



FRACCIÓN EROSIONABLE DEL SUELO EN EL OESTE BONAERENSE BAJO SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA CONTRASTANTES

MAGDALENA DRUILLE^{1*}; MARIO CASTIGLIONI² & JUAN MARCELO MASSOBRIO²

Recibido: 10-10-12

Recibido con revisiones: 14-02-13

Aceptado: 20-02-13

RESUMEN

La región Sub-húmeda Pampeana (RSP) posee características edafo-climáticas que le confieren a sus tierras una gran fragilidad al proceso de degradación por erosión eólica. La expresión de dicho proceso dependerá de la implementación de aquellos usos de la tierra que favorezcan la presencia en superficie de la fracción de agregados erosionables (FE). En suelos con escaso contenido de arcilla, como los encontrados en la RSP, la materia orgánica edáfica (MO) es un elemento importante para el mantenimiento de estructuras estables. En la RSP son escasos los estudios a escala de lote, acerca de cómo es la distribución espacial de la FE bajo usos contrastantes de la tierra. Los objetivos del presente trabajo son: 1) comparar la FE y el contenido de MO superficial de suelos correspondientes a dos lotes ubicados en el oeste bonaerense, con sistemas de uso de la tierra contrastantes; 2) investigar para los dos usos de la tierra estudiados, el grado de vinculación entre ambas variables; 3) evaluar y contrastar su distribución en el espacio en los dos lotes bajo análisis. El trabajo se realizó en el partido de Trenque Lauquen, sobre situaciones bajo uso ganadero y agrícola. En ambas se tomaron muestras a intervalos regulares, mediante un diseño en cuadrícula. Se determinó la FE y MO, y se compararon los resultados de estas variables entre usos de la tierra, confeccionándose además los respectivos mapas de distribución espacial. El uso ganadero determinó valores de FE más bajos y de MO más altos, respecto al agrícola. Ambas propiedades se vincularon significativamente sólo bajo el primer uso. Los mapas de distribución espacial de FE y MO de ambos lotes mostraron patrones similares. Se pudo comprobar que la expresión de la fragilidad a la erosión eólica puede ser controlada a través del uso de la tierra, aunque dichos cambios son condicionados por la heterogeneidad edáfica intrínseca heredada.

Palabras clave. Erosión eólica, uso de la tierra, materia orgánica.

ERODIBLE FRACTION IN SOILS OF WESTERN BUENOS AIRES PROVINCE UNDER CONTRASTING LAND USE

ABSTRACT

The Sub-humid Pampas region (RSP) has soil and climate characteristics that expose the fragile land to degradation by wind erosion. Land uses that favor the presence of surface aggregates susceptible to detachment by wind (erodible fraction; FE) will enhance wind erosion. In soils with a low clay content, as found in the RSP, soil organic matter (MO) is an important component in maintaining stable structures. In the RSP, there are few experiments that study the the spatial distribution of FE under contrasting land uses. The objectives of this study were to: 1) compare the EF and MO in two surface soils with contrasting land uses, located in the western part of Buenos Aires province; 2) investigate the relationship between those variables for both land uses; 3) evaluate and compare the spatial distribution of these variables. This study was conducted in Trenque Lauquen, in fields under agricultural and livestock use. Samples in both sites were taken at regular intervals, using a grid pattern. For each sampling point, FE and MO contents were determined. With these results, comparisons between the two land use systems were made and spatial distribution maps were performed. Lower FE and higher MO values were observed in the soil under livestock use. Only in this site, a negative correlation between these two variables was observed. The spatial distribution maps of the two land uses showed similar patterns for both the FE and MO. We found that the fragility expression to wind erosion can be controlled through land use. However, such changes are subject to the intrinsic soil heterogeneity.

Key words. Wind erosion, land use, organic matter.

1 Cátedra de Forrajicultura, Facultad de Agronomía UBA. Av. San Martín 4453 (1417), Buenos Aires, Argentina.

2 Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía UBA. (1417) Av. San Martín 4453. Capital Federal.

* Autor de contacto: druille@agro.uba.ar

INTRODUCCIÓN

El suelo es un material heterogéneo, siendo la variabilidad de sus propiedades en el espacio altamente significativa (Castrignano *et al.*, 1998). Esta variabilidad edáfica tiene un origen natural y otro antrópico. El primero resulta primordialmente de la interacción de los factores formadores del suelo, mientras que la heterogeneidad espacial debida a la acción del hombre corresponde a las actividades relacionadas con el uso de la tierra (Webster, 1985; Goovaerts, 1999). Esta última fuente de variación, dependiendo de la escala de observación empleada, puede manifestarse a nivel regional, como consecuencia de las distintas historias de uso de la tierra que presentan las diferentes unidades de producción dentro de una región determinada, o a nivel de lote, como resultado de las labores realizadas para la implantación de cultivos (zonas de tránsito de la maquinaria, bandas de fertilización, surco de siembra, entresurco, etc.). Independientemente de la escala de observación empleada y del factor que origine la heterogeneidad, esta puede ser inferida a partir de la visualización de los patrones de distribución espacial de las distintas propiedades edáficas (Rossiter, 1999; Massobrio, 2004).

El Oeste de la provincia de Buenos Aires se caracteriza por la presencia de suelos profundos, arenosos a franco arenosos, bien drenados, con contenidos moderados a bajos de materia orgánica y poca capacidad de almacenaje de agua (Díaz-Zorita *et al.*, 2000). Estas características edáficas, sumadas a la acción de los vientos, confieren a estas tierras una gran fragilidad a la degradación por erosión eólica. Dicha fragilidad se puede expresar, en mayor o menor medida, de acuerdo a las prácticas de manejo que se efectúen sobre los suelos, fundamentalmente aquellas que produzcan alteraciones en los agregados resistentes al proceso de desprendimiento por la acción del viento (McTainsh & Leys, 1993).

Chepil (1950) realizó estudios basados en el tamizado del suelo y el uso de túneles de viento, observando que los agregados mayores a 0,84 mm de diámetro no eran erosionables en el rango de velocidades de viento utilizado en los ensayos. De acuerdo a estos trabajos, se definió a la fracción del suelo erosionable por el viento (FE) como la proporción de agregados del suelo superficial menores a 0,84 mm (Colazo & Buschiazzo, 2010), siendo este un parámetro clave utilizado en diversos trabajos de investigación y en modelos de simulación, para estimar la susceptibilidad del suelo a la erosión eólica (Van Pelt *et al.*, 2004; López *et al.*, 2007; Hevia *et al.*, 2007).

En nuestro país se ha producido un proceso de intensificación en los sistemas de producción agrícola, siendo éste aún más acelerado en las dos últimas décadas. Esta situación provocó en la Región Pampeana una reducción de la superficie cubierta con praderas semipermanentes y un crecimiento de las áreas dedicadas a la agricultura (Ferrerías *et al.*, 2001). Dicho proceso de agriculturización trajo aparejado un aumento en la frecuencia de los disturbios realizados sobre el suelo por las labranzas, modificando la FE a partir de la ruptura mecánica de los agregados (Hevia *et al.*, 2007; Álvaro-Fuentes *et al.*, 2007).

El cambio en el sistema de uso de la tierra, provocó también una reducción en el contenido de materia orgánica edáfica (MO) (Díaz-Zorita *et al.*, 2000). Este elemento del suelo, junto con el contenido de arcilla, ejerce una influencia importante sobre la FE del suelo, al favorecer la unión de las partículas individuales (Colazo & Buschiazzo, 2010). La MO forma estructuras más estables debido a su acción hidrofóbica y antiexpansiva que ejerce en los agregados del suelo (Hillel, 1980). También incrementa la población de microorganismos, los cuales facilitan y aceleran los procesos de agregación tales como la adsorción, envoltura y cementación de las partículas, a partir de los productos mucilaginosos excretados (Hillel, 1982). Esta reducción en el contenido de MO afecta el tamaño y estabilidad de los agregados, y por lo tanto también la FE.

Colazo & Buschiazzo (2010), trabajando con suelos de distintas texturas ubicados en el este de La Pampa, encontraron que el diferente uso de la tierra afectaba la FE solamente en el rango de contenido de limo mas arcilla del 21,5 al 50%. Dentro de ese mismo intervalo textural, Hevia *et al.* (2007) encontraron diferencias en la FE entre distintos sistemas de labranza. Por su parte, Colazo & Buschiazzo (2010) determinaron que la relación entre la FE y la MO era distinta en los suelos bajo cultivo respecto a los no cultivados, mientras que López *et al.* (2007), también encontraron una correlación significativa entre FE y MO, aunque estos autores no discriminaron dicho comportamiento de acuerdo al tipo de uso de la tierra.

No son frecuentes en el Oeste de la provincia de Buenos Aires, estudios a escala de lote, cuyo objetivo sea analizar la distribución espacial de la FE bajo usos contrastantes de la tierra. Dicha información es importante para evitar procesos irreversibles de degradación, estableciendo las prácticas de manejo más adecuadas en aquellos ambientes que lo requieran.

En el presente trabajo se plantea como hipótesis que el uso diferencial de la tierra modifica a nivel de lote los contenidos de MO y la FE, la relación entre ambos parámetros y su arreglo espacial. Los objetivos del mismo son: 1) Comparar la FE y el contenido de MO superficial de suelos correspondientes a dos lotes ubicados en el oeste bonaerense, con sistemas de uso de la tierra contrastantes; 2) Investigar para los dos usos de la tierra estudiados, el grado de vinculación entre ambas variables; 3) Evaluar y contrastar su distribución en el espacio en los dos lotes bajo análisis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental y características del ensayo

El trabajo se realizó en un establecimiento agrícola-ganadero ubicado en la localidad de Trenque Lauquen, Oeste de la provincia de Buenos Aires (Latitud: 35° 58' S - Longitud: 62° 44' O - Altitud sobre el nivel del mar: 96 m). El clima es templado con características moderadamente continentales, destacándose una mayor intensidad y frecuencia de los vientos durante los meses más calurosos (septiembre a febrero), induciendo altas tasas de evapotranspiración y la ocurrencia de procesos de erosión eólica. La distribución de las lluvias es primavera-otoño con niveles normales (promedio de 30 años) de 913 mm (Díaz-Zorita *et al.*, 1998).

Para el desarrollo del presente trabajo se seleccionaron dos lotes bajo sistemas de uso de la tierra contrastantes:

- Lote ganadero: se trata de una situación con diez años de historia ganadera. Sobre el mismo se encuentra implantada una pastura compuesta por alfalfa (*Medicago sativa* L.), festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) y cebadilla (*Bromus catharticus* Vahl).
- Lote agrícola: éste ha tenido un uso agrícola durante los últimos ocho años, siendo la rotación trigo/soja de 2° - soja de 1° - girasol - maíz. El sistema de labranza empleado para la implantación de cultivos fue la labranza convencional (disco y rolo), excepto los últimos dos años en los cuales se implementó la siembra directa.

El suelo correspondiente a ambos sitios se clasifica como Hapludol éntico (INTA, 1990). Se trata de un suelo algo excesivamente drenado, escurrimiento medio, permeabilidad moderadamente rápida, sin alcalinidad y cuyas limitaciones de uso son la poca retención de humedad y la baja capacidad de intercambio catiónico, además de la susceptibilidad a la erosión eólica. De acuerdo a la carta de suelos (1:50.000), la textura del horizonte superficial es (INTA, 1990): 16,5% de limo, 11,8%

de arcilla y 71,7% de arena. A su vez, según la carta topográfica (1:50.000), no existen cambios en el relieve dentro del sector analizado. Sin embargo, y a partir de la observación realizada a campo, se pudo comprobar la presencia de un relieve suavemente ondulado, similar en ambos lotes, quedando el sector más alto de los mismos orientado hacia el sur.

El muestreo se realizó en octubre de 2006 bajo un diseño sistemático (Berry & Baker, 1968; citado por Wilding & Drees, 1983), utilizando una cuadrícula de 60 x 60 m ubicada en cada lote. En cada una de ellas la toma de muestras se realizó a intervalos regulares (15 m) y a una profundidad de 5 cm, siendo 25 el total de los puntos analizados en cada sitio.

Propiedades analizadas

Para el cálculo de la FE, las muestras fueron expuestas al aire para su secado, y luego se pasaron por un tamiz con malla de 0,84 mm de diámetro. La FE fue calculada con la siguiente ecuación:

$$FE (\%) = \frac{P_{<0,84}}{P_T} \times 100$$

donde FE es la fracción erosionable, $P_{<0,84}$ el peso (g) de los agregados menores a 0,84 mm de diámetro y P_T el peso (g) total de la muestra.

El contenido de MO se calculó a partir de muestras de suelo compuestas por tres submuestras, tomadas a 5 cm de profundidad alrededor de cada punto de la grilla. Estas fueron analizadas por el método Walkley-Black (Walkley, 1947) y posteriormente los valores de carbono fueron transformados a valores de MO, al ser multiplicados por el coeficiente 1,724, considerando un contenido de carbono promedio en la MO del 58% (Read & Ridgell, 1921). En los extremos de las cuadrículas se determinó el contenido de arena del suelo superficial.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para evaluar el efecto del uso diferencial de la tierra sobre la FE y el contenido de MO, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011). Para la comparación de medias, se utilizó el test de Tukey a un nivel de significancia estadística de 0,05. Previo al análisis estadístico, se realizó la transformación angular de los porcentajes ($y = \arcseno \sqrt{x}$), con el fin de aumentar la normalidad y la homogeneidad de la varianza (Sokal & Rohlf, 1969). Las relaciones entre ambas variables fueron analizadas mediante regresiones simples. Para la generación de mapas de heterogeneidad espacial de la FE y del contenido de MO se utilizó la herramienta informática G.S.TM (Gamma Design Software, 2004).

RESULTADOS

Fracción erosionable y materia orgánica

La FE promedio para el lote bajo uso agrícola y el lote bajo uso ganadero fueron significativamente distintas ($F_{[1,49]} = 37,8$; $P < 0,0001$). El mayor valor correspondió al lote agrícola, superando en un 30% al encontrado en el ganadero (Tabla 1).

También se observó una diferencia significativa en el contenido de MO entre usos de la tierra distintos ($F_{[1,49]} = 47,3$; $P < 0,0001$). El mayor porcentaje correspondió al lote bajo uso ganadero, superando al agrícola en un 68%. Al igual que lo ocurrido al analizar la FE, el uso ganadero determinó una mayor variabilidad en el contenido de MO (Tabla 1).

Análisis de correlación entre la FE y el contenido de MO

Bajo la actividad ganadera se encontró una correlación significativa entre la FE y el contenido de MO ($p < 0,0001$). La regresión presentada en la Figura 1 A muestra una relación inversa entre ambas variables, siendo la ecuación de mejor ajuste: $FE (\%) = 4,97 MO^2 - 35,90 MO + 107,12$ ($r^2=0,54$).

Por su parte, en el suelo bajo agricultura, no se encontró una correlación significativa entre la FE y el contenido de MO ($p = 0,27$). Esto se aprecia en la Figura 1 B, que presenta una curva de regresión con $r^2=0,09$.

Análisis de los patrones espaciales

Los mapas de distribución espacial de las propiedades analizadas, correspondientes al lote bajo uso ganadero, muestran un aumento en la FE (Fig. 2 A) y una disminución en el porcentaje de MO (Fig. 2 B) en sentido norte-sur, coincidiendo con las variaciones en el relieve. Comparando ambas figuras, se puede comprobar también que los patrones de distribución espacial de las dos variables son muy similares, coincidiendo los sectores de mayor contenido de MO con los de menor valor de FE, y viceversa.

En los mapas correspondientes al lote bajo agricultura, se observa una distribución espacial de las propiedades analizadas similar al encontrado en el ganadero (Fig. 3 A y B). Como se mencionara anteriormente, en este último sitio los resultados de MO fueron menores y los de FE mayores respecto al lote ganadero. Sin embargo, la forma en que se distribuyeron estas propiedades en el espacio resultó similar, con una disminución de la MO hacia el sur y un aumento de la FE en ese mismo sentido.

Evaluaciones realizadas del contenido de arena del suelo en los extremos de las cuadrículas, manifestaron cambios importantes dentro de los 60 m de extensión de las mismas. De esta manera, en el extremo sur el porcentaje de arena fue del 68%, mientras que en el sector opuesto dicho contenido fue del 41%.

DISCUSIÓN

En promedio, la FE fue mayor bajo agricultura en comparación con el uso ganadero (Tabla 1), siendo este resultado atribuido al disturbio provocado en años anteriores por las labranzas, efecto que aún persiste luego de dos años de implantación de cultivos bajo siembra directa. Bravo & Silenzi (2000), al trabajar con suelos franco-arenosos del sudeste de la Pcia. de Bs. As., también pudieron reconocer diferencias en la FE entre suelos labrados y no labrados. Sin embargo, estos investigadores determinaron una FE menor al año de implementación del sistema siembra directa, respecto a los lotes que seguían bajo el sistema convencional de implantación de cultivos. No obstante, Bravo & Silenzi (2000) corroboraron que la estabilidad mecánica de los agregados bajo siembra directa era similar a los tratamientos con labranza convencional y menor a los no cultivados. La diferencia de comportamiento de la FE bajo siembra directa entre dicho estudio y el presente, puede deberse entre otras causas, a la distinta sucesión de cultivos utilizada y al mayor nivel de MO presente en los suelos agrícolas del sudeste bonaerense.

Tabla 1. Valores medios y desvío estándar (DE) de la fracción erosionable (FE) y contenido de materia orgánica (MO) en los lotes bajo uso ganadero y agrícola.

Table 1. Mean values and standard deviation (SD) of the erodible fraction (EF) and organic matter (OM) in fields under agricultural and livestock use.

	Lote ganadero		Lote agrícola	
	Media	DE	Media	DE
FE (%)	48,8 ^a	9,18	62,5 ^b	6,09
MO (%)	2,64 ^a	0,61	1,67 ^b	0,35

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).
Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ($p < 0,05$).

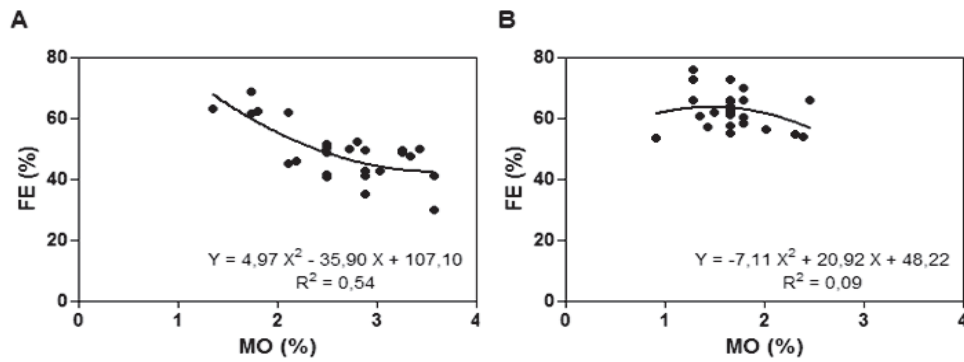


Figura 1. Análisis de regresión entre la fracción erosionable (FE) y materia orgánica (MO) en los lotes bajo uso ganadero (A) y agrícola (B).
 Figure 1. Regression analyses between the erodible fraction (EF) and organic matter (OM) in fields under livestock (A) and agricultural use (B).

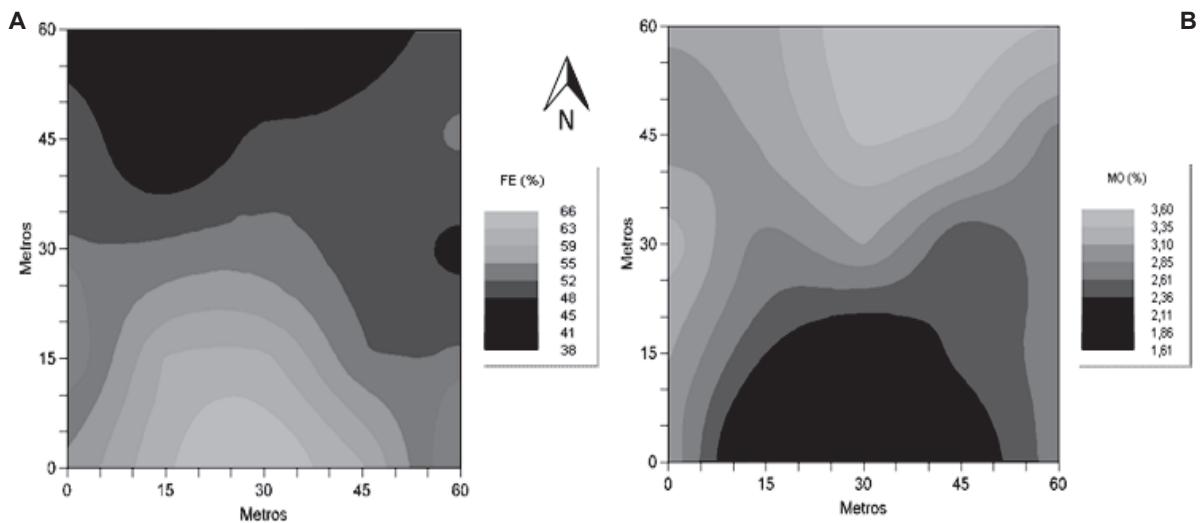


Figura 2. Mapa de heterogeneidad espacial de la fracción erosionable (A) y contenido de materia orgánica (B), correspondientes al lote bajo uso ganadero.
 Figure 2. Map of spatial heterogeneity of erodible fraction (A) and organic matter content (B), in the paddock under livestock use.

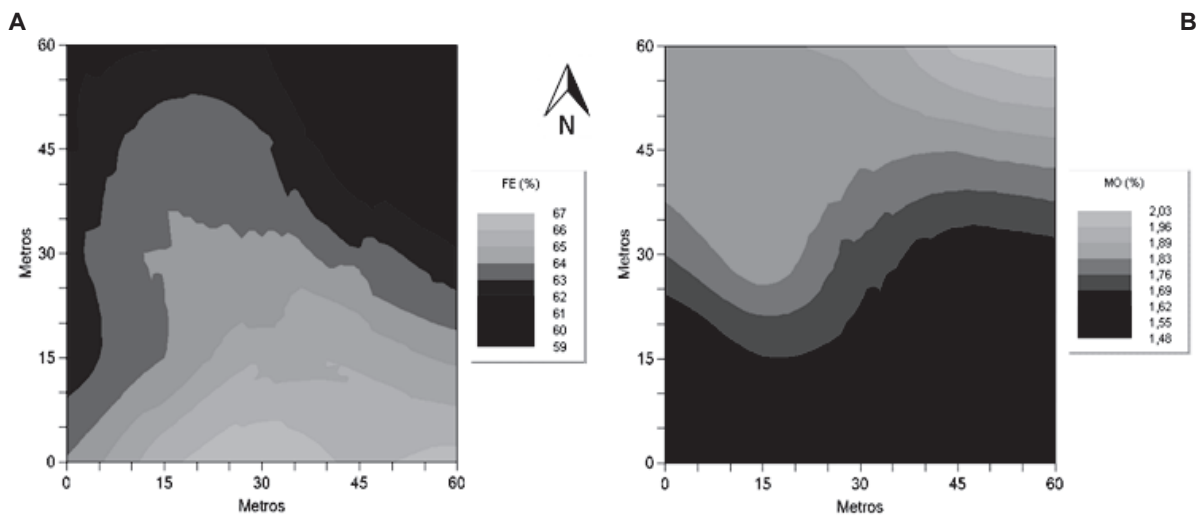


Figura 3. Mapa de heterogeneidad espacial de la fracción erosionable (A) y contenido de materia orgánica (B), correspondientes al lote bajo uso agrícola.
 Figure 3. Map of spatial heterogeneity of erodible fraction (A) and organic matter content (B), in the paddock under agricultural use.

Hevia *et al.* (2007) también hallaron efectos de los distintos sistemas de implantación de cultivos sobre la FE, en un ensayo de labranzas de seis años de antigüedad, realizado sobre un Haplustol éntico de La Pampa con un contenido de arena promedio del 62%. Los valores extremos de esta propiedad estuvieron entre el 20% para siembra directa y 61,5% para labranza convencional, mientras que el intervalo de FE para el suelo agrícola del presente estudio estuvo entre el 53,4% y 75,7%. Este mayor grado de fragmentación de los agregados encontrados en Trenque Lauquen, estaría también dado por el menor nivel de MO superficial, que en promedio fue un 58 % mas bajo respecto a los suelos de La Pampa.

Colazo y Buschiazzo (2010) comprobaron para suelos cultivados y no cultivados del Este de La Pampa, diferencias significativas en la FE para el rango de contenido de arena superficial del 50 al 78,5%, mientras que para contenidos de arena mayores y menores a dicho rango, la FE de los tratamientos analizados fue similar. De acuerdo a dichos resultados, el efecto del uso de la tierra sobre la FE estaría condicionado por la textura de los suelos.

En el presente trabajo, el porcentaje de arena superficial encontrada dentro del área relevada, coincide en parte con los valores para los que Colazo & Buschiazzo (2010) determinaron diferencias en la FE entre suelos cultivados y no cultivados. Al hacer un análisis más detallado, comparando entre lotes la FE promedio de los extremos y del sector medio de las cuadrículas, se pudo comprobar que en el sector más arenoso de las mismas, si bien hubo una mayor FE en el lote cultivado (68,72%), respecto al ganadero (57,35%), estas diferencias no fueron significativas ($P=0,09$). A su vez, tanto en el sector medio como en el extremo menos arenoso del área estudiada, estas diferencias resultaron significativas ($P<0,01$). Este comportamiento de la FE no coincide exactamente con lo registrado por Colazo & Buschiazzo (2010), pero reafirma la tendencia observada por estos investigadores en relación a que cuanto más arenosos son los suelos, las diferencias en FE entre suelos cultivados y no cultivados se hacen menos evidentes. En ese sentido, dichos autores sugieren que por encima de determinado contenido de arena y debido a la falta de agentes cementantes orgánicos e inorgánicos, los suelos no pueden generar estructuras resistentes a la acción del viento.

Las labranzas afectan en forma directa la FE del suelo, a través de la ruptura de los agregados más grandes, reduciéndolos en tamaño (Six *et al.*, 1998; Hevia *et al.*, 2003).

A su vez, los microagregados (53-250 μm) persisten en el tiempo al ser más estables que los macroagregados (> 2 mm) (Wright & Hons, 2004). En este sentido, Perfect *et al.* (1997) mencionan que los frecuentes laboreos inducen al fragmentado físico y ruptura de la estructura, promoviendo el refinamiento del suelo. Por otra parte, las labranzas tienden a homogeneizar el tamaño de los agregados (López *et al.*, 2007), lo que explica la menor variabilidad encontrada en la FE del lote agrícola.

La MO también fue más variable en el sitio ganadero. Este comportamiento estaría dado por el efecto del bosteo animal durante el pastoreo, ya que la restitución de elementos fertilizantes a través de las heces, no se realiza en forma uniforme en toda la pastura (Díaz-Zorita, 2000). En el oeste bonaerense, trabajando con pastoreos de altas cargas instantáneas y bajos tiempos de permanencia en las parcelas, Díaz-Zorita (1998) determinó que apenas el 13% de la superficie pastoreada era cubierta por el bosteo. Buschiazzo *et al.* (2004) también encontraron menor variabilidad en la MO de suelos cultivados respecto a los no cultivados, asignando dichos resultados a la mayor homogeneidad producida por las labranzas.

La disminución en el contenido de MO del suelo por efecto de las labranzas, provoca además un efecto indirecto sobre la FE. Al romperse los macroagregados, la materia orgánica protegida dentro de los mismos, se vuelve más susceptible a la mineralización, desapareciendo su efecto aglutinante sobre los microagregados (Six *et al.*, 1998). En los sistemas mixtos de producción, generalmente la fracción lábil de la MO disminuye marcadamente en los años bajo agricultura y aumenta durante el ciclo de las pasturas, mientras que la fracción estable de la MO no sufre mayores cambios durante todo el transcurso del ciclo agrícola-ganadero (Wadman & De Haan, 1997). Teniendo en cuenta que las fracciones lábiles del carbono edáfico como los carbohidratos, están involucrados en la agregación de las partículas del suelo por su acción aglutinante y cementante (Tisdall & Oades, 1982), es esperable que reducciones en el nivel de estas fracciones, se traduzca en un estado de agregación más débil.

Al relacionar los valores de MO y FE, solamente en el sitio ganadero se encontró una fuerte vinculación entre ambas variables (Fig. 1 A). En la Figura 1 A se observa que la tasa de disminución de FE baja drásticamente a partir de valores de MO superiores a 2,8-3,0%. Estos resultados coinciden con lo aportado por Hoyos Garcés *et al.* (1999), quienes demuestran que el tamaño de agregados comien-

za a disminuir a partir de contenidos de MO menores al 3,4%. Colazo & Buschiazzi (2010) también encontraron en suelos no cultivados del este de La Pampa, una relación negativa entre el contenido de carbono del suelo y la FE. Dichos autores, al igual que en el presente trabajo, determinaron que existía un valor crítico de carbono, a partir del cual la tasa de disminución de la FE era muy baja. Sin embargo, estos investigadores trabajaron bajo diferentes condiciones experimentales a las del presente estudio (profundidad de muestreo, rango textural y de carbono de los suelos empleados, sistema de tamizado y condición del suelo no cultivado), por lo que si bien la relación FE-MO fue de características similares a la mostrada en la Figura 1, los valores generales y críticos de las variables fueron distintos. La relación no lineal entre FE y MO encontrada en ambos estudios, no coincide con la vinculación lineal determinada en trabajos previos (Fryear *et al.*, 1994; Bravo & Silenzi, 2000; López *et al.*, 2007).

En el lote con uso agrícola no se encontró una correlación entre MO y FE. Esto en parte indicaría que el grado de disturbio provocado en el suelo por las labranzas antes de la implementación de la siembra directa, influye todavía en mayor medida que la MO sobre la FE. Cabe mencionar que en el lote bajo uso agrícola, se encontró un rango más estrecho en los valores de MO, por lo que es lógico que sea otra variable y no esa la explique los cambios en FE.

Los mapas de distribución espacial de las variables analizadas (Figs. 2 y 3), muestran que tanto la FE como el contenido de MO no se distribuyeron aleatoriamente en el espacio en ninguno de los dos sistemas de uso de la tierra. En ambos lotes se observa un patrón de distribución espacial semejante para los parámetros bajo estudio, lo que indica que si bien el uso de la tierra condiciona los valores de FE y MO, no altera la manera en que se distribuyen en el espacio.

El factor responsable de la generación de estos patrones espaciales es el cambio en la textura del suelo, asociado a ligeras variaciones en el relieve. Para un mismo uso de la tierra, la MO está positivamente relacionada con el contenido de arcilla más limo (Quiroga *et al.*, 2006). Al mismo tiempo, la agregación de las partículas edáficas está vinculada con la cantidad y mineralogía de las arcillas (Commegna *et al.*, 2005). Por lo tanto, es esperable encontrar menores contenidos de MO y mayores valores de FE en las zonas más positivas del paisaje, ante la presencia de suelos con mayor contenido de arena. Campbell *et al.* (1996) reportaron que la relación positiva entre arcilla y

MO es mayor en sistemas sin labranzas, respecto a sistemas bajo labranza convencional. Esto explicaría el mayor grado de definición del patrón de distribución espacial de ambas propiedades en el sitio ganadero.

CONCLUSIONES

Los resultados presentados permiten aceptar la hipótesis planteada, respecto a que el uso de la tierra modifica a nivel de lote los contenidos de MO y FE y el grado de vinculación entre estas variables. El uso ganadero favoreció la acumulación de MO, y por lo tanto el lote bajo dicha actividad presentó menores porcentajes de FE. Sin embargo, se pudo comprobar que estas diferencias tenderían a disminuir a partir de aumentos significativos en el contenido de arena de los suelos.

Por su parte, el diferente uso de la tierra no modificó los patrones de distribución espacial de la FE y la MO. Estas variables no se ubicaron aleatoriamente en el espacio, sino que su variabilidad espacial estuvo fuertemente determinada por la textura superficial de los suelos presentes.

Se pudo comprobar entonces, que la expresión de la fragilidad a la erosión eólica puede ser controlada a través del uso de la tierra, aunque dichos cambios no pueden condicionar la heterogeneidad edáfica intrínseca heredada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por proyecto UBACyT 0328. Los autores agradecen las sugerencias realizadas por dos revisores anónimos.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvaro-Fuentes, J; JL Arrúe; R Gracia & MV López. 2007. Soil management effects on aggregate dynamics in semiarid Aragon (NE Spain). *Science of the Total Environment* 378: 179-182.
- Berry, BJL & AM Baker. 1968. Geographic sampling. Cap. 3 de Berry, BJL y DF Marble, *Spatial Analysis: A Reader in Statistical Geography* (Englewood Cliffs, N J: Prentice Hall), pp. 91-100.
- Bravo, O & JC Silenzi. 2000. Uso del índice de estabilidad mecánica para evaluar la resistencia a la erosión eólica en suelos de la región Semiárida Bonaerense. Proc. of XVII Arg. Cong. of Soil Sci. Mar del Plata, Argentina (In CD).
- Buschiazzi, DE; HD Estelrich; SB Aimar; E Viglizzo & FBabinec. 2004. Soil organic matter in the Caldenal woodland of Argentina as influenced by soil texture and tree coverage. *J. Range Manage.* 57: 511-516.
- Campbell, CA; BG McConkey; RP Zentner; F Selles & D Curtin. 1996. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 76: 395-401.

- Castrignano, A; M Mazzoncini & L Giugliarini. 1998. Spatial characterization of soil properties. *Advances in GeoEcology* 31: 105-111.
- Chepil, WS. 1950. Properties of soil which influence wind erosion: II dry aggregate structure as an index of erodibility. *Soil Sci.* 69: 403-414.
- Colazo JC & DE Buschiazzo. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159: 228-236.
- Commegna, MA; ME Aguirre & RM Santamaría. 2005. Recuperación natural de la estructura en argiudoles bajo siembra directa. *RIA* 34: 71-83. INTA.
- Díaz-Zorita, M. 1998. Producción de carne bajo pastoreo en Argentina: ¿es una práctica sostenible? AAPA, 22° Congreso Arg. Prod. Animal «Sustentabilidad de los sistemas mixtos agrícola-ganaderos» (Río Cuarto, Cba.), Conferencias: 34-45.
- Díaz-Zorita, M; ML Pepi & GA Grosso. 1998. Estudio de las precipitaciones en el oeste bonaerense. EEA INTA General Villegas. Publicación Técnica N°26, 20 pp.
- Díaz-Zorita, M. 2000. Evaluación de la sostenibilidad de los sistemas intensivos de producción de carne. INTA. Publicación técnica N° 27.
- Díaz-Zorita, M; GA Duarte & MV Fernández Caniglia. 2000. La siembra directa y los sistemas mixtos de producción en el Oeste de Buenos Aires. INTA. Publicación técnica N° 33.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Ferreras, LA; JJ De Battista; A Ausilio & C Pecorari. 2001. Parámetros físicos del suelo en condiciones no perturbadas y bajo laboreo. *Pesq. Agropec. Bras.* Brasilia, v. 36, n 1, p. 161-170.
- Fryrear, DW; CA Krammes; CM Williamson & TM Zobeck. 1994. Computing the wind erodible fraction of soils. *J. Soil & W. Cons.* 49: 183-188.
- Gamma Design Software. 2004. GS+: Geostatistics for environmental sciences. Gamma Design Software. Plainwell, MI, USA.
- Goovaerts, P. 1999. Geostatistic in soil science: state of the art and perspectives. *Geoderma* 89: 1-45.
- Hevia, GG; DE Buschiazzo; EN Hepper & AM Urioste; EL Antón. 2003. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma* 116: 265-277.
- Hevia, GG; M Mendez & DE Buschiazzo. 2007. Tillage affects soil aggregation parameters linked with wind erosion. *Geoderma* 140: 90-96.
- Hillel, D. 1980. Fundamentals of soils physics. Academic Press, New York, USA.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press Inc. New York, USA.
- Hoyos Garcés, P; E Amézquita Collazos; RJ Thomas; RR Vera & DL Molina. 1999. Effect the land use system in aggregate size distribution of soil from the eastern plains of Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 29(1): 61-65.
- INTA - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1990. Carta de suelos de la Republica Argentina, Hoja 3763-04. 30 de agosto, E 1:50.000, 48 pp.
- López, MV; JM de Dios Herrero; GG Hevia; R Gracia & DE Buschiazzo. 2007. Determination of the wind-erodible fraction of soils using different methodologies. *Geoderma* 139: 407-411.
- Massobrio, MJ. 2004. «Agroecosistemas, el paisaje y las tecnologías». En: Ecología y Ambiente. Capítulo IX. Malacalza L. (ed). Pp 174-177. 2004. Instituto de Ecología de Luján. ISBN 987-21270-0-X.
- McTainsh, GH & JF Leys. 1993. Erosion by wind. In: McTainsh, G.H. & Broughton, W.C. (eds.), *Land Degradation Processes in Australia*, pp. 188-233. Melbourne: Longman Cheshire. 387 pp.
- Perfect, E; Q Zhai & RL Blevins. 1997. Soil and tillage effects on the characteristic size and shape of aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1459-1465.
- Quiroga, A; D Funaro; E Noellemeyer & N Peinemann. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research* 90: 63-68.
- Read, JW & RH Ridgell. 1921. On the use of the conventional carbon factor in estimating soil organic matter. *Soil Science* 13(1): 1-6.
- Rossiter, DG. 1999. Base de datos geográficos de suelos y el uso de programas para su construcción. International Institute for Aerospace Survey & Earth Sciences (ITC).
- Six, J; ET Elliot & K Paustian. 1998. Aggregate and SOM dynamics under conventional and no- tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1350-1358.
- Sokal, RR & FJ Rohlf. 1969. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. WH Freeman & Co. San Francisco. 776 p.
- Tisdall, JM & JM Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 62: 141-163.
- Van Pelt, RS; TM Zobeck; KN Potter; JE Stout & TW Popham. 2004. Validation of the wind erosion stochastic simulator (WESS) and the revised wind erosion equation (RWEQ) for single events. *Environmental Modelling & Software* 19: 191-198.
- Wadman, WP & S De Haan. 1997. Decomposition of organic matter from 36 soils in a long term pot experiment. *Plant soil* 189: 289-301.
- Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soil. *Soil Science* 63: 251-263.
- Webster, B. 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Adv. Soil Sci.* 3: 1-70.
- Wilding, LP & LR Drees. 1983. Spatial variability and pedology. Smeck NE and Hall GF (eds). *Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and interations*. Elvieser Amsterdam. 4: 83-116.
- Wright, AL & FM Hons. 2004. Soil aggregation and carbon and nitrogen storage under soybean cropping sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 507-513.