

## PARAMETROS EDÁFICOS RELACIONADOS CON LA EROSIÓN EÓLICA EN INCEPTISOLES DEL CHACO

JM ROJAS<sup>1</sup>; DE BUSCHIAZZO<sup>2\*</sup> & OEA ARCE<sup>3</sup>

Recibido: 12-10-12

Recibido con revisiones: 01-03-13

Aceptado: 02-03-13

### RESUMEN

Uno de los procesos de degradación de suelos más importantes en la provincia del Chaco a causa de la agriculturización es la erosión eólica. No obstante, existe poca información acerca de los efectos que este fenómeno produce sobre los suelos agrícolas en la región. Los objetivos de este trabajo fueron: analizar el comportamiento de parámetros relacionados con la erosión eólica como la fracción erosionable (FE) y la estabilidad estructural en seco (EES) en suelos bajo la condición prístina (monte nativo) y disturbada (agricultura), evaluar si existen relaciones entre FE y otras variables edáficas y si dichas relaciones coinciden con las utilizadas en el modelo EWEQ, desarrollado para la Pampa Semiárida. El trabajo se realizó en la zona denominada Área Piloto de la Ecorregión Chaqueña, objeto de estudio por su alta tasa de cambio de uso del suelo, transformación y reemplazo de bosques y pastizales. El suelo bajo estudio pertenece a la serie Tolosa (*Haplustept Udico*). Los suelos agrícolas, cultivados con siembra directa, presentaron promedios menores de FE (10,7%) que los de monte (29,1%), es decir, menor susceptibilidad a la erosión eólica. Esto se debería a la formación de pseudoagregados o *clods*, por efecto de las labranzas. La FE y la EES no se relacionaron con los años transcurridos desde el desmonte. Las relaciones entre la FE y la textura no fueron significativas. Tampoco hubo una correlación significativa entre los datos experimentales y los calculados con ecuaciones de modelos validados para otras regiones del país. La EES fue mayor en los lotes agrícolas que en los de monte. Es necesario extender las mediciones de FE a otras series de suelos de la región a fin de establecer una ecuación de predicción de FE para estos suelos. Este tipo de ecuación permitiría seleccionar prácticas de manejo adecuadas para prevenir la erosión eólica.

**Palabras clave.** Fracción erosionable; Estabilidad Estructural en seco; Chaco semiárido.

### SOIL PARAMETERS RELATED TO WIND EROSION IN CHACO INCEPTISOILS

#### ABSTRACT

Wind erosion is one of most common degradation processes in agricultural soils of Chaco. Little information exists on the effects of wind erosion on agricultural soils of this region. The objectives of this study were to: 1) analyze the behavior of the erodible fraction (FE) and the dry aggregate stability (EES) as indexes of the susceptibility of soils to wind erosion, 2) relate FE to other soil parameters in order to develop equations useful to predict soil wind erosion susceptibility and 3) test if such equations are compatible with those used in the EWEQ model, developed for the Semiarid Pampas. The study was carried out in an area of the Chaco Ecoregion, where forests and grasslands are being replaced by annual cropping practices. The soils studied were classified as Udic Haplustepts, and were under pristine and agriculture conditions. Agricultural soils showed lower EF values, which indicate a lower susceptibility of the soils to be eroded by wind than pristine soils. This unexpected result was probably due to the formation of clods, as a result of tillage operations performed under certain conditions of soil moisture. No relationships were found between FE or EES and the years since the forest clearing. Relationships between FE and texture were not enough to fit a predictive model. The experimental data did not show an association with the FE data calculated with the EWEQ model. EES showed higher values in agricultural conditions than under pristine conditions. Future research must be developed in order to establish a prediction equation for FE for soils of the region. Such equation may allow for a better decision framework for sustainable soil management practices.

**Key words.** Erodible Fraction, Dry Soil Aggregate Stability, Semiarid Chaco.

1 INTA, EEA Sáenz Peña, Ruta N° 95 km 1008, Chaco;

2 INTA Anguil, Facultad de Agronomía, UNLPam e INCITAP, Instituto para las Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (CONICET-UNLPam);

3 Cátedra de Biometría y Tec. Experimental, Facultad de Agronomía y Zootecnia (UNT)

\* Autor de contacto: buschiazzo@agro.unlpam.edu.ar; CC 300 (6300), Santa Rosa; Tel: 02954 433092/3/4, int. 2503

## INTRODUCCIÓN

La «agriculturización» en la región Chaqueña se ha producido principalmente por reemplazo de los montes nativos (Volante *et al.*, 2005). Kees *et al.* (2009) estimaron que el área de estos montes disminuyó, entre 2000 y 2007, a una tasa anual de 3,2%, representando una pérdida total en ese período de 20 000 ha de monte nativo. Uno de los fenómenos que más se manifiestan en Chaco por efecto de la agriculturización es la erosión eólica. Rojas *et al.* (2009), mediante mediciones de campo realizadas en un suelo agrícola del Impenetrable chaqueño, comprobaron que la erosión ocurrida en 5 meses alcanzó a 5,3 t/ha, valor muy cercano al permisible de 12 t/ha/año (López *et al.*, 2008).

Existe poca información acerca de los efectos que este fenómeno produce sobre los suelos agrícolas de la región y no se cuenta con indicadores sensibles para evaluar la susceptibilidad de los suelos a erosionarse. Un indicador sensible es aquel que resume o simplifica información relevante para hacer que un fenómeno de interés se vuelva perceptible y que cuantifica, mide y comunica en forma comprensible esta información relevante (Cantú *et al.*, 2007), siendo los atributos más sensibles al manejo los más deseables como indicadores (Arshad *et al.*, 2002). En el marco legal vigente en la provincia del Chaco (Provincia del Chaco, 2009), es fundamental y de interés público, seleccionar indicadores de degradación que puedan ser utilizados para monitorear el estado de suelos recientemente desmontados destinados a la producción.

La erosión eólica es considerada un proceso irreversible de degradación del suelo, que causa cambios en la textura, disminuye el espesor del suelo, los contenidos de nutrientes y la materia orgánica edáfica (Aimar *et al.*, 2011). La erodabilidad del suelo, o susceptibilidad a la erosión, está relacionada con la agregación (Colazo & Buschiazzo, 2012; Kohake *et al.*, 2010), rugosidad superficial, prácticas de labranza, humedad, cobertura y tipo de suelo (de Oro *et al.*, 2012; Méndez & Buschiazzo, 2012). Uno de los indicadores más adecuados para evaluar el estado del suelo en relación a su susceptibilidad a la erosión eólica, es la fracción erosionable (FE), definida por Chepil (1962) como la proporción de partículas de diámetros menores a 0,84 mm. Incrementos de la FE por efectos de la agricultura indicarían mayores riesgos de erosión del suelo. La FE depende en gran medida de la textura, siendo los suelos francos y franco arenosos más susceptibles al aumento de la FE que los arenosos o de textura fina (franco arcillosos). Se ha

comprobado que en suelos de textura fina se pueden formar terrones por efectos de la labranza, lo que disminuye la FE en suelos agrícolas en relación a condiciones no disturbadas (Colazo & Buschiazzo, 2010).

La estabilidad estructural en seco (EES) y el tamaño de los agregados obtenidos por tamizado en seco son propiedades que afectan a la erodabilidad del suelo (Skidmore & Layton, 1992). En suelos de la Pampa Semiárida Argentina, la EES estuvo estrechamente relacionada con los contenidos de materia orgánica y la textura (Colazo & Buschiazzo, 2010). En estos suelos se ha determinado que la materia orgánica y la arcilla afectan positivamente a la EES y la estabilidad de agregados en húmedo y que el limo posee un efecto negativo (Buschiazzo *et al.*, 1995).

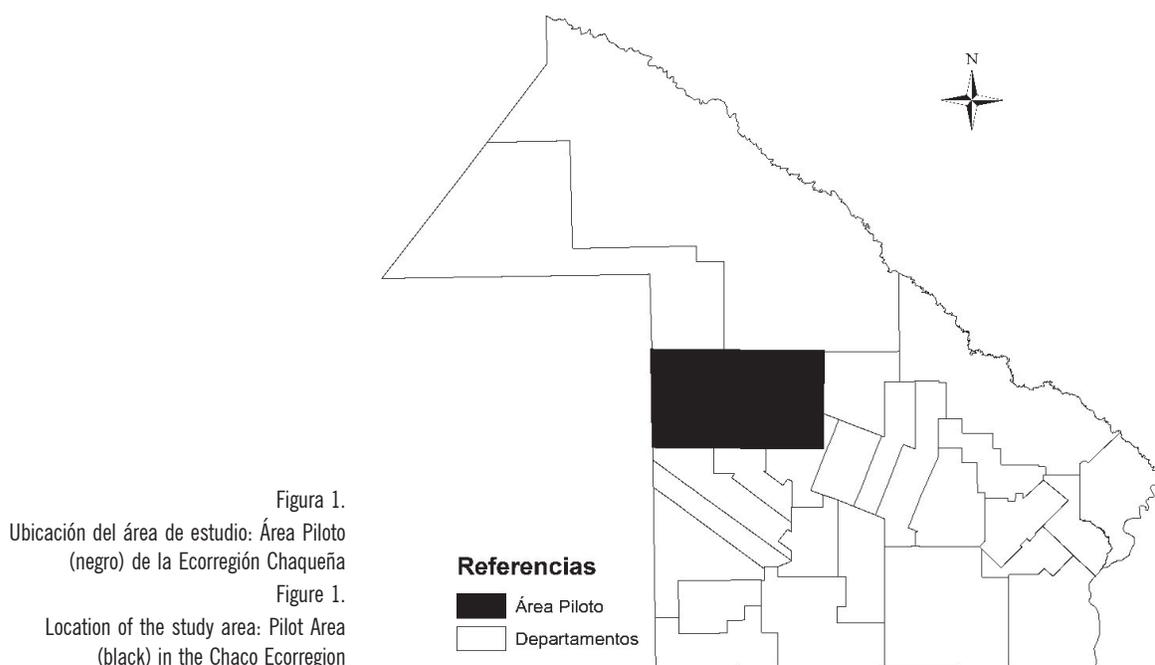
La erosión eólica potencial (EEP) representa la erodabilidad máxima del suelo, y es deducida generalmente de propiedades estáticas, especialmente la textura (Aimar *et al.*, 2011). El modelo EWEQ (Panbianco & Buschiazzo, 2008) permitió estimar la erosión mensual a nivel de lote en la región semiárida de la Argentina. Este modelo calcula la erodabilidad potencial del suelo en función de la textura (arena/arcilla) y los contenidos de materia orgánica (López *et al.*, 2007).

Los objetivos de este trabajo fueron analizar el comportamiento de la FE y la EES en suelos bajo vegetación natural y desmontados del Chaco semiárido, evaluar si existen relaciones entre FE y otros parámetros edáficos y si dichas relaciones coinciden con las utilizadas en el modelo EWEQ, desarrollado para la Pampa Semiárida.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se llevó a cabo en la zona denominada Área Piloto de la Ecorregión Chaqueña, donde convergen actualmente los estudios del Área de Recursos Naturales de la EEA INTA Sáenz Peña (Chaco). El área abarca una superficie de 721.900 ha, incluidas en su mayor parte en el departamento Almirante Brown y una pequeña porción en los departamentos Maipú, Independencia, 9 de Julio y Gral. Belgrano de la provincia del Chaco.

Se extiende desde la localidad de Avia Terai hasta Río Muerto a lo largo de la Ruta Nacional 16, al oeste de la provincia del Chaco, en el límite con Santiago del Estero. Esta zona es objeto de estudio por su alta tasa de cambio de uso del suelo (se encuentra en una fase de expansión de la frontera agrícola), transformación y reemplazo de bosques y pastizales y porque ha sido considerada como zona susceptible a desmontarse por la ley provincial de zonificación de bosques nativos (Ley N° 6409).



Los suelos analizados pertenecen a la serie Tolosa y se clasifican como Haplustept Udicos (Ledezma, 1972). En 9 sitios distribuidos a lo largo de un gradiente NW-SE dentro del Área Piloto, coincidente con la infraestructura caminera de la provincia, se muestrearon dos situaciones contrastantes y adyacentes de manejo: monte (M), consistente en cortinas de monte nativo, y lotes agrícolas (C), con 4 a 23 años de desmonte y diferentes secuencias de cultivo.

La vegetación original en el monte nativo es de monte alto cerrado, hallándose ejemplares de *Schinopsis quebracho colorado* (quebracho colorado), *Aspidosperma quebracho blanco* (quebracho blanco), *Patagonula americana* L. (guayaibí), *Prosopis kuntzei* (itín). Gran parte de la serie Tolosa estaba originalmente ocupada por suelos forestales, aunque el avance agrícola ha producido desmontes en una gran proporción de la misma en los últimos años. El horizonte superficial de esta serie posee textura fina, con un porcentaje de limo y arcilla mayor a 500 g kg<sup>-1</sup>, uno de los límites que establecieron Colazo & Buschiazzo (2010) para agrupar suelos por textura en la Pampa Semiárida e identificar parámetros relacionados con la erosión eólica. Los lotes agrícolas fueron cultivados con siembra directa en todos los casos y los cultivos dominantes fueron girasol y soja, encontrándose algunos lotes con sorgo, maíz y algodón. En estos lotes las muestras fueron tomadas a dos distancias de la cortina de monte (50 y 100 m), para descartar efecto de borde. Las determinaciones se repitieron en dos ubicaciones dentro de cada campo (A y B). La Tabla 1 presenta las principales características

de los suelos estudiados. Los valores presentados son promedios ya que no se hallaron diferencias en función de la distancia desde el monte.

Durante el otoño de 2011 se extrajeron muestras sin disturbar y por triplicado, de los primeros 2,5 cm de cada suelo, tomándose al azar y de un área de 100 m<sup>2</sup>, aproximadamente 1 kg de muestra. Vale mencionar que los valores de EF y EES pueden variar en el tiempo, por lo que Chepil (1962) propone su determinación mensual a lo largo de dos años. Zobeck y Popham (1990) y Hevia *et al.* (2007) comprobaron, sin embargo, que la variabilidad temporal de EES y EF en distinto tipo de suelos depende, principalmente, del tipo de labranza y que es casi inexistente en sistemas sin disturbio del suelo como la siembra directa. Dado que los suelos agrícolas analizados en este caso se manejan en siembra directa, se asume que los valores de EF y EES obtenidos mediante un muestro único, es representativo.

Las muestras se secaron al aire y luego se tamizaron con un tamiz rotativo (Chepil, 1962). Este dispositivo posee una serie de 5 tamices cilíndricos concéntricos de 0,42, 0,84, 2, 6,4 y 19,2 mm de diámetro, que poseen una inclinación de 4° y rotan a 7 rpm. El tamizado simula el efecto de abrasión que ejerce el viento durante el transporte de las partículas, a través de su movimiento rotatorio y el roce de los agregados con la malla de los tamices. El tamizado se realiza hasta que toda la muestra haya pasado por el total de tamices y el producto del tamizado haya sido recogido en diferentes bandejas.

Tabla 1. Valores medios de textura, carbono orgánico total, carbono orgánico particulado y pH de los horizontes A de suelos de monte (M) y agrícolas (C). Los valores pertenecen al monte y al promedio de las dos distancias del cultivo.

Table 1. Average values of texture, total organic carbon, particulate organic carbon and pH in A horizons in pristine (M) and agricultural (C) soils. Values come either from pristine soils or from an average of the two distances in agricultural soils.

Campo	Ubicación geográfica	Condición de manejo	Arena	Limo Total	Arcilla	Limo + Arcilla	CO	COP	pH
Bedino	26°32'11.5" S	M	265,0	425	310	735	37,8	19	6,6
	61°19'47.4" O	C	342,1	377,7	280,2	657,9	22,4	8	7,9
Copp	26°38'48.5" S	M	113,6	536,8	349,6	886,4	33,7	15	6,1
	60°53'15.1" O	C	190,2	505,3	304,5	809,8	19,7	7	7,2
Curin	26°32'07.3" S	M	258,4	465	276,6	741,6	27,7	12,1	6
	60°56'14.1" O	C	337,8	413,9	248,3	662,2	24,5	9,8	7,2
De la Flor	26°13'33.3" S	M	257,7	475,8	266,5	742,3	21,4	9,5	6,9
	61°24'51.1" O	C	258,6	457,4	284	741,4	28,5	12,2	7,7
Ferrer	26°37'46.5" S	M	400,5	330,5	269	599,5	32,1	15,4	6,9
	60°49'57.6" O	C	373,0	366,4	260,6	627	20,3	8	7,5
Laguzzi	26°30'32.0" S	M	320,4	455	224,6	679,6	31,9	16,9	6,7
	60°52'47" O	C	283,2	424,8	292	716,8	20,8	6,8	7,2
Los Quebrachos	26°45'42.4" S	M	137,1	527,1	335,8	862,9	25	9,7	6,6
	60°48'13.3" O	C	309,4	385,6	305	690,6	17,1	5,2	6,9
Rinaldi	26°36'19.3" S	M	304,2	420	275,8	695,8	28,7	15,9	6,1
	61°25'16.7" O	C	315,5	425	259,5	684,5	24,2	10,3	7,5
Vicentín	26°20'06.8" S	M	365	355	280	635	38,2	22,4	5,9
	61°35'9.9" O	C	473	340	187	527	22,7	8,5	6,7

Fracciones texturales determinadas por el método de la pipeta de Robinson (USDA, 1992); CO y COT determinados por Walkley y Black (IRAM, 2009) y pH por potenciometría (1:2,5 suelo agua) (IRAM, 2009).

La fracción erosionable del suelo (FE), representada por el porcentaje de agregados menores a 0,84 mm, se determinó con la siguiente ecuación:

$$FE (\%) = \frac{P < 0,84}{P_t} \times 100 \quad \text{Ec. [1]}$$

donde FE es la fracción erosionable, P es el peso (g) de los agregados menores a 0,84 mm y P<sub>t</sub> es el peso inicial (g) de la muestra total.

La estabilidad estructural en seco (EES) se cuantificó tomando la fracción >0,84 mm separada por el primer tamizado mediante la siguiente ecuación:

$$EES (\%) = \frac{[1 - P_c 0,84]1}{(P > 0,84)2} \times 100 \quad \text{Ec. [2]}$$

donde P < 0,84 1 es el peso (g) de los agregados que pasan a través del tamiz de 0,84 mm después de un segundo tamizado y P > 0,84 2 son los agregados retenidos por el tamiz de 0,84 mm luego del primer tamizado.

Los datos de FE fueron comparados con los calculados con la ecuación [3], utilizada por el modelo EWEQ (López *et al.*, 2007).

$$FE (\%) = 9,98 + 6,91 \frac{\text{arena}}{\text{arcilla}} + \frac{14,1}{MO} \quad \text{Ec. [3]}$$

El análisis estadístico para cada variable se realizó con el enfoque de modelos mixtos (Pinheiro & Bates, 2000), con el programa R a través de la interfaz gráfica desarrollada para Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2010). El trabajo es un estudio por observación comparativo, con una estructura de muestreo en dos etapas: la elección del campo y la elección de los puntos de muestreo dentro de cada campo. Por lo tanto, posee una estructura anidada con efectos aleatorios del campo, ubicación y de cada punto de muestreo dentro de cada campo, y efectos fijos para la condición monte o lote desmontado y la distancia al monte. La distancia se tomó como covariable dentro del modelo. Las regresiones, correlaciones y estadística descriptiva multivariada se realizaron con el programa Infostat versión 2012p.

## RESULTADOS

### Fracción erosionable

La FE promedió 29,1% (4,58 a 46,96%) para suelos de monte y 10,7% (2,21 y 42,25%) para los agrícolas, siendo

las diferencias entre las dos condiciones altamente significativas ( $p < 0,0001$ ). La Figura 2 muestra que en el suelo de monte de Copp la FE promedio fue notablemente más baja (14,22%) que en el resto de los sitios, en coincidencia con un alto porcentaje de fracción fina (limo + arcilla). Contrariamente, los sitios Bedino, De la Flor y Vicentín presentaron valores de FE mayores a la media general, sin mostrar diferencias para las demás propiedades edáficas.

Los valores de FE de suelos agrícolas ubicados a diferentes distancias del monte fueron similares, indicando que no hubo efecto de borde. Aunque la FE mostró cierta tendencia a disminuir con los años de desmonte, no se halló relación significativa entre ambos factores ( $R^2 = 0,08$ ). En términos generales, la FE no superó el 40%, por lo que los suelos analizados se pueden considerar como ligeramente erosionables, de acuerdo a Shiyaty (citado por López *et al.*, 2007). Los valores obtenidos en esta región son similares a los presentados por Colazo y Buschiazzi (2010) para suelos de textura fina de la pampa semiárida.

### Estabilidad estructural en seco (EES)

Este parámetro fue diferente entre M (82,8%) y C (94,3%) ( $p < 0,0001$ ). Los suelos de monte presentaron mayor variabilidad de EES ( $CV = 13,93\%$ ) que los agrícolas ( $CV = 3,11\%$ ). El bajo CV de los suelos agrícolas en conjunto sugiere que esta variable podría ser una medida homogénea y consistente para analizar efectos de manejo de suelo en lotes cultivados. No se hallaron diferencias en función de la distancia al monte. La mayor variabilidad de EES en M se observó en los sitios Laguzzi, Los Quebrachos y Vicentín, cuyos suelos presentaron valores más bajos que en los demás sitios (Fig. 3).

Aunque la EES mostró cierta tendencia a aumentar con los años de desmonte en lotes cultivados, el ajuste para esta relación no fue significativo ( $R^2 = 0,04$ ), con lo cual no se pudo detectar una influencia de los efectos acumulados que produce la agricultura. La correlación entre EES y FE fue negativa ( $r = -0,76$ ,  $p < 0,001$ ), indicando que, como era previsible, la FE disminuye al aumentar la estabilidad de los agregados.

La Tabla 2 muestra que en los suelos de monte, FE se correlacionó negativa y significativamente con el contenido de arcilla ( $r = -0,35$ ,  $p < 0,01$ ).

Aunque la relación fue lineal, el ajuste tuvo un bajo valor predictivo ( $R^2 = 0,13$ ). Esto también sucedió para los suelos cultivados, donde FE se correlacionó significativa

y positivamente con arena y en forma negativa con limo y arcilla, pero los valores de  $R^2$  fueron muy bajos (0,07, 0,04 y 0,08 para arena, limo y arcilla, respectivamente), e insuficientes para explicar el comportamiento de FE. Consecuentemente, no fue posible obtener una ecuación que permita calcular FE en función de las variables edáficas seleccionadas para los suelos bajo estudio. Es probable que los suelos estudiados, pertenecientes a una sola serie, no presenten la variabilidad que poseían otros suelos en los cuales fue posible obtener este tipo de ecuación, como en la región semiárida pampeana. Los suelos aquí estudiados fueron texturalmente bastante homogéneos, variando sus contenidos de arena, parámetro central en la definición de EF, entre 190 y 473 g/kg. Los contenidos de arena de los suelos analizados por López *et al.* (2007) variaron entre 91 y 825 g/kg. Esto permite inferir que el desarrollo de ecuaciones propias requerirá del análisis de otras series de suelo, para lograr una mayor variabilidad de los parámetros que determinan FE.

La ecuación [3], utilizada por López *et al.* (2007) para predecir valores de FE en función de variables edáficas, no fue útil para los suelos aquí estudiados (Fig. 4).

Esta ecuación subestimó valores elevados de FE en suelos de monte y sobreestimó los de suelos agrícolas, y sobreestimó la FE mínima en ambos casos. Estos resultados confirman que es necesario desarrollar ecuaciones para calcular FE en cada condición edáfica.

### DISCUSIÓN

Los menores valores de FE detectados en suelos agrícolas que en los de monte no coinciden con lo originalmente supuesto. Se esperaba que la agricultura, al producir disminuciones de los contenidos de MO, incrementaría la fracción erosionable por el viento. Los menores valores de FE de los suelos agrícolas se deberían a la formación de pseudoagregados o terrones (*clods*) de origen antrópico, creados por las operaciones de labranza realizadas en determinadas condiciones de humedad edáfica (Hamza & Anderson, 2005; Colazo & Buschiazzi, 2010), y condicionados por el alto contenido de fracción fina, principalmente limo, de la serie Tolosa. Altos contenidos de material fino habrían provocado un empaquetamiento de partículas y una formación de endurecimientos que habrían disminuido temporalmente FE. Estos resultados coinciden con los de Colazo & Buschiazzi (2010), quienes comprobaron que

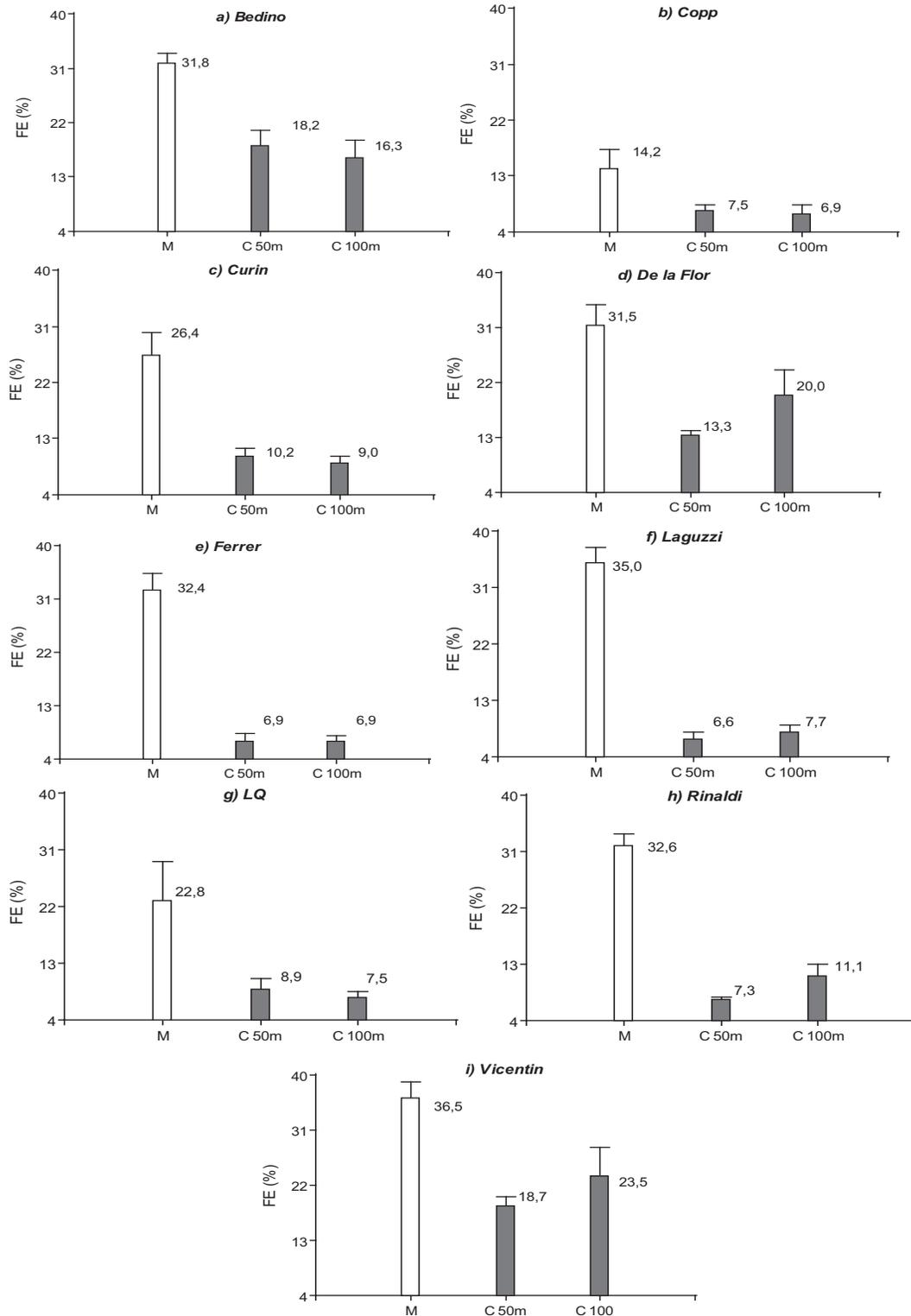


Figura 2. Promedio y desvío estándar ( $n=18$ ) de la fracción erosionable (FE) del suelo de monte y de los suelos agrícolas ubicados a dos distancias (50 y 100 m) del monte en los sitios a) Bedino, b) Copp, c) Curin, d) De la Flor, e) Ferrer, f) Laguzzi, g) LQ, h) Rinaldi, i) Vicentin.

Figura 2. Average and standard deviation ( $n=18$ ) of the fraction susceptible to erosion (FE) from pristine and agricultural soils located at two distances (50 and 100 m) from the bushes in sites a) Bedino, b) Copp, c) Curin, d) De la Flor, e) Ferrer, f) Laguzzi, g) LQ, h) Rinaldi, i) Vicentin.

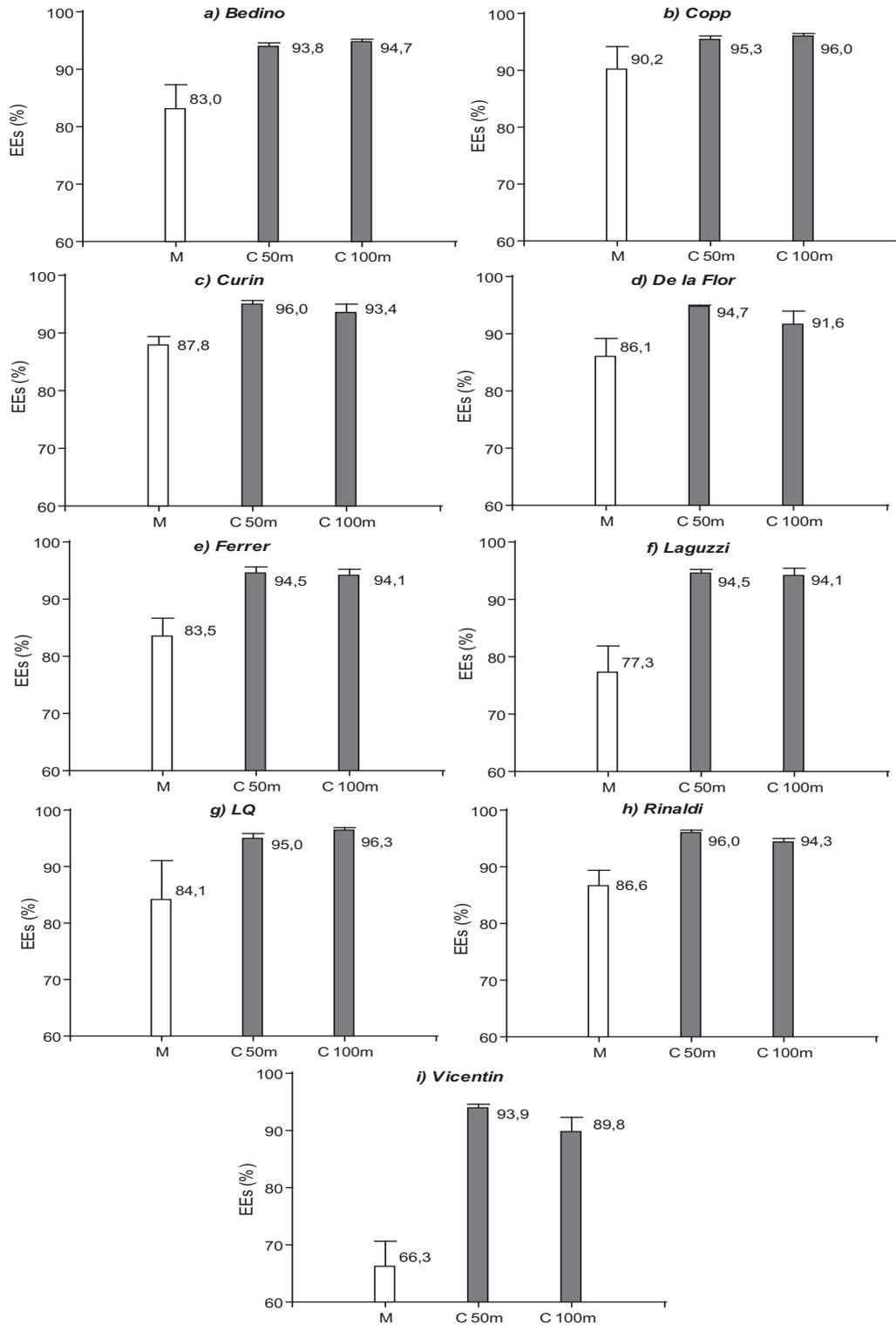


Figura 3. Promedio y desvío estándar (n=18) de la estabilidad estructural en seco (EES) del suelo de monte y de los suelos agrícolas ubicados a dos distancias (50 y 100 m) del monte en los sitios a) Bedino, b) Copp, c) Curin, d) De la Flor, e) Ferrer, f) Laguzzi, g) LQ, h) Rinaldi, i) Vicentín.

Figure 3. Average and standard deviation (n=18) of dry structural stability (EES) from pristine and agricultural soils located at two distances (50 and 100 m) from the bushes in sites a) Bedino, b) Copp, c) Curin, d) De la Flor, e) Ferrer, f) Laguzzi, g) LQ, h) Rinaldi, i) Vicentín

Tabla 2. Matrices de correlación entre variables para la condición monte (M) y agrícolas (C).  
Table 2. Correlation matrixes among variables for the pristine (M) and agricultural (C) conditions.

Monte						
	FE	EES	%Are	% Li T	% Arc	COT (g/kg)
FE	1,00					
EES	-0,61**	1,00				
%Are	0,21	-0,17	1,00			
% Li T	-0,13	0,09	-0,92**	1,00		
% Arc	-0,35*	0,30*	-0,72**	0,41**	1,00	
COT (g/kg)	0,23	-0,18	-0,14	-0,07	0,45*	1,00

Cultivos						
	FE	EES	Are	Li	Arc	COT (g/kg)
FE	1,00					
EES	-0,77**	1,00				
%Are	0,27**	-0,30**	1,00			
% Li T	-0,20*	0,22*	-0,92**	1,00		
% Arc	-0,29**	0,32**	-0,76**	0,45**	1,00	
COT (g/kg)	0,11	0,06	-0,32	0,31	0,22	1,00

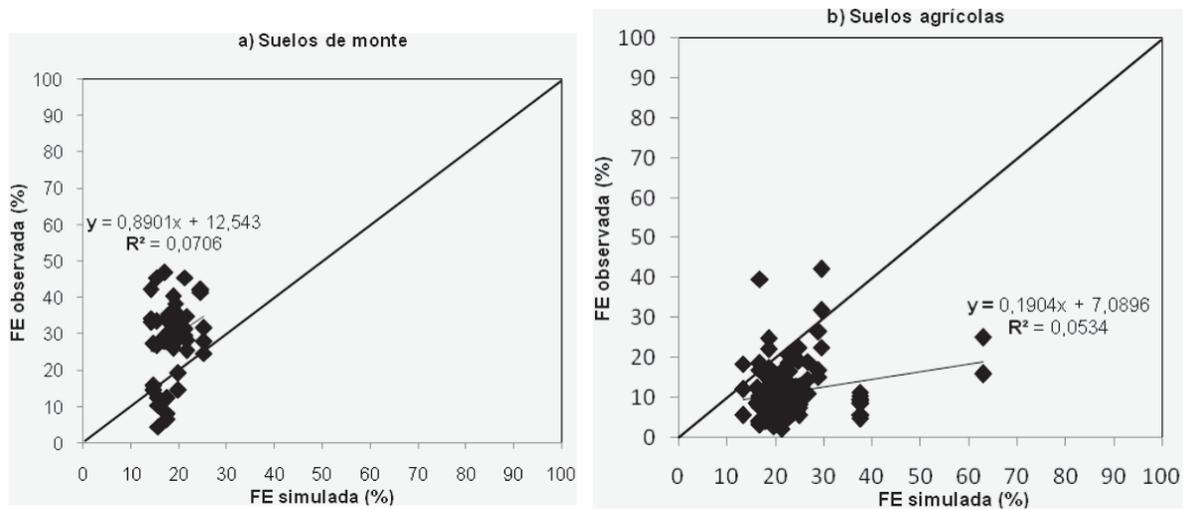


Figura 4. Relación entre FE medida y calculada mediante la ecuación de López (2007) para a) Suelos de monte y b) Suelos agrícolas  
Figure 4. Relationships between observed and simulated FE (Lopez et al., 2008) in a) natural forest - and b) agriculture soils.

suelos con contenidos de limo y arcilla mayores a 500 g kg<sup>-1</sup> presentaron mayores valores de agregados no erosionables. Es probable que los *clods* o terrones presenten baja estabilidad estructural en húmedo. Esto los haría susceptibles a la destrucción por efecto de la lluvia lo que incrementaría los riesgos de erosión eólica. La relación negativa entre FE y EES en los suelos agrícolas tuvo mayor significancia en suelos de monte que en cultivados.

Estos resultados no coinciden con los encontrados por Khormali *et al.* (2009), Campitelli *et al.* (2010) y Moebius-Clune *et al.* (2011) quienes encontraron relación positiva entre mayor estabilidad estructural y la condición menos disturbada. Wander & Bollero (1999), por medio de análisis de componentes principales, hallaron correlación positiva entre la EES y la densidad aparente; ambas variables se comportaron en forma opuesta a la estabilidad

estructural en húmedo. Sería necesario, en futuros estudios, contrastar los valores de EES aquí determinados con los de estabilidad estructural en húmedo.

La falta de ajuste entre FE y los valores calculados con ecuaciones de otros ambientes edáficos confirma la necesidad de desarrollar ecuaciones propias, para lo cual los datos obtenidos en este estudio fueron insuficientes. Esto coincide con resultados obtenidos en la Puna jujeña donde no se halló relación entre los valores de las ecuaciones de Fryrear (1994) & López (2007) con los valores medidos por el método de tamizado horizontal (Cabrera *et al.*, 2012). La falta de correlación entre la FE medida y los parámetros de suelos utilizados en modelos anteriores resaltan la necesidad de realizar mediciones en otras series de suelos de la provincia con el fin de hallar los parámetros que condicionan la erosión eólica potencial.

## CONCLUSIONES

Los suelos agrícolas presentaron valores menores de FE que los de monte y por ende, menor susceptibilidad a la erosión eólica. Posiblemente esto se deba a la formación de pseudoagregados o *clods* por efecto de labranzas realizadas en condiciones determinadas de humedad de suelo.

No se halló una relación significativa entre FE o EES con los años de desmonte, lo que indica que la susceptibilidad a la erosión de los suelos de monte destinados a uso agrícola en esta serie, no dependería del tiempo transcurrido desde los cambios de uso del suelo. La FE y la EES se correlacionaron negativamente en las dos situaciones de manejo.

Aunque la FE mostró tendencia a disminuir con el aumento de fracción fina y a aumentar en suelos agrícolas con el contenido de arena, estas relaciones no fueron suficientes como para ajustar un modelo predictivo de FE. Tampoco existió ajuste entre los datos experimentales y los calculados con ecuaciones de modelos validados para otras regiones del país.

Es necesario evaluar la estabilidad estructural en húmedo de los terrones y extender las mediciones a otras series de suelo para encontrar los parámetros que definen la FE de suelos de la zona y así poder establecer una ecuación de predicción para la región, que sustente la toma de decisiones en cuanto a rotaciones y prácticas de manejo de suelo adecuadas para preservarlo de la erosión eólica.

Aunque los valores de FE en suelos agrícolas fueron bajos, es importante tener en cuenta la influencia de la generación de cobertura para reducir al mínimo este parámetro.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio se financió con fondos del Proyecto Específico de INTA «Red de Monitoreo y Control de la Erosión Eólica en Argentina» (AERN 295571).

## BIBLIOGRAFÍA

- Aimar, SB; MJ Méndez & DE Buschiazzo. 2011. Predicción de la erosión eólica potencial con el modelo EWEQ en dos suelos loessicos: efectos de las condiciones climáticas. *Ci. Suelo (Argentina)* 29(2): 253-264.
- Arshad, MA & S Martin. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agr. Ecosyst. Environ.* 88: 153-160.
- Buschiazzo, DE; SB Aimar & K Stahr. 1995. Factores que afectan la estabilidad estructural de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central (Argentina). *Ci. Suelo (Argentina)* 13: 66-69.
- Cabrera, MP; AP Chávez; FR Rivelli & C Armata. 2012. Determinación de la fracción erodable en la Puna Jujeña. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 16 al 20 de abril de 2012.
- Campitelli, P; A. Aoki; O Gudelf; A Rubenacker & R Sereno. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ci. Suelo* 28(2): 233-231.
- Cantú, MP; A Becker; JC Bedano & HF Schiavo. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ci. Suelo (Argentina)* 25(2): 173-178.
- Chepil, WS. 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.* 26: 4-6.
- Colazo, JC & DE Buschiazzo. 2012. Cambios en la micro agregación de suelos loésicos de la Pampa Semiárida por efectos de manejo. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 16 al 20 de abril de 2012.
- Colazo, JC & DE Buschiazzo. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159: 228-236.
- de Oro LA, DE Buschiazzo & SB Aimar. 2012. Rugosidad superficial y erosión eólica de suelos de la Región Semiárida Pampeana. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16 al 20 de abril de 2012. Mar del Plata, Argentina.
- Di Rienzo, JA; R Macchiavelli & F Casanoves. 2010. Modelos Mixtos en Infostat. Manual de Usuario. <http://www.infostat.com.ar>
- Hamza, MA & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82: 121-145
- Kees, SM; SY Goytía & LG Dagnino. 2009. Avance de la Frontera Agropecuaria en el Chaco Semiárido en el período 2000-2007. <http://agr.unne.edu.ar/Extension/Res2009/index.htm>

- Khormali, F; M Ajami; S Ayoubi; Ch Srinivasaro & SP Wani. 2009. Role of deforestation and hillslope position on soil quality attributes of loess-derived soils in Golestan province, Iran. *Agr. Ecosyst. Environ.* 134: 178-189.
- Kohake, DJ; LJ Hagen & LL Skidmore. 2010. Wind erodibility of organic soils. *SSAJ*: 74: 1.
- Ledesma, LL. 1972. Fichas edafológicas de las series de suelos del Departamento Gral. Güemes. EEA INTA Sáenz Peña.
- López, MV; JM de Dios Herrero; GG Hevia; R, Gracia & DE Buschiazzo. 2007. Determination of the wind-erodible fraction of soil using different methodology. *Geoderma* 139: 407-411.
- Méndez, MJ & DE Buschiazzo. 2012. Erosión eólica en maíz y girasol bajo tres sistemas de labranza en un suelo de la Región Semiárida Pampeana. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16 al 20 de abril de 2012. Mar del Plata, Argentina.
- Moebius-Clune, BN; HM Van es; OJ Idowu; RR Schindelbelck; JM Kimetu & S Ngoze *et al.*, 2011. Long-term soil quality degradation along a cultivation chronosequence in wester Kenya. *Agr. Ecosyst. Environ.* 141: 86-99.
- Norma IRAM-SAGPyA 29571-2:2009. Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 2- Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro.
- Norma IRAM-SAGPyA 29574:2009. Determinación de pH en suelo para uso agropecuario.
- Panebianco, JE & DE Buschiazzo. 2008. Wind erosion predictions with the Wind Erosion Equation (WEQ) using different climatic factors. *Land Degrad. Dev.* 19: 36-44.
- Pinheiro, JC & DM Bates. 2000. Mixed-Effects Models in S and S-PLUS. Springer. 521 pp.
- Provincia del Chaco. 2009. Ley N° 6409 de Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos de Chaco.
- Rojas, JM; GS Guevara; SB Aimar & DE Buschiazzo. 2009. <http://agr.unne.edu.ar/Extension/Res2009/index.htm>
- Skidmore, EL & JB Layton. 1992. Dry- Soil Aggregate Stability as Influenced by Selected Soil Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 557-561.
- USDA. 1992. Soil Survey Laboratory Methods Manual Soil Survey Investigation Report N° 42 Versión 2.0.
- Volante, J; AR Bianchi; HP Paoli; YE Noé; HJ Elena & CM Cabral. 2005. Análisis de la dinámica del uso del suelo agrícola del Noroeste argentino mediante teledetección y SIG. Pro.Re.NOA. INTA, EEA Salta, Argentina.
- Wander, MM & GA Bollero. 1999. Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 961-971.
- Zobeck, TM & TW Popham. 1990. Dry aggregate size distribution of sandy soils as influenced by tillage and precipitation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 198-204.