

REMOCIÓN DE CARBONO ORGÁNICO, NITRÓGENO Y FÓSFORO POR EROSIÓN EÓLICA EN UN HAPLUSTOL ÉNTICO

Juan Cruz Colazo ^{1*}; Daniel Eduardo Buschiazzi ²

1 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Universidad Nacional de San Luis, Villa Mercedes

2 Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa, Santa Rosa

RESUMEN

Conocer la dinámica de pérdida de nutrientes debido a la severidad de las tormentas eólicas contribuiría a entender este proceso y a predecir el efecto de eventos extremos debido al calentamiento global. Es por ello que el objetivo del presente trabajo fue cuantificar la concentración de carbono orgánico (CO), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) en el sedimento erosionado, sus relaciones de enriquecimiento y el cambio en la concentración de estas especies químicas en la superficie del suelo, luego de eventos simulados en un túnel de viento, utilizando velocidades y duraciones contrastantes. En un Haplustol éntico se simularon dos velocidades de viento: 10 y 20 m s⁻¹ y dos duraciones: 1 y 3 min. Se analizó el flujo de masa horizontal, la concentración de NT, CO y PT en el sedimento erosionado, su relación de enriquecimiento (RE) y los cambios de concentración de estos elementos en la superficie del suelo antes y después de las simulaciones. Aumentó la concentración de NT con la velocidad de viento más baja, y la de PT con la velocidad de viento menor y de mayor duración. Sin embargo, el efecto de la velocidad y la duración de los eventos sobre la relación de enriquecimiento y la relación de concentración superficial, antes y después de las simulaciones, no determinaron una remoción selectiva de CO, NT y PT. A pesar que la relación de enriquecimiento de estas especies químicas fueron mayores a bajas velocidades, se pudo observar que a altas velocidades y cortas duraciones, el sedimento resultaba empobrecido en PT (RE<1), con mayores concentraciones en la superficie del suelo luego de dichos eventos.

Palabras claves: degradación del suelo, desertificación, pérdida de nutrientes, túnel de viento.

ORGANIC CARBON, NITROGEN AND PHOSPHOROUS REMOVAL BY WIND EROSION IN AN ENTIC HAPLUSTOLL

ABSTRACT

The knowledge of the dynamics of nutrient loss due to the severity of wind storms may contribute to understand their mechanisms and predict the effect of extreme events expected to increase due to global warming. So, our objective was to quantify the concentration of organic carbon (CO), total nitrogen (NT) and total phosphorus (PT) in the eroded sediment, their relative enrichment ratios and the change in the concentration of these chemical species on the soil surface after wind erosion simulations with a wind tunnel using contrasting speeds and durations. For this, in an Entic Haplustoll we simulated two wind speeds: 10 and 20 m s⁻¹ and two durations: 1 and 3 min. We analysed the horizontal mass flow, the sediment concentration of NT, CO, and PT, the sediment enrichment ratios (RE), and surface concentration changes before and after the simulations. The sediments had a higher concentration of NT in the lowest velocity and of PT in the lowest velocity and longest duration. However, the effect of the speed and duration of the events on the enrichment ratios and the change in surface concentrations before and after the simulations, did not determine a selective removal of CO, NT and PT. Although the enrichment ratios of these chemical species were higher at low speeds, it was observed that at high

* Autor de contacto:
colazo.juan@inta.gob.ar

Recibido:
04-06-21

Recibido con revisiones:
21-03-22

Aceptado:
21-03-22

speeds and short durations, the sediment is depleted in PT ($RE < 1$), with higher concentrations in the soil surface after the events.

Keywords: soil degradation, desertification, nutrient loss, wind tunnel.

INTRODUCCIÓN

La remoción de nitrógeno y fósforo por erosión eólica produce pérdidas en la productividad de los cultivos (Leys, 2006) y daños ambientales, como la eutrofización de los cuerpos de agua (Godliski et al., 2008). La estimación de las tasas de erosión eólica de rotaciones agrícolas típicas en La Pampa, muestra que el costo de reposición de estos nutrientes representaría hasta el 50% del costo de producción (Lorda, 2009). Además, debido a la aleatoriedad climática de la región, la pérdida de estos nutrientes se encontraría agravada por la poca eficiencia en la fertilización, lo que llevaría a acentuar el balance negativo de nutrientes en los suelos cultivados y su redistribución a sitios con remanentes de vegetación natural (Field et al., 2012; Iturri et al., 2016).

Los procesos de erosión eólica también afectan el ciclo del carbono, debido a la remoción, transporte y depósito de este elemento junto al sedimento (Webb et al., 2012). En suelos formados en ambientes eólicos, la erosión acelerada en cultivos agrícolas produce la pérdida de carbono orgánico (CO), principalmente en el polvo ($< 63 \mu\text{m}$), el cual se encuentra enriquecido con esta especie química (Buschiazzo y Funk, 2014). Es por ello que el estudio de los factores que regulan la pérdida de este elemento por erosión eólica es importante para la cuantificación real del secuestro de carbono de diferentes tecnologías de manejo, así como también para el planteo de esquemas de manejo que disminuyan la degradación de las tierras (Chappell y Baldock, 2016; Chappell et al., 2019).

La pérdida de nutrientes por erosión eólica ha sido estudiada mediante mediciones a campo en distintos ambientes (Abascal et al., 2019; Larney et al., 1998; Leys y McTainsh, 1994; Visser et al., 2004;). La cantidad y el tipo de nutrientes removidos depende principalmente de la altura de los colectores, el manejo y el tipo de suelo (Zobeck y Fryrear, 1986; Zobeck et al., 1989). También existen evidencias de que la velocidad y la duración de las tormentas, modifican la proporción de nutrientes en el sedimento recolectado.

Comparando las pérdidas de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) en años con vientos de diferentes intensidades, Buschiazzo et al. (2007) hallaron que las pérdidas de NT fueron mayores durante el año con altas velocidades de viento, mientras que con eventos de menores velocidades, las pérdidas de PT fueron más importantes. Estudios que relacionaron la concentración de PT en el sedimento erosionado y la duración de los eventos, encontraron una asociación negativa entre estas variables (Aimar, 2002).

Posiblemente, estos resultados se deban a una interacción de la velocidad y duración de los eventos con la tendencia de estos elementos a acumularse en agregados de diferentes tamaños. Prueß et al. (1992) determinaron que el fósforo inorgánico se acumula en las fracciones finas, principalmente en la arcilla. En el caso del NT y el CO, su distribución en agregados depende del manejo, acumulándose en agregados intermedios, y disminuyendo su tamaño a medida que se incrementa la intensidad de laboreo (Fernández et al., 2010; Méndez et al., 2006; Noellemeyer et al., 2008). Conocer la dinámica de remoción y transporte de estos nutrientes en función de la severidad de las tormentas contribuiría a entender el transporte de nutrientes por erosión eólica. En este sentido, evaluar las velocidades de viento y duraciones de eventos contrastantes permitirá predecir el efecto de eventos extremos debido al calentamiento global (Gastineu y Soden, 2009). Nuestra hipótesis es que tormentas de mayor velocidad pero corta duración erosionarán relativamente mayor proporción de CO y NT que de PT, mientras que tormentas de menor velocidad y larga duración tendrán un comportamiento inverso.

Es por ello que el objetivo de éste trabajo fue cuantificar la concentración de CO, NT y PT en el sedimento erosionado, sus tasas relativas de enriquecimiento y el cambio en la concentración de estas especies químicas en la superficie del suelo luego de eventos simulados en un túnel de viento, utilizando velocidades y duraciones contrastantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el campo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, ubicado 8 km al N de la ciudad de Santa Rosa (36°30'S y 64°30'W). El suelo se clasifica como un Haplustol éntico, franco fino térmico (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 1980). El contenido de materia orgánica de los primeros 20 cm fue 16 g kg⁻¹ y la proporción granulométrica de 700 g kg⁻¹ de arena, 190 g kg⁻¹ de limo y 110 g kg⁻¹ de arcilla. La distribución de agregados de los primeros 2,5 cm determinada con tamiz rotativo fue la siguiente: > 2 mm = 78,5%; 2-0,42 mm = 5,5% y <0,42 mm = 16%. El manejo histórico del lote fue con labranza convencional y cultivos anuales. Al momento de la realización de las simulaciones de viento, no existió cobertura vegetal en la superficie y el nivel de humedad en el suelo fue cercano a punto de marchitez permanente.

Diseño experimental y determinaciones

Para simular los eventos erosivos se utilizó un túnel de viento portátil. Para mayor información sobre sus características y operación ver Colazo et al. (2016). El diseño experimental fue factorial doble con velocidad y duración del viento como factores principales con tres repeticiones. Las velocidades de viento seleccionadas fueron 10 (V10) y 20 (V20) m s⁻¹ (medidos a 0,6 m), para simular eventos de alta y baja velocidad, respectivamente. Se seleccionaron estos valores ya que reflejan las condiciones normales durante eventos erosivos en la región de estudio (Casagrande y Vergara, 1996). Las duraciones de las simulaciones seleccionadas fueron de 1 (D1) y 3 (D3) min. Éstas fueron elegidas en función de la dinámica temporal de la pérdida y agotamiento del material disponible para ser erosionado (Liu et al., 2003).

Muestras superficiales de suelo (1 cm) fueron tomadas de la zona de medición dentro del túnel antes y después de cada simulación. El material erosionado fue recogido en un colector al final del túnel de viento y pesado en balanza de precisión. Para ello se utilizó un colector de abertura continua de 3 mm de ancho y 1 m de altura (Van Pelt et al., 2010). En cada una de las muestras fue determinado el contenido de CO por combustión seca utilizando un analizador LECO, el contenido de NT por el método de Kjendahl y el contenido de PT por digestión ácida y lectura por espectrometría de emisión por plasma inducido (Sparks, 1996).

Se calculó el flujo de masa horizontal (q), expresado en g m² min⁻¹, para cada uno de los elementos, según la Ec. 1, donde P_s (g) es el peso del sedimento recolectado, S (m²) la superficie de medición, T (min) el tiempo de medición y C (g kg⁻¹) la concentración de cada uno de los elementos en el sedimento.

$$q = \frac{P_s}{S \times T} \times C \quad (1)$$

La relación de enriquecimiento (RE) (Zobeck et al., 1986) fue calculada como la relación entre la concentración de cada elemento en el sedimento erosionado y aquella en la superficie del suelo previa a la simulación de viento. También se cuantificó el cambio producido en la concentración de cada elemento en la superficie del suelo posterior (P) y anterior (A) a cada simulación mediante un cociente (P/A), siendo CO_{P/A}, NT_{P/A} y PT_{P/A} dicho cociente para CO, NT y PT, respectivamente.

Análisis estadístico

Los efectos medios de los tratamientos en la concentración en el sedimento erosionado, el flujo de masa horizontal, la relación de enriquecimiento y el cambio en la concentración superficial de CO, NT y PT fueron analizados con un ANOVA doble con velocidad y duración como factores principales. Cuando existió interacción, las velocidades fueron analizadas dentro de cada duración mediante pruebas t de Student. Estas pruebas fueron desarrolladas utilizando un nivel de significación del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de CO, NT y PT en el sedimento erosionado

La Figura 1 muestra la concentración de CO, NT y PT en el sedimento erosionado en función de la combinación de dos velocidades y dos tiempos de simulación. No existió interacción velocidad x tiempo para la concentración de CO y NT en el sedimento ($P > 0,05$). Esto significa que estos factores pueden ser analizados

independientemente en el rango de valores testeados. No existió efecto de la velocidad ni de la duración del viento en la concentración de CO ($P > 0,05$), siendo su valor medio de $16,7 \pm 3,4 \text{ g kg}^{-1}$. Estos resultados no coinciden con los hallados por Aimar (2002), quien encontró una relación negativa entre la concentración de CO en el sedimento recolectado por encima de los 50 cm y la velocidad del viento en distintos eventos erosivos. Probablemente estas diferencias se deban a que esta autor utilizó colectores que permitieron separar sedimento que se movió exclusivamente por suspensión (colector a 1,5 m) o con una pequeña fracción por saltación (colector a 0,5 m), mientras que el colector utilizado en nuestro estudio recogió partículas que se movieron desde la superficie hasta el primer metro de altura, y por lo tanto, principalmente por rodadura y saltación.

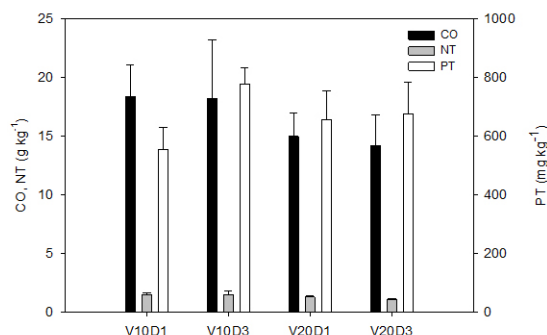


Figura 1. Concentración de carbono orgánico (CO), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) en el sedimento erosionado en función de la combinación de dos velocidades: 10 m s^{-1} (V10), 20 m s^{-1} (V20); y dos tiempos de simulación: 1 min (D1) y 3 min (D3). Las barras indican el desvío estándar ($n = 3$).

Figure 1. Concentration of organic carbon (CO), total nitrogen (NT) and total phosphorus (PT) in the eroded sediment in function of the combination of two wind velocities: 10 m s^{-1} (V10), 20 m s^{-1} (V20); and two times of simulation: 1 min (D1) y 3 min (D3). Bars indicate the standard deviation ($n = 3$).

La concentración de NT en el sedimento fue de $1,5 \pm 0,2 \text{ g kg}^{-1}$ en V10 y de $1,2 \pm 0,1 \text{ g kg}^{-1}$ en V20 ($P < 0,05$). Estos resultados no coinciden con los encontrados por Buschiazzo et al. (2007), quienes determinaron un incremento en la concentración media de NT en el sedimento erosionado a medida que aumentaba la velocidad promedio de los vientos en los eventos analizados. Esto podría deberse a que estos autores utilizaron datos provenientes de diferentes sistemas de labranza, mientras que en el presente trabajo existió un solo manejo. Ha sido demostrado que la acumulación de NT en estos suelos es dependiente del manejo, estando más concentrados los agregados más gruesos ($>250 \mu\text{m}$) en suelos no cultivados, siendo mayor la concentración en agregados finos a medida que aumenta la intensidad de uso y laboreo (Méndez et al., 2006). Esto indicaría que en esta superficie, NT estaría asociado más a agregados finos que a gruesos, o más livianos que pesados (Iturri et al., 2021). No existió efecto de la duración de los eventos ($P > 0,05$).

La interacción velocidad x tiempo para la concentración de PT fue significativa ($P < 0,05$) al igual que las duraciones, en cambio, no hubo efecto de la velocidad en la concentración de PT en el sedimento ($P > 0,05$). La concentración de PT fue mayor en D3 para la velocidad V10 ($P < 0,05$), mientras que fue similar entre duraciones para V20. Estos resultados coinciden con los encontrados por Méndez et al. (2006) pero no coinciden con los encontrados por Aimar (2002). Esta última autora explica que la asociación negativa entre la concentración de PT y la velocidad del viento se debería a que la selección del viento produce que los agregados más pequeños sean transportados al comienzo del evento quedando en el suelo los agregados de mayor tamaño y concentraciones más bajas de PT. Probablemente estas diferencias se deban a que el aumento de duración en V10 produzca la energía necesaria para que se inicie la emisión de partículas finas, con mayor concentración de PT, pero no la necesaria para la movilización de partículas más gruesas, con menor concentración de PT (Gillette y Walker, 1977).

Flujo horizontal de masa horizontal total (q), de carbono orgánico (q_{CO}), nitrógeno total (q_{NT}) y fósforo total (q_{PT})

El flujo de masa horizontal total (q) y de los compuestos analizados se muestra en la Tabla 1. Existió interacción velocidad x tiempo para q ($P < 0,05$). Esto significa que el cambio en el nivel de un factor va a depender del nivel del otro factor involucrado. Para analizar la evolución de la deflación de partículas en función de la duración del evento, comparamos los niveles de duración en cada nivel de velocidad. Solamente

existieron diferencias entre duraciones en V20, donde q en D3 se redujo un 50% ($P < 0,05$). Disminuciones similares en q al aumentar el periodo de simulación fueron encontradas por Liu et al. (2003), quienes explicaron este fenómeno por la acumulación residual de partículas más gruesas que se produce a medida que la deflación avanza durante el evento erosivo. Esto significa que si bien q disminuyó en V10, el aumento en la duración a esta velocidad no sería suficiente para limitar el flujo de masa, lo que supondría que todavía existe material disponible para continuar erosionándose y por lo tanto no existe una acumulación residual importante de partículas gruesas.

Tabla 1. Flujo de masa horizontal: total (q), de carbono orgánico (q CO), de nitrógeno total (q NT) y de fósforo total (q PT), en función de la velocidad (V) y de la duración (D) de los eventos simulados. $n = 3$.

Table 1. Horizontal mass flux: total (q), of organic carbon (q CO), of total nitrogen (q NT) and of total phosphorous (q PT), in function of velocity (V) and duration (D) of simulated wind events. $n = 3$.

V	D	q	q CO	q NT	q PT
(m s ⁻¹)	(min)	(g m ⁻² min ⁻¹)			
10	1	1,5	0,027	0,002	0,008
	3	0,8	0,012	0,001	0,006
20	1	25,2	0,374	0,033	0,163
	3	12,8	0,183	0,015	0,089

Existió interacción velocidad x tiempo para q CO, q NT y q PT ($P < 0,05$). El q CO fue mayor en D1 en ambas velocidades, q NT fue mayor en D1 en V20 y q PT fue similar entre duraciones en ambas velocidades. Los efectos de la velocidad y la duración sobre estos parámetros son productos de la combinación de estos factores sobre q y sobre la concentración de estos compuestos en el sedimento. El efecto de la duración en el flujo horizontal de CO, q CO, es explicado por el flujo de masa horizontal total, q , mientras que el mayor efecto de la D1 sobre el q NT se explicaría por un aumento de q y una mayor concentración de NT en el sedimento. La falta de diferencias en el flujo horizontal de PT, q PT, se explica ya que a mayor duración existe un menor q , pero una mayor concentración de PT en el sedimento.

Relación de enriquecimiento (RE)

Para las RE de las tres especies químicas consideradas no existió interacción velocidad x tiempo ($P > 0,05$), lo que significa que el efecto de la duración y la intensidad del evento son independientes entre sí en el rango de valores testeado. El valor medio de RE CO en los eventos de alta velocidad fue 1,2 y el valor medio de los eventos de baja velocidad fue de 2,2 ($P < 0,05$) (Figura 2). No existieron diferencias debido al efecto de la duración de la simulación ($P > 0,05$). Estos valores se encuentran dentro del rango de valores reportados en estos suelos y en otros ambientes (Aimar, 2002; Webb et al., 2013). Los mismos indicarían que el sedimento se encuentra enriquecido, siendo este enriquecimiento mayor a bajas velocidades. Esto podría deberse a que, con velocidades menores, existe una mayor remoción de agregados más finos y livianos, ricos en materiales orgánicos y por lo tanto en CO (Iturri et al., 2021).

El valor medio de RE NT en los eventos de alta velocidad fue 1,03 y el valor medio de los eventos de baja velocidad fue de 1,8 ($P < 0,05$). Estos valores son similares a los reportados por Larney et al. (1998) y por Van Pelt y Zobeck (2007) e inferiores a los encontrados por Buschiazzo et al. (2007) quienes encontraron valores de RE NT de 2 a 5, utilizando colectores ubicados por encima del metro de altura.

El valor medio de RE PT en V20 fue 1 y el valor medio en V10 fue 1,5 ($P < 0,05$). Los valores son inferiores a los encontrados por Buschiazzo et al. (2007), quienes encontraron valores de enriquecimiento entre 1,5 y 8. Estos autores también reportaron una disminución de RE PT en función del aumento de la velocidad. No hubo efecto de la duración en RE PT ($P > 0,05$).

Cambio en la concentración de CO, NT y PT en el suelo superficial luego de la simulación de un evento erosivo

No existió efecto ni de la velocidad ni de la duración del evento erosivo en el cociente $CO_{P/A}$ ($P > 0,05$). El valor medio de este cociente fue $1,02 \pm 0,11$. Los valores de este cociente fueron mayores a 1 en todas las situaciones excepto en el tratamiento de menor intensidad y menor velocidad. El cociente $NT_{P/A}$ no fue afectado por la velocidad ni por la duración de las tormentas ($P > 0,05$), siguiendo una tendencia similar a la de CO. El valor medio del mismo fue de $0,99 \pm 0,16$. El cociente $PT_{P/A}$ tampoco fue afectado por la veloci-

dad ni por la duración de las simulaciones ($P > 0,05$), sin embargo mostró una tendencia diferente a $CO_{P/A}$ y $NT_{P/A}$. El valor medio de este cociente fue de $1,3 \pm 0,4$. En todas las situaciones presentó valores mayores a 1, siendo superiores en las simulaciones de menor duración (Figura 2).

Discusión General

La Figura 2 muestra a RE y el cociente entre la concentración del material superficial posterior y anterior a la simulación ($X_{P/A}$) para CO, NT y PT en función de las dos combinaciones contrastantes de velocidad y duración de la simulación. Analizando la RE y el $X_{P/A}$ no observamos un patrón de pérdida diferencial de nutrientes de CO, NT y PT entre eventos de alta velocidad y corta duración con respecto a eventos de baja velocidad y larga duración. Estos resultados difieren con los encontrados por Buschiazzo et al. (2007), quienes analizaron aisladamente las partículas que se mueven por suspensión (a más de 1 m de altura). Ensayos en túnel de viento han mostrado que el contenido de nutrientes y el tamaño de partícula de los sedimentos recolectados en los primeros 0,5 m de altura son similares a los del material parental (Leys, 2006).

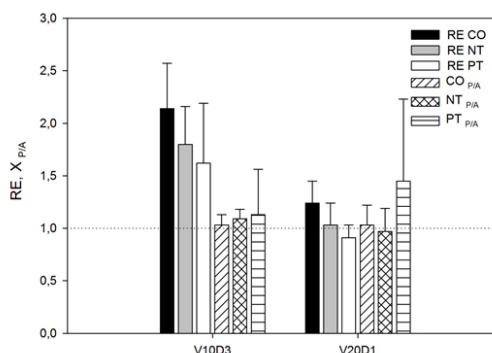


Figura 2. Relación de enriquecimiento (RE) y relación entre la concentración en la superficie luego y antes de la simulación del evento ($X_{P/A}$) de carbono orgánico (RE CO, $CO_{P/A}$), nitrógeno total (RE NT, $NT_{P/A}$) y fósforo total (RE PT, $PT_{P/A}$), en función de la simulación de un evento con una velocidad de 10 m s^{-1} durante 3 minutos (V10D3) y otro con una velocidad de 20 m s^{-1} durante 1 minuto (V20D1). Las barras indican el desvío estándar ($n=3$).

Figure 2. Enrichment ratio and relationship between the concentration in the soil surface after and before the wind erosion simulation ($X_{P/A}$) of organic carbon (RE CO, $CO_{P/A}$), total nitrogen (RE NT, $NT_{P/A}$) and total phosphorous (RE PT, $PT_{P/A}$), in function of the simulation of an event with a wind velocity of 10 m s^{-1} during 3 minutes (V10D3) and another with a wind velocity of 20 m s^{-1} during 1 minute (V20D1). Bars indicate the standard deviation ($n = 3$).

Observamos que los valores medios de $CO_{P/A}$ y de $NT_{P/A}$ son ≈ 1 a diferencia de PT. El cociente $PT_{P/A}$ fue mayor a 1, en particular en V20D1 donde se corresponde con una $RE < 1$. El valor de RE inferior a 1 puede interpretarse por la remoción de partículas o agregados más gruesos producto de altas velocidades, con una concentración más baja de PT que la de la superficie antes de producirse la simulación. Posteriormente a la deflación de partículas con baja concentración de PT, la concentración de la superficie aumentaría, lo que se refleja en valores mayores a 1 en $PT_{P/A}$. Esto se debería, en primer lugar, a que una gran proporción del sedimento se erosiona por saltación, transportando material del tamaño de las arenas, y por lo tanto pobre en PT. En segundo lugar, que partículas del tamaño de las arcillas, con altos contenidos de PT hayan quedado remanentes en la superficie luego de la simulación del evento erosivo, indicaría la acumulación de estas partículas en agregados con mayor resistencia a ser erosionados por el viento y por lo tanto de mayor tamaño. Existen evidencias que indicarían la posibilidad de la arcilla de agregarse en tamaños más gruesos en estos suelos (Colazo y Buschiazzo, 2015).

CONCLUSIONES

Eventos erosivos con diferentes intensidades y duraciones determinaron diferencias en las concentraciones de NT y PT en el sedimento erosionado. Los sedimentos tuvieron mayor concentración de NT en la velocidad más baja, y de PT en la velocidad más baja y mayor duración. Sin embargo, el efecto de la velocidad y la duración de los eventos sobre la relación de enriquecimiento y concentración, antes y después de las simulaciones, no determinaron pérdidas diferenciales entre CO, NT y PT, lo cual difiere de la hipótesis planteada. Si bien las relaciones de enriquecimiento de estas especies químicas son mayores a bajas velocidades, se observa que a altas velocidades y cortas duraciones, el sedimento se encuentra empobrecido en PT,

con mayores concentraciones en el material original luego de los eventos. Esto indicaría que la pérdida de estos elementos depende de las características superficiales, (agregación) y de la capacidad de liberación por parte del viento (velocidad).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por las siguientes instituciones: el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). A Juan de Dios Herrero por sus comentarios y observaciones en el manuscrito.

REFERENCIAS

- Abascal, S., Buschiazzo, D. E. y Asensio, C. (2019). Wind-eroded nitrogen balance in an Entic Haplustoll under different tillage conditions. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18, 2635 – 2641.
- Aimar, S.B. (2002). *Estimaciones cualitativas y cuantitativas de pérdidas por erosión eólica en suelos de la región semiárida pampeana central*. [Tesis de Magister, Universidad Nacional del Sur]. Bahía Blanca, Argentina.
- Buschiazzo, D.E. y Funk, R. (2014). Wind erosion of agricultural soils and the carbon cycle. En S. A. Banwat, E. Noellemeyer y E. Milne (Eds.). *Soil Carbon Science, Management and Policy for Multiple Benefits*. CABI.
- Buschiazzo, D. E., Zobeck, T. M. y Abascal, S. A. (2007). Wind erosion quantity and quality of an Entic Haplustoll of the semi-arid pampas of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 69, 29-39.
- Casagrande, G. y Vergara, G. (1996). Caracterización climática de la región. En D. E. Buschiazzo, J. L. Panigatti y F. J. Babinec (eds.). *Labranzas en la región pampeana*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
- Chappell, A. y Baldock, J. (2016). Wind erosion reduces soil organic carbon sequestration falsely indicating ineffective management practices. *Aeolian Research*, 22, 107-116.
- Chappell, A., Webb, N., Leys, J., Waters, C., Orgill, S. y Eyres, M. (2019). Minimising soil organic carbon erosion by wind is critical for land degradation neutrality. *Environmental Science and Pollution Research*, 93, 43-52.
- Colazo, J.C. y Buschiazzo, D.E. (2015). The impact of agriculture on soil texture due to wind erosion. *Land Degradation and Development*, 26, 62-70.
- Colazo, J. C., Méndez, M., de Oro, L., AVECILLA, F., Panebianco, J. E. y Buschiazzo, D. E. (2016). Diseño de un túnel de viento portátil para el estudio de la erosión eólica. *Ciencia del suelo*, 34(2), 341-347.
- Fernández, R., Quiroga, A., Zoratti, C. y Noellemeyer, E. (2010). Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. *Soil and Tillage Research*, 109, 103-109.
- Field, J., Bresheard, D., Whicker, J. y Zou, C. (2012). Sediment capture by vegetation patches: Implications for desertification and increased resource redistribution. *Journal of Geophysical Research*, 117, G01033.
- Gastineu, G. y Soden, B. J. (2009). Model projected changes of extreme wind events in response to global warming. *Geophysical Research Letters*, 36, L10810.
- Gillette, D. A. y Walker, T. (1977). Characteristics of airborne particles produced by wind erosion of sandy soil, high plains of west Texas. *Soil Science*, 123, 97-110.
- Godliski, F., Hao, X., Chang, C. y Lindeman, J. (2008). Nutrient supply to soil and surface water from deposition of wind-erodible-sized soil aggregates. *Soil Science*, 173(3), 214-222.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (1980). *Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa*.
- Iturri, L. A., AVECILLA, F., Hevia, G. y Buschiazzo, 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.
- Iturri, L. A., Funk, R., Sommer, M. y Buschiazzo, D. E. (2021). Elemental composition of wind-blown sediments from contrasting textured soils. *Aeolian Research*, 48, 100656.
- Larney, F. J., Bullock, M. S., Janzen, H. H., Ellert, B. H. y Olson, E. C. S. (1998). Wind erosion effects on nutrient redistribution and soil productivity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 53(2), 133-140.
- Leys, J. (2006). Erosion by wind, effects on soil quality and productivity. En R. Lal (Ed.). *Encyclopedia of Soil Science*. (2nd ed). Taylor y Francis.
- Leys, J. y Mc Tainsh, G. (1994). Soil loss and nutrient decline by wind erosion. Cause for concern. *Australian Journal of Soil and Water Conservation*, 7(3), 30-35.
- Liu, L. Y., Shi, P. J., Zou, X. Y., Gao, S. Y., Erdon, H., Yan, P., Li, X. Y., Dong, Z. B. y Wang, J. H. (2003). *Short-term dynamics of wind erosion of*

three newly cultivated grassland soils in northern China. Geoderma, 115, 55-64.

- Lorda, H.O. (2009). Incidencia económica de la degradación del suelo por erosión eólica. *El caso de los sistemas productivos de la estepa pampeana semiárida*. [Tesis de magister, Universidad Nacional del Sur]. Bahía Blanca, Argentina.
- Méndez, M. J., de Oro, L. A., Panebianco, J. E., Colazo, J. C. y Buschiazzo, D. E. (2006). Organic carbon and nitrogen in soils of semiarid Argentina. *Journal of Soil and Water Conservation, 61*(4), 230-235.
- Noellemeyer, E., Frank, F., Álvarez, C., Morazzo, G. y Quiroga, A. (2008). Carbon contents and aggregation related to soil physical and biological properties under a land-use sequence in the semiarid region of central Argentina. *Soil and Tillage Research, 99*, 179-190.
- Prüß, A., Buschiazzo, D. E., Schlichting, E. y Stahr, K. (1992). Phosphate Distribution in Soils of the Central Argentinian Pampa. *Catena, 19*, 135-145.
- Sparks, D. L. (Ed.). (1996). Methods of soil analysis. Part 3. *Chemical Methods*. SSSA Books series 5. ASA y SSSA.
- Van Pelt, R. S. y Zobeck, T. M. (2007). Chemical constituents of fugitive dust. *Environmental Monitoring and Assessment, 130*, 3-16.
- Van Pelt, R. S., Zobeck, T. M., Baddock, M. C. y Cox, J. J. (2010). Design, construction, and calibration of a portable boundary layer wind tunnel for field use. *Transactions of the ASABE, 53*(5), 1413-1422.
- Visser, S. M., Stroosnijder, L. y Chardon, W. J. (2004). Nutrient losses by wind and water, measurement and modelling. *Catena, 63*, 1-22.
- Webb, N. P., Chappell, A., Strong, C., Marx, S. K. y McTainsh, G. (2012). The significance of carbon-enriched dust for global carbon accounting. *Global Change Biology, 18*, 3275-3278.
- Webb, N. P., Strong, C., Chappell, A., Marx, S. K. y McTainsh, G. (2013). Soil organic carbon enrichment of dust emissions: magnitude, mechanisms and its implications for the carbon cycle. *Earth Surface Processes and Landforms, 38*, 1662-1671.
- Zobeck, T. M. y Fryrear, D. W. (1986). Chemical and Physical Characteristics of Windblown Sediment. II. Chemical Characteristics and Total Soil and Nutrient Discharge. *Transactions of the ASAE, 29*(4), 1037-1041.
- Zobeck, T. M., Fryrear, D. W. y Petit, R. D. (1989). Management effects on wind-eroded sediment and plant nutrients. *Journal of Soil and Water Conservation, 44*(2), 160-163.