind. *Journal of Arid Environments*, 34: 391-402.
- Chepil, W.S. 1945. Dynamics of wind erosion: I. Nature of movement of soil by wind. *Soil Sci.* 60: 305-332.14.
- Chepil, W.S. 1956. Influence of moisture on erodibility by wind. *Soil Sci. Soc. Am Proc.* 20: 288-292.
- Chepil, W.S & Woodruff, N.P. 1963. The physics of wind erosion and its control. *Advances in Agronomy* 15: 211-302.
- Colazo, J.C., & Buschiazzo, D.E. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma*, 159(1-2), 228-236.
- Cornelis, W.M. & Gabriels, D. 2003. The effect of surface moisture on the entrainment of dune sand by wind: An evaluation of selected models. *Sedimentology* 50: 771-790.
- Cornelis, W.M., Gabriels, D. & Hartmann, R. 2004. A conceptual model to predict the deflation threshold shear velocity as affected by near-surface soil water: I. Theory. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1154-1161.
- Cornelis, W.M., Gabriels, D. & Hartmann, R. 2004. A conceptual model to predict the deflation threshold shear velocity as affected by near-surface soil water: II. Calibration and verification. *Soil Science Society of America Journal*, 68(4), 1162-1168.
- de Oro, L.A., & Buschiazzo, D.E. 2009. Threshold wind velocity as an index of soil susceptibility to wind erosion under variable climatic conditions. *Land Degradation & Development*, 20(1), 14-21.21.
- de Oro, L.A., Colazo, J.C. & Buschiazzo, D.E. 2016. RWEQ–Wind erosion predictions for variable soil roughness conditions. *Aeolian research*, 20, 139-146.
- de Oro, L.A., Colazo, J.C., Avecilla, F., Buschiazzo, D.E. & Asensio, C. 2019. Relative soil water content as a factor for wind erodibility in soils with different texture and aggregation. *Aeolian Research*, 37, 25-31.

- Di Rienzo, J.A., Balzarini, M., Casanoves, F., González, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. 2002. Infostat.
- Etchichury, M.C. y Tófaló, O.R. 2004. Mineralogía de arenas y limos en suelos, sedimentos fluviales y eólicos actuales del sector austral de la cuenca Chacoparanaense; regionalización y áreas de aporte. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(2), 317-329.
- Fecán, F., Marticorena, B. & Bergametti, G. 1999. Parametrization of the increase of the eolian erosion threshold wind friction velocity due to soil moisture for arid and semiarid areas. *Annale Geophysicae* 17: 149-157.
- Funk, R., Reuter, H.I., Hoffmann, C., Engel, W. & Öttl, D. 2008. Effect of moisture on fine dust emission from tillage operations on agricultural soils. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 33(12), 1851-1863.
- Galantini, J.A. y Suñer, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*, 25(1), 41-55.
- Galantini, J.A., Duval, M., Martínez, J.M., Mora, V., Baigorri, R., & García-Mina, J.M. 2016. Quality and quantity of organic fractions as affected by soil depth in an Argiudoll under till and no-till systems.
- Iturri, L.A., Funk, R., Leue, M., Sommer, M., & Buschiazzo, 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.
- Iturri, L.A., Funk, R., Sommer, M., & Buschiazzo, D.E. 2021. Elemental composition of wind-blown sediments from contrasting textured soils. *Aeolian Research*, 48, 100656.
- Li, X.L., Shen, X.D. & Zang, Y.J. 2006. Experimental analysis on soil wind-erosion amount in Siziwang Banner North Yinshan Mountain, Inner Mongolia. *Arid Land Geogr.* 29 (2), 292–296. al., 2006.
- Liu, L., Chen, J., Wang, H. & Chen, Y. 2001. A chemical index of weathering without effect of wind sorting: Fe/Mg ratios in the acid-insoluble phases of loess deposits. *Chinese Science Bulletin*, 46(16), 1384-1387.

- Lyles, L. 1988. Basic wind erosion processes. *Agric. Ecosystems Environ.* 22/23: 91-101.
- Mackey, K.R.M., Hunter, D., Fischer, E.V., Jiang, Y., Allen, B., Chen, Y., Liston, A., Reuter, J., Schladow, G. & Paytan, A. 2013. Aerosol-nutrient-induced picoplankton growth in lake Tahoe. *J. Geophys. Res.: Biogeoscience* 118 (3), 1054–1067.
- McKenna-Neuman, C. & Nickling, W.G. 1989. A theoretical and wind tunnel investigation of the effect of capillary water on the entrainment of sediment by wind. *Canadian J Soil Sci.* 69: 79-96
- Mota G.D. 2014. Contenido de humedad crítica del suelo como desencadenante de la erosión eólica en suelos de la Región Semiárida de Argentina. Universidad Nacional de La Pampa, La Pampa. Tesis de grado.
- Ramsperger, B., Peinemann, N. & Stahr, K. 1998. Deposition rates and characteristics of aeolian dust in the semi-arid and sub-humid regions of the Argentinean Pampa. *Journal of Arid Environments*, 39(3), 467-476.
- Ravi, S., D'odorico, P., Over, T.M. & Zobeck T.M. 2004. On the effect of air humidity on soil susceptibility to wind erosion: The case of air-dry solis. *Geophysycal research Letters* 31: L09501 10.1029/ 2004GL019485.
- Ravi, S., Zobeck T.M., Over T.M., Okin, G.S. & D'odorico, P. 2006. On the effect of moisture bonding forces in ari-dry soils on threshold friction velocity of wind erosion. *Sedimentology* 53: 597-609.
- Saleh, A. & Fryrear, D.W. 1995. Threshold wind velocities of wet soils as affected by wind blown sand. *Soil Sci.* 160: 304-309.37.
- Sankey, J.B., Germino, M.J., Benner, S.G., Glenn, N.F. & Hoover, A.N. 2012. Transport of biologically important nutrients by wind in an eroding cold desert. *Aeolian Research*, 7, 17-27.
- Schlichting, E., Blume, H.P., Stahr, K. 1985. *Bodenkundliches Praktikum*. Paul Parey Verlag, Hamburg-Berlin.
- Scoppa, C.O. y Di Giacomo, R.M. 1998. Edafogénesis pampeana. *Anales de la ANAV*, 52.

- Tarbuck, E.J. & Lutgens, F.K. 2005. Ciencias de la Tierra: Una introducción a la Geología física. 8ª ed. 710 pp.
- Webb, N.P., Strong, C.L., Chappell, A., Marx, S.K., & McTainsh, G.H. 2013. Soil organic carbon enrichment of dust emissions: magnitude, mechanisms and its implications for the carbon cycle. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(14), 1662-1671.
- Zhang, Z., Goldstein, H.L., Reynolds, R., Hu, Y., Wang, X., Zhu, M. 2018. Phosphorous speciation and solubility in aeolian dust deposited in the interior American West. *Environ. Sci. Technol.* 52 (5), 2658–2667.