

DEGRADACIÓN DE SUELOS DEL SO BONAERENSE Y SU RECUPERACIÓN*

Silenzi J.C., Echeverría N.E., Bouza M.E., De Lucia M.P.
Conservación y Manejo de Suelos, Dpto. de Agronomía, UNS

MARCO CONCEPTUAL

El suelo sufre la acción de factores degradantes naturales como fuertes lluvias, intensos vientos, temperaturas extremas, ascenso de capas freáticas salinas, inundaciones, etc. Generalmente estos factores actúan a gran escala y las consecuencias más comunes son: pérdida de suelo por lluvia y/o viento, acumulación de sales y/o elementos tóxicos para las plantas, lixiviación de bases, mineralización intensa del humus, óxido-reducción, cementación, etc. Estos procesos son relativamente lentos, intermitentes y recurrentes a lo largo de los años. Los mismos adquieren mayor importancia cuando son progresivos e irreversibles (Porta et al., 1999). Cuando la intensidad y velocidad del proceso aumenta, debido a la intervención antropogénica sobre el medio, la degradación se denomina acelerada. En esta situación se aprecia que la gestión humana puede disminuir la resistencia natural del suelo a la degradación y/o aumentar la agresividad ambiental.

«Degradación del suelo es un proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir (cuantitativamente y/o cualitativamente) bienes o servicios. La degradación de los suelos no es necesariamente continua, sino que puede ocurrir en un período relativamente corto entre dos estados de equilibrio ecológico» (FAO, 1980). La degradación causa una disminución en la calidad de los suelos, la cual deriva en una reducción de su productividad (Doran y Parkin, 1994).

Conceptualmente la calidad del suelo puede tener dos enfoques: uno estático, definiendo la calidad a partir de las propiedades inherentes al suelo como fueron determinadas por Jenny (1941) según los cinco factores formadores del suelo. Otro como calidad dinámica del suelo, la cual es el cambio en la función del suelo influenciado por el uso y manejo humano. En el segundo caso, la calidad es medida por el cambio en la capacidad del suelo para funcionar respecto de alguna referencia o condición de línea base o línea de nivel (Seybold et al., 1999). Cuando es posible el nivel de referencia para los indicadores de calidad está dado por la condición del suelo prístino (Silenzi, 1998).

En la ciencia del suelo, el término resiliencia del suelo (del inglés *soil resilience*) ha sido introducido en la década del 90. El concepto se usa para describir la reacción del suelo a un rango de impactos o disturbios. Debido a la complejidad

* Trabajo presentado por J.C. Silenzi en la Jornada: "EVOLUCION Y FUTURO DEL DESARROLLO DE PRODUCCIONES AGRICOLA-GANADERAS EN EL SO BONAERENSE", organizada por la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria - Comisión Académica Regional Sur, y el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, 24 de noviembre de 2011.

del sistema suelo y los muchos caminos en los cuales el suelo puede reaccionar a un disturbio externo, el término no ha sido definido operacionalmente. La resiliencia del suelo ha sido definida como la capacidad de un suelo para recobrar su integridad funcional y estructural después de un disturbio. Según Seybold et al. (1999) falta una definición precisa de la resiliencia del suelo a partir de la carencia de métodos para medirla. En este rumbo se avanza para lograr una definición en términos cuantitativos (USDA, 2001).

Funcionalidad e integridad estructural son definidas como una capacidad del suelo de desarrollar funciones vitales, tales como el sostenimiento de la actividad biológica diversificada y productiva.

Un disturbio es definido, de una manera general, como cualquier evento que causa un cambio significativo a partir de un patrón normal de funcionamiento de un ecosistema. El cambio depende de una escala temporal y espacial. A escala de tiempo geológico la mayoría de los eventos apuntan a un funcionamiento normal. Muchas perturbaciones son realmente necesarias para la función del ecosistema. Por ejemplo, la formación de una simple cueva de lombriz es claramente un disturbio a la escala espacial del sistema radicular de un césped y en la escala temporal de la vida útil de la planta. Pero, a escala de campo, esta perturbación debe ser considerada parte de un patrón normal. Entre las causas naturales se incluyen el fuego, terremotos, inundaciones, deslizamientos de tierra y tormentas de alta intensidad. Todas las actividades humanas relacionadas estrechamente con el uso y manejo de tierras pueden ser consideradas como causa de disturbio. La agricultura es una de las actividades que producen mayor disturbio del medio ambiente, la cual involucra un fuerte impacto por tráfico de vehículos, labranza, aplicación de fertilizante y pesticidas, y remoción o exclusión de especies de plantas competidoras (Seybold et al., 1999).

La capacidad de recuperación del suelo tiene dos componentes: la velocidad o ritmo de recuperación y el grado o nivel de recuperación. La velocidad de recuperación es la cantidad de tiempo que necesita el suelo para recuperar su potencial original luego de un disturbio. El grado de recuperación queda definido por la magnitud de recuperación para estabilizar algún potencial relativo al estado previo al disturbio.

Si el disturbio es muy drástico el suelo puede sufrir una degradación irreversible, por lo tanto su capacidad de recuperación no es viable en un tiempo razonable como puede considerarse un lapso de vida útil. En estos casos la capacidad de resiliencia del suelo ha sido excedida, resultando un daño permanente o bien se necesita una recuperación con alto costo económico.

En la opinión de los autores de este trabajo existe cierta anarquía en el uso de los términos resiliencia y recuperación del suelo. Algunas veces, tal como se lo ha usado anteriormente, son empleados como sinónimos; esto se debe a la reticencia de emplear el término resiliencia en el idioma español. Por otra

parte, el término recuperación, en la terminología empleada en conservación de suelo, implica la acción antropogénica que restablece la funcionalidad edáfica al nivel previo del disturbio. Por lo tanto, para hablar con más precisión **se propone emplear el término «amortiguación edáfica» en lugar de resiliencia del suelo, y recuperación del suelo cuando a la amortiguación edáfica se le suma una gestión de reparación de la funcionalidad del suelo.**

CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS, RIESGO DE EROSIÓN EÓLICA Y PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS DEL SO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

Introducción y significado del estudio

La erosión eólica es uno de los procesos de degradación de tierras que en forma natural, acelerada, o sus combinaciones se da en diversos lugares del mundo (Lal, 1990). Las regiones más susceptibles son aquellas que se caracterizan por presentar climas con escasas lluvias, altas temperaturas, elevadas tasas de evapotranspiración y fuertes vientos (Woodruff y Lyles, 1967). Estas condiciones meteorológicas ocurren en las denominadas «tierras secas» («*drylands*»), que genéricamente representan las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas del mundo (Reynolds et al., 2005). La Argentina tiene alrededor de 220 millones de hectáreas con dichas condiciones (Fryrear, 1990), de las cuales 30 millones sufren distintos grados de erosión eólica acelerada (PROSA, 1988). El SO de Buenos Aires se ubica en la región de «tierras secas» de la Argentina, con regímenes de humedad del suelo arídico, ústico y ústico/údicico (Ver figura 1) y con energías eólicas superiores a las del resto de la provincia (Brizuela y Aiello, 1988). En este último aspecto, la Unidad de Conservación y Manejo de Suelos de la UNS registró durante el período 2008-2010 más de 10 tormentas eólicas por año con una duración individual de 2 a 3 días, y con vientos máximos que superaron los 80 km/h. Estos eventos provocaron pérdidas de suelo, en terrenos sin vegetación y roturados, cercanas a las 22 toneladas por tormenta (Bouza et al., 2009; 2010).

La erosión eólica degrada los suelos en forma irreversible a través de distintas mecanismos (Buschiazzo y Taylor, 1993; Zobeck y Fryrear, 1986); entre otros, produce alteraciones en la humificación y en la acumulación de materia orgánica en el suelo (Buschiazzo et al., 2001; 2004), consecuentemente disminuye la fertilidad química (Lyles y Tatarko, 1986). Este aspecto incide significativamente contra la economía del SO de la Provincia de Buenos Aires, ya que la misma se apoya en gran parte en la producción trigo que, como se sabe en gran medida depende de la fertilidad de sus tierras. En este sentido, los últimos registros oficiales disponibles (2002-2005) indican que el SO aportó 13 millones de toneladas de trigo en ese quinquenio, lo cual representó el 32% de la producción de la Provincia. Las investigaciones y sus proyecciones estimativas indicaron que la producción pudo haber sido de 14,6 millones de toneladas si las tierras del SO no estuviesen en gran medida erosionadas por el viento (Silenzi et al., 1994; 2009).

Para enfrentar esta situación, es absolutamente necesario aplicar políticas y transferir tecnologías que sean capaces de detener la pérdida de suelo causada por el viento en las zonas rurales. La gestión de las tierras debe programarse para cada área en particular.

En este derrotero a cada estamento de la sociedad le cabe una responsabilidad. La de los investigadores y los técnicos es evaluar adecuadamente el potencial productivo de los recursos ambientales, especialmente el del suelo, y proporcionar directrices para gestiones sostenibles. El valor de los recursos del suelo y las posibilidades y limitaciones de las zonas agrícolas deben evaluarse plenamente empleando los mejores conocimientos científicos disponibles. Los científicos no pueden resolver problemas sociales y económicos por sí solos, pero sí pueden proporcionar información científica precisa para que en el ámbito político se tomen las decisiones correctas (Stewart et al., 1991). En este contexto, el modelo de erosión eólica «WEQ» (Woodruff y Siddoway, 1965) y sus versiones mejoradas se constituyeron en herramientas muy útiles para los proyectos de conservación de suelos (Elliot et al., 1991). El modelo puede predecir, con buena precisión, el riesgo de erosión eólica de acuerdo a distintas alternativas de gestión de la tierra (FAO, 1980). El mismo procesa parámetros de escasa resolución antropogénica - agresividad climática y erodabilidad del suelo-, y otros que el hombre puede modificar en forma «instantánea» -cobertura vegetal, rugosidad y espacio libre por donde fluye el viento-. Este modelo ha sido experimentado en suelos del SO de la provincia de Buenos Aires (Silenzi et al., 2010) y en otros suelos de la Argentina (Hevia et al., 2007; López et al., 2007; Colazo y Buschiazzo, 2010).

El estudio de la calidad del suelo en un medio agroecológico dinámico conduce a considerar diversos aspectos intrínsecos conducentes a su expresión productiva y a su capacidad amortiguadora medioambiental (Doran y Parkin, 1994; Harris y Bezdicek, 1994; Bezdicek et al., 1996; Seybold et al., 1999). Respecto de la interpretación de la calidad de las tierras con fines agronómicos, utilizando como herramienta base a los mapas de suelos, se han desarrollado diversas metodologías (Sys et al., 1991). Las más utilizadas en la Argentina han sido la Clasificación por Capacidad de Uso (Klingebiel y Montgomery, 1961), para resoluciones de detalle, y el Índice de Productividad (Riquier et al., 1970) a escalas de trabajo generalizadas. Este último sistema realiza una evaluación cuantitativa de la productividad de las tierras, para ello considera una serie de indicadores que tienen gran influencia sobre la calidad de las mismas.

Dentro de este marco, la Unidad de Conservación y Manejo de Suelos de la UNS, ha propuesto dar los primeros pasos para obtener un indicador de calidad de suelo para ambientes eólicos. Este indicador utiliza dos atributos ambientales de sostenibilidad: la productividad y el riesgo de erosión eólica (REE). La cuantificación de la productividad se sustenta en el IP y la cuantificación de REE se basa en la interacción entre la fracción del suelo erodible al viento (FE) y la agresividad climática (C) (Silenzi et al., 2011).

Resultados

El estudio abarcó los Partidos de Bahía Blanca, Coronel Dorrego, Coronel Pringles, Coronel Rosales, Coronel Suárez, Guaminí, Patagones, Puan, Saavedra, Tornquist y Villarino (Figura 1).

En este trabajo se considera al Partido de Guaminí como representativo de la zona de transición del régimen de humedad del suelo údico/ústico, a su vez el Partido de Bahía Blanca es reconocido como zona ústica y el Partido de Patagones es distintivo de la zona con régimen árido. Todo el SO presenta régimen de temperatura edáfico Térmico, lo que significa que a 50 centímetros de profundidad del suelo la temperatura oscila entre 15 y 22 °C.

El clima atmosférico de Guaminí es sub-húmedo, la precipitación anual es de 774 mm y la evapotranspiración potencial (ETP) alcanza a 745 mm por año, con déficit de humedad ligero en diciembre y febrero, y fuerte en enero. La temperatura anual promedio es de 14,3 °C. Bahía Blanca presenta una lluvia anual de 650 mm y ETP de 760 mm por año; el balance hídrico señala déficit pronunciado en diciembre, enero, febrero, recarga desde marzo a septiembre, y uso consuntivo durante octubre y noviembre (Capelli y Campo, 1994). Los vientos predominantes son del N y NO, con velocidades erosivas* equivalentes a 2522 horas por año (Brizuela y Aiello, 1988). El promedio anual de temperatura del aire es de 14.9 °C. Patagones tiene clima árido, el promedio anual de lluvia alcanza a 362 mm y la ETP es de 774 mm. El balance hídrico señala fuerte déficit de octubre a abril, recarga de junio a julio, y uso consuntivo en mayo, agosto y septiembre. La temperatura del aire es de 14,1 °C como promedio anual.

De las 10.491.172 ha que abarca el SO de Buenos Aires, los suelos dominantes a nivel de Orden (USDA, 1999), son los Molisoles que se extienden por 7.759.943 ha (74%), luego los Entisoles con 1.531.082 ha (15%) y los Aridisoles que abarcan 1.200.147 ha (11%). Ver figura 2 y tabla 1 para conocer la información detallada a nivel de Dominio edáfico. *

En cuanto a la erodabilidad eólica («I») de los suelos del SO, evaluada a nivel de Orden, nuestras investigaciones indican que los Entisoles son los que presentan mayores índices, 105-146 Mg ha⁻¹ año⁻¹, siguen los Aridisoles con índices que varían entre 60 y 105 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y los Molisoles con índices que van de 4 a 85 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Ver tabla 1 para conocer la información detallada a nivel taxonómico de Familia.

La categorización de los Dominios edáficos (DE) según el «I» (Ver Fig. 2 y Tabla 1) indica que el DE 1, superficie de 296.694 ha (2,83% del SO), presenta un «I» Ligero (0-5 Mg ha⁻¹ año⁻¹), por lo tanto no requiere medidas especiales de manejo. Los DE 2; 3; 12; 26, que suman 4.439.774 ha (42,32%), presentan «I» Moderado (6-50 Mg ha⁻¹ año⁻¹), consecuentemente se debe asumir que necesitan un nivel moderad/alto de manejo para controlar la erosión eólica.

* Se considera que el viento erosiona el suelo a partir de una velocidad de 8 ms⁻¹ (Lyles, 1983; Stout y Zobeck, 1996)

* Resultados propios obtenidos a partir del procesamiento de la información que aporta el Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires (INTA, 1989).

Por su parte los DE 14; 16; 28; 30 con 4.212.205 ha (40,15%) tienen «I» Alto (51-100 Mg ha⁻¹ año⁻¹) y los DE 4; 5; 6; 27 que representan 1.542.499 ha (14,70%) asumen un «I» Muy Alto (101-200 Mg ha⁻¹ año⁻¹). De acuerdo a estos resultados se debe pensar que el 54,85 % de la superficie del SO necesita muy alto nivel de manejo para conservar sus suelos del viento.

En cuanto al «I» a nivel de Partido (ver figura 1) los resultados indican que con categorización Alta (51-100 Mg ha⁻¹ año⁻¹) aparecen Coronel Rosales, Patagones, Villarino, Puan, Guaminí y Coronel Dorrego. Con valores Moderados de «I» (6-50 Mg ha⁻¹ año⁻¹) se ubican los municipios de Bahía Blanca, Saavedra, Tornquist, Coronel Pringles, y Coronel Suárez. Analizando las tablas 1 y 2 vemos que los municipios con altos valores de «I» presentan un alto porcentaje de suelos clasificados como Entisoles y/o Aridisoles.

Por su parte la agresividad climática promedio anual (factor «C» del modelo WEQ), muestra una tendencia a relacionarse con el régimen de humedad del suelo, ver figura 2 y tabla 2. Los Partidos ubicados en la transición de la zona údica/ústica muestran los menores valores de «C», así se presentan Coronel Suárez con 7%, Saavedra 5%, Guaminí 7%. Mientras que los Partidos localizados donde comienza en la zona ústica presentan valores de «C» un poco más alto que los anteriores, Tornquist 14%, Puán 18%, Coronel Pringles 21%, y Coronel Dorrego 35%. En el epicentro de la zona ústica los valores de «C» se incrementan aún más, Bahía Blanca 57%, Coronel Rosales 55%, Villarino 37%. En la zona áridica el «C» excede el valor patrón, alcanza en Patagones a 120%.

En la figura 3 se muestra el factor de agresividad climático a nivel mensual («C_m») (Woodruff y Armbrust, 1968), para los Partidos de Guaminí, Bahía Blanca y Patagones, considerados como representativos de la zona údica/ústica, ústica y áridica, respectivamente. Se observa que los «C_m» menores se ocurren a fines del otoño y durante todo el invierno, se incrementan abruptamente en primavera, alcanzan los valores máximos durante la primera mitad del verano, y luego descienden en forma marcada.

El riesgo de erosión eólica (REE), calculado para cada Partido del SO, indicó que sólo Patagones presenta valor en categoría Muy Alta (> 100 Mg ha⁻¹ año⁻¹). La mayoría de los municipios presentan REE Moderado (6-50 Mg ha⁻¹ año⁻¹), como los casos de Coronel Rosales, Villarino, Bahía Blanca, Coronel Dorrego, Puan y Tornquist. En categoría Ligera (< 6 Mg ha⁻¹ año⁻¹), se ubican el resto de los municipios: Saavedra, Guaminí, Coronel Suárez, y Coronel Pringles. En cuanto a la evaluación del Índice de Productividad (IP) de los suelos a nivel de Orden, resultó que los Molisoles presentan los mejores IP del SO bonaerense, con valores que van de 17% a 58%. A su vez los IP de los Entisoles fluctúan entre 5 y 30% y el de los Aridisoles entre 7 y 15%.

Estudiado el IP en relación al promedio ponderado por Partido, las tierras con capacidad para agricultura (IP > 40%) aparecen en Coronel Suárez, Coronel

Dorrego, Coronel Pringles y Saavedra (Ver tabla 2. Tierras con capacidad agrícola en rotación con pasturas perennes para ganadería (IP 40-30%) se ubican en Tornquist, Guaminí, Bahía Blanca, Puan y Coronel Rosales. Finalmente, las tierras con capacidad para producción ganadera (IP < 30%) se sitúan en Villarino y Patagones.

Se debe destacar que existe relación lineal entre el RRE y el IP a nivel de municipio: $REE = 95,23 - 2,09 * IP$ ($R^2 = 66\%$).

DEGRADACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUELOS DEL SUR DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Justificación del estudio

Los establecimientos agropecuarios del Sur DE LA Provincia de Buenos Aires presentan serios problemas de gestión ambiental. Los mismos responden a diversas causas concurrentes tales como:

- Tierras de capacidad de uso naturalmente limitadas, agravada por el estado actual de degradación y elevada susceptibilidad a la erosión.
- Severa agresividad climática, caracterizada por vientos fuertes, lluvias escasas y erráticas, y un período prolongado de heladas.
- Poca aplicación de tecnología en relación a las necesidades reales de los sistemas productivos.
- Condiciones socio-económicas fuertemente restrictivas para la producción agrícola/ganadera.

Como consecuencia de la problemática señalada, la degradación de las tierras se va acelerando con el transcurso del tiempo, la rentabilidad productiva es nula, la población rural abandona los campos y migra hacia los centros urbanos, produciéndose la desertificación de la región.

Objetivo

Evaluar la degradación y recuperación del carbono orgánico, nitrógeno total, estabilidad de la estructura y del riesgo de erosión eólica, como resultado de distintos manejos de corto y largo plazo de suelos conspicuos del Sur de Buenos Aires.

Situaciones de uso y manejo de suelos investigadas:

V: representa los casos de suelos «vírgenes» o prístinos de monte. Son terrenos nunca arados y poco pastoreados –por presentar una situación prácticamente inaccesible al ganado-.

Ag-: responde a los casos de agricultura «racional» en los últimos 50 años. Los suelos comprendidos en este tratamiento se ubican en lotes que según

las encuestas y la observación de campo –perfil cultural- indican que el suelo no sufrió excesiva agresión antropogénica.

Ag+: implica a los lotes donde se aplicó agricultura de alta agresividad en los últimos 50 años. Generalmente responden a «quintas» hortícolas, lotes muy arados y con muchos cultivos de cosecha en su historial.

Alf: los casos involucran pasturas base alfalfa consociadas con gramíneas de 4-5 años de producción.

PLL-: son lotes con «pasto llorón» de alrededor de 6-7 años de producción.

PLL+: responde a lotes con «pasto llorón» de aproximadamente 12-15 años de producción.

Todos los tratamientos con pasturas (Alf; PLL- y PLL+) fueron sembrados en lotes provenientes de historia agrícola excesiva y prolongada (Ag+).

Suelos seleccionados:

Haplustoles Énticos y Ustipsamientos Típicos por ser de los más representativos del Sur bonaerense. Los Haplustoles Énticos presentan limitaciones permanentes importantes: alta a severa susceptibilidad a la erosión eólica, escasas lluvias, limitada capacidad de retención hídrica en el perfil, moderada profundidad efectiva. Además presentan limitaciones no permanentes como piso de arado y poca fertilidad química. Son suelos de moderada aptitud agrícola, sus limitaciones restringen la selección de los cultivos de cosecha a los de ciclo invernal y algunos pocos estivales con fines forrajeros, exclusivamente. La Capacidad de Uso de estos suelos según el sistema del USDA (Klingebiel y Montgomery, 1961) es clasificada como IIIec/IVe. Los Ustipsamientos Típicos presentan las mismas limitaciones que los anteriores suelos pero en mayor magnitud. Por lo tanto son suelos que tienen pocas o nulas posibilidades de sustentar cultivos invernales de cosecha. La Capacidad de Uso es clasificada como IVe ó VIe según sea la susceptibilidad a la erosión eólica.

Resultados

Indicador: carbono orgánico (CO).

De la figuras 4 y 5 surge que los niveles originales de CO se degradaron según la intensidad de los procedimientos agrícolas empleados durante 50 años. En este contexto, los Ustipsamientos sufrieron más la agriculturización que los Haplustoles. . Estos últimos tienen capacidad para resistir una agricultura conservacionista (Ag⁻), pero sienten comprometidos sus niveles de CO cuando son sometidos a procedimientos agrícolas intensivos (Ag⁺). En cambio los Entisoles han sufrido la degradación del CO bajo todos los sistemas agrícolas

evaluados (Ag; Ag⁺), lo cual lleva a indicar que en estos suelos las labranzas deben ser aplicadas ocasionalmente mediante formas conservacionistas muy precisas.

El comportamiento de la degradación del CO observada en este estudio, confirma la escasa o nula capacidad agrícola que presentan los suelos del S bonaerense y lo acertados que están los sistemas de clasificación de aptitud de las tierras de Klingebiel y Montgomery (1961) y de Riquier et al. (1970). Resultados de este tipo alientan, al menos a los docentes la cátedra de Conservación y Manejo de Suelos, a seguir insistiendo en la importancia de planificar la gestión productiva de los campos a partir de la interpretación de la calidad de las tierras.

En cuanto a las posibilidades de recuperación del CO mediante el empleo de pasturas, los resultados no son alentadores a corto plazo, pero sí lo son a largo plazo. Tanto Alf y PLL- no recuperaron significativamente CO, en cambio si lo hizo PLL+. De acuerdo a estos resultados se puede creer que para recuperar los niveles iniciales de CO del suelo se necesitarían alrededor de 30 o más años de pasto llorón. Esta situación es posible técnicamente, pero muy complicada desde el punto de vista productivo en el marco legislativo actual.

El análisis estadístico marcó diferencias altamente significativas entre los suelos y entre los manejos seleccionados. No hubo interacción entre suelo y manejo, lo que indicó que los suelos respondieron en forma similar a los manejos. En la figura 6 se presentan los contrastes planteados a priori en base a las hipótesis de trabajo. Los contrastes de manejo se resolvieron en forma conjunta al no haber interacción suelo por manejo.

Indicador: nitrógeno total (Nt).

De la figura 7 se desprende que el Nt tuvo un comportamiento similar al del CO en ambos suelos, aunque mostró mayor acercamiento entre Ag- y Ag+, y una tendencia de recuperación más favorable a largo plazo (PLL+).

Indicador: inestabilidad estructural del suelo (CDMP).

El análisis descriptivo de la figura 8 señala que, a igual manejo, los Ustipsamientos siempre son más inestables que los Haplustoles. Estadísticamente con distintos grados de significancia muestran lo mismo. Dentro de este panorama, se aprecia que la Ag- no produce importante deterioro estructural como ocurre con la Ag+. La recuperación de la estabilidad marca que, todas las pasturas ofrecen buenos resultados respecto del suelo degradado por Ag+; inclusive la recuperación del suelo en PLL+ es tan importante que supera los valores originales del suelo V.

A partir de los resultados observados en el CDMP en este trabajo, y en otros realizados por la unidad de Conservación y Manejo de Suelos de la UNS, se piensa que este parámetro, por su sensibilidad para reflejar variaciones de

manejo antropogénicos a corto y mediano plazo, debería ser incorporado como indicador de sustentabilidad ambiental. Es un indicador que se anticipa a las variaciones positivas o negativas que puede sufrir el suelo ante determinadas presiones de uso.

Variable: riesgo de erosión eólica (REE).

En este caso se incluyen los Paleustoles Petrocálculos, además de los Haplustoles Énticos y Ustipsamientos Típicos empleados en el estudio de las variables anteriores. También se aclara que el REE fue pronosticado mediante la WEQ (Woodruff y Siddoway, 1965) en su versión actualizada EWEQ (Panebianco y Buschiazzo, 2007). Las predicciones se hicieron para dos situaciones climáticas: un factor climático «normal» o promedio, que surgió de utilizar registros meteorológicos promedios de series de 20 años, y un factor climático «alto» o extremo que se obtuvo empleando registros meteorológicos de años de sequía y fuertes vientos; ejemplo para el Sur bonaerense: años 2008 y 2009. Para el cálculo del factor climático medio (FC medio) de Villarino se emplearon registros de la estación meteorológica del INTA Hilario Ascasubi, y para Bahía Blanca de la estación Comandante Espora (SMN, 2002); mientras que el factor climático alto (FC alto) de ambos Partidos se tomaron los propuestos por Panebianco y Buschiazzo (2007). Para Villarino el FC medio fue 0,37 y el FC alto de 3,15; mientras que para Bahía Blanca resultaron de 0,56 y 9,66; respectivamente.

El REE se estimó bajo dos formas de medición, una como cantidad de suelo por superficie y por tiempo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$), como aparecen en la tabla 3, y otra como lámina de suelo por tiempo (mm año^{-1}), tal se indican en las figuras 9; 10; 11; 12.

Los resultados indican que el REE siempre es mayor en los Ustipsamientos, luego disminuye en los Haplustoles y es menor en los Paleustoles. Este comportamiento se da para los dos Partidos y para todas las situaciones de manejo. La conducta de los suelos es atribuido fundamentalmente a la calidad del epipedón. En cuanto a la influencia del manejo a corto y largo plazo, en promedio para los tres suelos, marca una diferencia importante de comportamiento respecto del riesgo de erosión eólica. Con la agricultura se mantiene la misma tendencia observada en los indicadores anteriores, a mayor intensidad aumenta el REE. Por otro lado mejora la resistencia del suelo con el uso de pasturas de corto plazo; la diferencia respecto de los indicadores anteriores es que, las praderas base alfalfa resulta en este aspecto mejor que el pasto llorón. Para alcanzar una mejor interpretación del universo experimental planteado se sigue investigando a fin de incorporar los tratamientos restantes y más registros de los tratamientos presentados.

BIBLIOGRAFÍA

- Bezdicsek, D.C., Papendick, R.I., Lal, R. 1996. Introduction: Importance of Soil Quality to Health and Sustainable Land Management. In: Doran, J.W. y Jones, A.J. (eds). *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication N° 49: 1-8.
- Bouza M.E., Silenzi, J.C., Echeverría, N.E., De Lucia, M.P., 2009. Monitor station of wind erosion in South West of Buenos Aires province. *Drylands Science for Development (DSD)*. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). First Scientific Conference: Understanding Desertification and Land Degradation Trends. Poster Session at the UNCCD COP-9. Buenos Aires, 21 Sept. - 2 Oct. 2009. Book Abstracts pp 15-16. http://dsdconsortium.jrc.ec.europa.eu/documents/Poster_Session_Abstract_Book.pdf
- Bouza M.E., Silenzi, J.C., Echeverría, N.E., De Lucia, M.P., 2011. Analysis of erosive events for a soil in the southwest of Buenos Aires Province, Argentina, *Aeolian Research*, 3(4): 427-435.
- Brizuela, A.B., Aiello, J.L., 1988. El recurso eólico en la Provincia de Buenos Aires. *Estadísticas de Viento*. Red Solarimétrica, CNIEA, Centro Espacial San Miguel. SNpp.
- Buschiazzo, D.E., Taylor, V. 1993. Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelos de la región Semiárida Pampeana Argentina. *Ciencia del Suelo* 10: 46-53.
- Buschiazzo, D. E. , Hevia, G. G. Hepper, E. N. Urioste, A. Bono, A. A. Babinec F. 2001. Organic C, N, and P in Size Fractions of Virgin and Cultivated Soils of the semi-arid Pampa of Argentina. *Journal of Arid Environments* 48 (4): 501-508.
- Buschiazzo, D.E.; H.D. Estelrich, S. B. Aimar, E. Viglizzo, F. Babinec. 2004. Soil organic matter in the Caldenal woodland of Argentina as influenced by soil texture and tree coverage. *Journal of Range Management* 57 (5): 511-516.
- Capelli, A., Campo, A., 1994. La transición climática en el sudoeste bonaerense. Monografía N° 5 SIGEO, Departamento de Geografía, Univ. Nac. del Sur. 77 pp.
- Colazo, J.C., Buschiazzo, D.E., 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159: 228-236.
- Doran, J.W. , Parkin, T.B. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. In Doran JW, Coleman DC, Bezdicsek DF and Stewart BA (eds): *Defining Soil*

- Quality for a Sustainable Environment. Soil Sci. Soc. Am., Inc. Madison, WI, USA. SSSA Sp. Pub. N° 35: 3-21.
- Elliot W.J., Foster, G.R., Elliot, A.V., 1991. Soil Erosion: Processes, Impacts, and Prediction. In Soil Management for Sustainability, R. Lal and F.J. Pierce, editors. Published by the Soil and Water Conservation Society, Chap. 5: 25-34.
- FAO-UNEP-UESCO, 1980. Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. 86 pp. ISBN 92-5-300869-5.
- Fryrear, D.W., 1990. Wind erosion: Mechanics, prediction and control. *Adv. Soil Sci.* 13: 187-189.
- Harris, R.F., Bezdicek, D.F., 1994. Descriptive Aspects of Soil Quality/Health. In Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF and Stewart BA (eds): Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Sci. Soc. Am., Inc. Madison, WI, USA. SSSA Sp. Pub. N° 35: 23-35.
- Hevia, G., Méndez, M., Buschiazzo, D.E., 2007. Tillage affects soil parameters linked with wind erosion. *Geoderma* 140, 90–96.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Proyecto PNUDARG 85/019. CIRN, Instituto de Evaluación de Tierras, 525 pp + Cartas.
- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill, N.Y., 281 p.
- Klingebiel, A.A., Montgomery, P.H., 1961. Land Capability Classification. USDA, Soil Conservation Service, Agric. Handbook N° 210.
- Lal, L. 1990. Soil erosion and land degradation: the global risks. In: Lal R., Stewart B.A. (Eds) *Soil Degradation*. *Adv. Soil Sci.* 11: 129-172.
- López, M.V., de Dios Herrero, J.M., Hevia, G.G., Gracia, R., Buschiazzo, D.E. 2007. Determination of the wind erodible fraction of soils using different methodologies. *Geoderma* 139: 407–411.
- Lyles, L., 1983. Erosive wind energy distribution and climatic factor for the west. *J Soil Water Conserv.* 41, 191-193.
- Lyles, L., Tatarko, J., 1986. Wind erosion effects on soil texture and organic matter. *J. Soil Water Conserv.* 41: 191-193.
- Panebianco, J.E., Buschiazzo, D.E., 2007. Ecuación de erosión eólica en Español. EWEQ 1.1 (Traducción y adaptación). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) ed. CD.

- Porta J., López-Acevedo M., Roquero C., 1999. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Capítulo 23, Degradación de suelos por erosión hídrica: conservación de suelos y aguas, pp: 601-653. Ediciones Mundi-Prensa, 2º edición, 849 pp.
- PROSA (Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua), 1988. El Deterioro del Ambiente en la Argentina. Ed. FECIC (Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura), ISBN: 950-9149-27-6, 497 pp.
- Reynolds, J.F., Stafford Smith, D.M., Lambin, E.F., Turner, B.L., Mortimore M., Batterbury, S.P.J., Downing, T.E., Dowlatabadi, H., Fernandez, R.J., Eric, J.E., *et al.* 2007. Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science* 316:847-851.
- Riquier, J., Bramao, L., Cornet, S.P., 1970. A New System or Soil Appraisal In Terms of Actual and Potential Productivity: FAO Soil Resources No 38. Rome, Italy.
- Seybold C.A., Herrick, J.E., Bredja, J.J. 1999. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil Sci.* 164: 224-234.
- Silenzi, J.C., Bravo, O.A., Echeverría, N.E., Grossi T., 1994. Influencia de la pérdida de suelo de un Haplustol Éntico sobre el rendimiento de trigo Candeal. Actas del III Congreso Nacional de Trigo, Bahía Blanca, Argentina, pp 105-106.
- Silenzi, J.C., 1998. Degradación Antrópica y Manejo Sustentable de Tierras (Sector Norte del Partido de Villarino, Bs. As.). Tesis de Magíster en Ciencias del Suelo. Universidad Nacional del Sur, Argentina. pp. 240.
- Silenzi, J.C., Echeverría, N.E., Bouza, M.E., De Lucia, M.P., 2009. The wind erosion cost in the South West of Buenos Aires Province. *Drylands Science for Development (DSD)*. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). First Scientific Conference: Understanding Desertification and Land Degradation Trends. Poster Session at the UNCCD COP-9. Buenos Aires, 21 Sept. - 2 Oct. 2009. Book Abstracts pp 29-30. http://dsd-consortium.jrc.ec.europa.eu/documents/Poster_Session_Abstract_Book.pdf
- Silenzi J.C., Echeverría, N.E., Vallejos, A.G., Bouza, M.E., De Lucia, M.P., 2010. Relationship between soil erodible fraction determined by rotary sieve and soil erodible fraction calculated by formula. International Conference on Aeolian Research VII (ICAR VII) and II Jornadas Argentinas de Erosión Eólica (Session 7), Santa Rosa (La Pampa), 5-9 julio 2010.

- Silenzi J.C., Echeverría, N.E., Vallejos, A.G., Bouza, M.E., De Lucia, M.P., 2011. Wind erosion risk in the southwest of Buenos Aires Province, Argentina, and its relationship to the productivity index. *Aeolian Research*, 3 (4):419-425.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional), 2002. Estadísticas climatológicas 1991-2000. Buenos Aires. Argentina. CD. Publicación B12, 240 p.
- Stewart, B.A., Lal, R., ElSwaify, A., 1991. Sustaining the Resource Base of an Expanding World Agriculture. In *Soil Management for Sustainability*, R. Lal and F.J. Pierce, Editors. Published by the Soil and Water Conservation Society, Chap. 11: 125-144. ISBN 0-935734-23-6.
- Stout, J.E., Zobeck, T.M., 1996. The Wolfforth field experiment: a wind erosion study. *Soil Sci.* 161: 617-632.
- Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J., 1991. Land Evaluation, Part I: Principles in Land Evaluation and Crop Production Calculations. International Training Centre for Post-Graduate Soil Scientists University Ghent (ITC), Agricultural Publications N° 7, 274 pp.
- USDA, United States Department of Agriculture Agriculture- Natural Resources Conservation Service, 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. *Agriculture Handbook N° 436*, 2° ed, 871 p.
- USDA, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute, 2001. Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning, 38 pp.
- Woodruff, N.P., F.H. Siddoway. 1965. A wind erosion equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29:602-608.
- Woodruff, N.P., Lyles, L., 1967. Tillage and land modification to control wind erosion. Reprinted from: *Tillage for Greater Crop Production (Conference Proceedings. December 11 and 12, 1967, pp 63; 64; 65; 66; 67; 70)*. Published by American Society Engineers, St. Joseph, Michigan.
- Woodruff, N.P., D.V. Armbrust, 1968. A monthly climatic factor for the wind erosion equation. *J. Soil and Water Conserv.* 23: 103-104.
- Zobeck, T.M., Fryrear, D.W., 1986. Chemical and physical characteristics of windblown sediment, I Quantities and physical characteristics. *Trans. ASAE* 29: 1032-1036.

Tabla 1. SO bonaerense: Dominios edáficos (DE), índice de Productividadaa (IP), fracción erodible (FE), índice de erodabilidad eólica del suelo (I), suelos dominantes y área.

DE (Nº)	IP (%)	FE (%)	I (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Suelo dominante	Área	
					(ha)	(%)
1	17,4	20	4	Hapludol Lítico, franco fino	345.546	3,29
2	53,9	40	47	Argiudol Típico, fino Argiudol Típico, franco fino	3.176.740	30,28
3	40,7	36	38	Haplustol Típico, fino Haplustol Lítico, franco fino	835.645	7,97
4	21,9	54	105	Torrripsament Ústico Ustipsament Típico	768.449	7,32 -
5	12,3	54	105	Haplargid Típico, franco grueso	307.632	2,93
6	14,8	53	101	Haplocalcid Típico, franco grueso Haplargid Típico, fino	588.208	5,61
12	58,2	41	49	Argiustol Típico, fino	375.195	3,58
14	26,3	50	85	Haplustol Éntico, franco grueso	206.770	1,97
16	49,5	49	80	Hapludol Éntico, franco grueso Hapludol Típico, franco fino	2.460.628	23,45
26	4,9	36	38	Ustifluent Ácuico, franco fino	465.371	4,44
27	16,1	65	146	Udipsament Típico Cuarzisament Típico	297.262	2,83 -
28	6,9	49	80	Natrargid Típico, franco fino Fluveaquent Típico, franco fino	304.307	2,90
30	27,6	43	54	Haplustol Éntico, franco grueso Ustortent Típico, franco grueso	359.419	3,43
Total					10.491.172	100

Tabla 2. Dominios edáficos (DE) principales y promedios ponderados del índice de erodabilidad eólica (I), factor climático eólico (C), riesgo de erosión eólica (REE) e índice de Productividad (IP) de los Partidos del SO bonaerense.

Partidos (área, ha)	Nº DE (área, %)	I (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	C (%)	REE (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	IP (%)
Bahía Blanca (230.000)	3 (83,3) 26 (8,1)	39,3	57	22,4	34
Coronel Dorrego (586.500)	2 (14,4) 3 (15,3) 12 (51,3)	53,1	35	18,6	46
Coronel Pringles (524.500)	2 (41,7) 3 (14,2) 23 (12,4)	32,2	14	4,5	43
Coronel Rosales (129.500)	12 (47,3) 26 (12,3) 27 (30,8)	87,6	55	48,2	32
Coronel Suárez (598.500)	1 (10,3) 2 (43,2) 23 (34,4)	30,2	7	2,1	48
Guaminí (484.000)	2 (33,7) 16 (34,9) 30 (21,8)	59,6	5	3,0	10
Patagones (1.360.000)	6 (43,3) 5 (22,6) 26 (13,9)	87,2	120	104,6	10
Puan (638.500)	2 (38,5) 3 (19,9) 4 (12,8)	67,9	18	12,2	32
Saavedra (350.000)	1 (23,8) 2 (74,0)	34,9	7	2,4	42
Tomquist (418.300)	1 (11,4) 2 (36,0) 3 (52,2)	32,2	21	6,8	39
Villarino (1.140.000)	4 (60,2) 26 (21,2) 28 (13,6)	85,7	37	31,7	16

Tabla 3. Riesgo de erosión eólica (REE) para los suelos más representativos de los Partidos de Villarino y Bahía Blanca según situación climática anual promedio o extrema y condición del suelo por el manejo recibido.

Suelo	Ustipsament Típico		Haplustol Éntico		Paleustol Petrocálcico	
	Factor climático					
	Medio	Alto	Medio	Alto	Medio	Alto
Villarino						
Manejo	REE (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)					
Ag-	57	489	39	331	20	170
Ag+	84	719	57	489	24	205
alf	60	508	31	268	15	126
PLL-	67	574	42	360	18	155
Bahía Blanca						
Manejo	REE (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)					
Ag-	88	1.497	60	1.014	31	522
Ag+	130	2.202	88	1.497	37	628
alf	92	1.555	48	821	23	386
PLL-	104	1.758	65	1.101	28	473

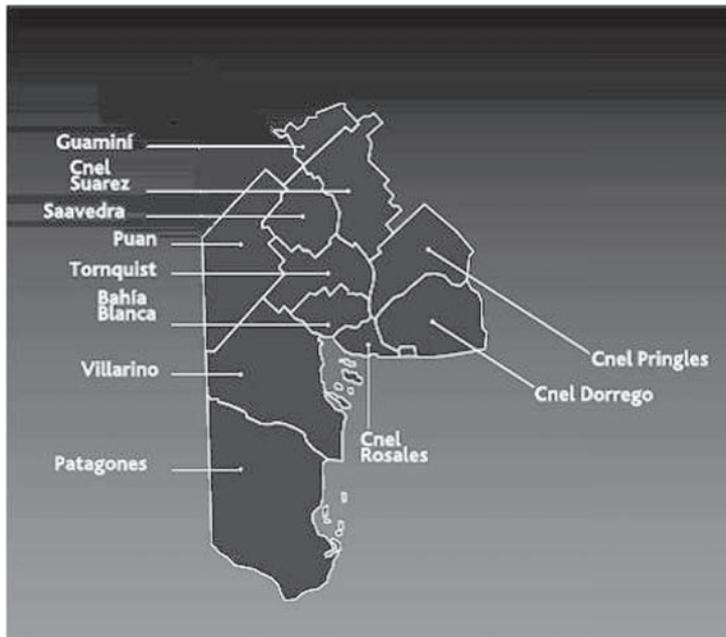


Figura 1. Partidos del SO de la provincia de Buenos Aires.

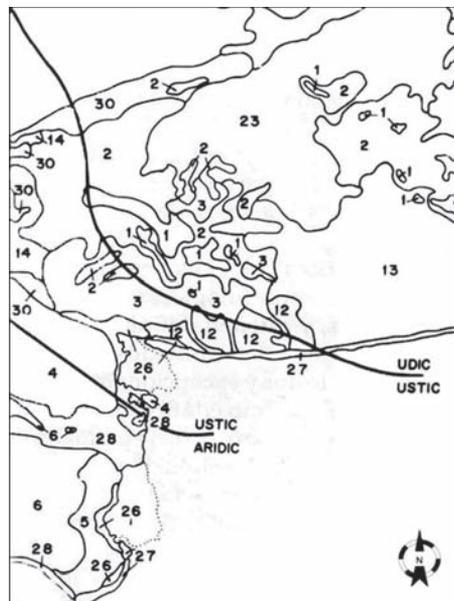


Figura 2. SO Bonaerense: Dominios edáficos y regímenes de humedad del suelo (INTA, 1989).

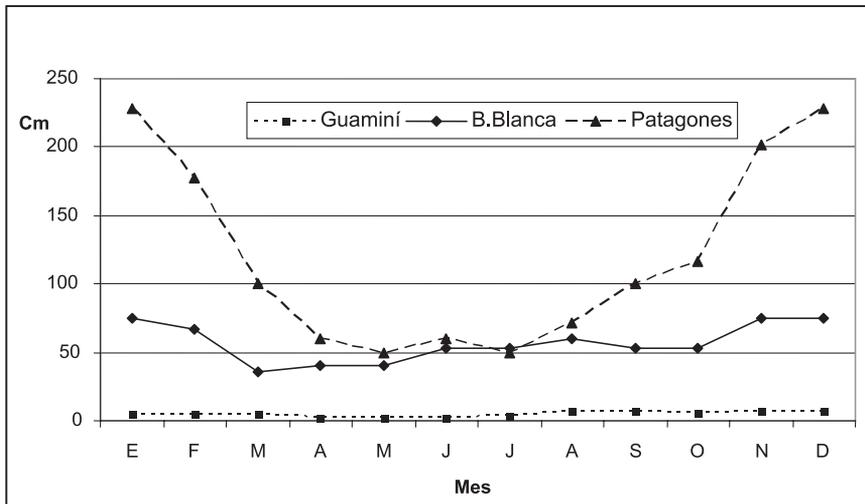


Figura 3. Coeficiente climático mensual.

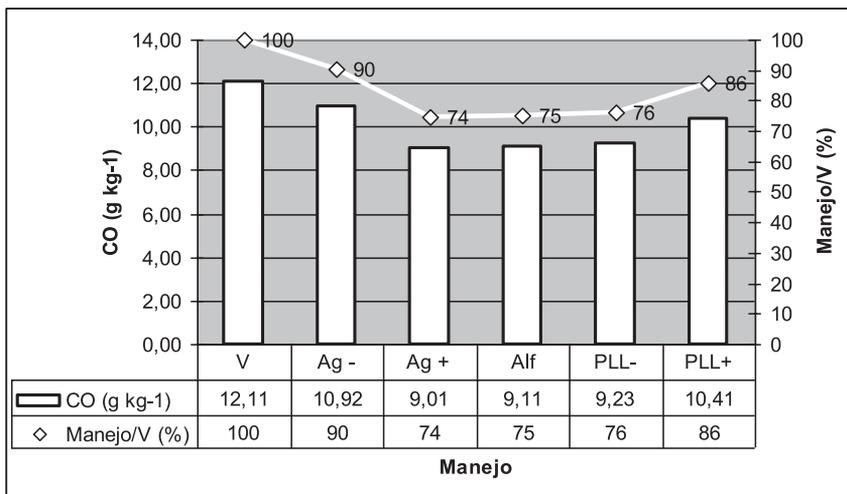


Figura 4. Haplustoles Énticos: contenido actual de carbono orgánico (CO) según los manejos.

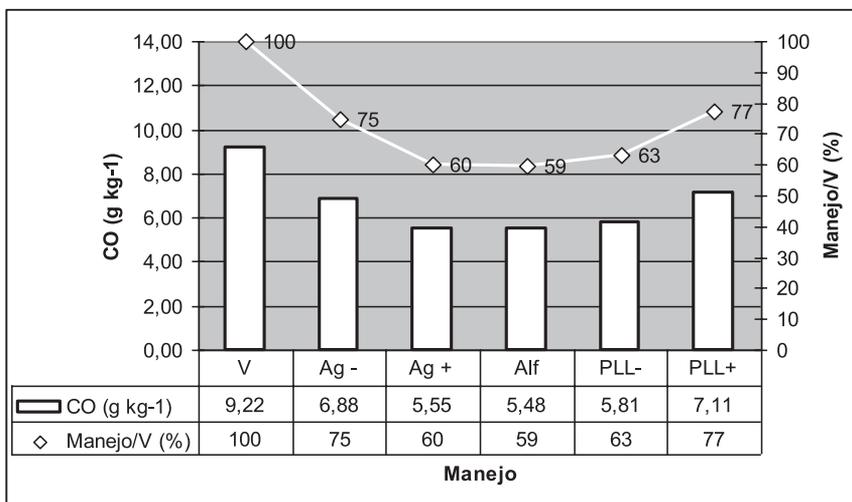


Figura 5. Ustipsamientos Típicos: contenido actual de carbono orgánico (CO) según los manejos.

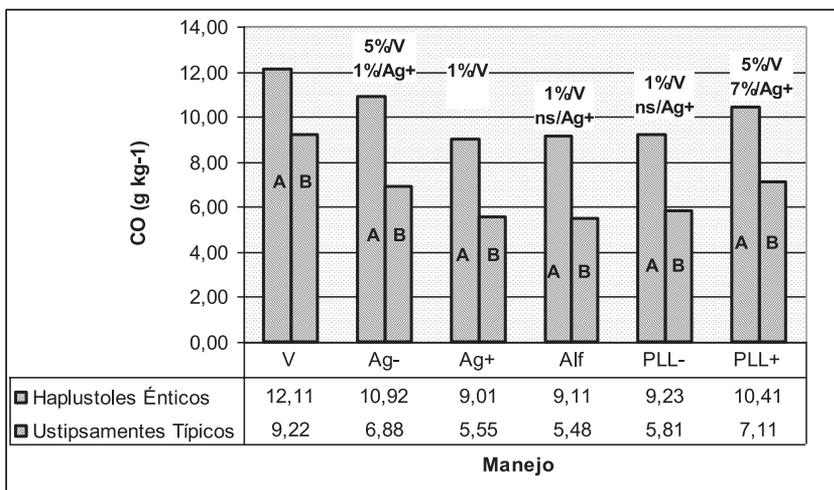


Figura 6. Carbono orgánico, contrastes estadísticos entre suelos y manejos. Las letras mayúsculas distintas indican la diferencia significativa ($p < 0,01$) entre los suelos para un mismo manejo. Los contrastes entre manejos son de los dos suelos en conjunto y se efectuaron respecto de V y de Ag⁺ con el grado de significancia que aparece arriba de la barra perteneciente a cada manejo.

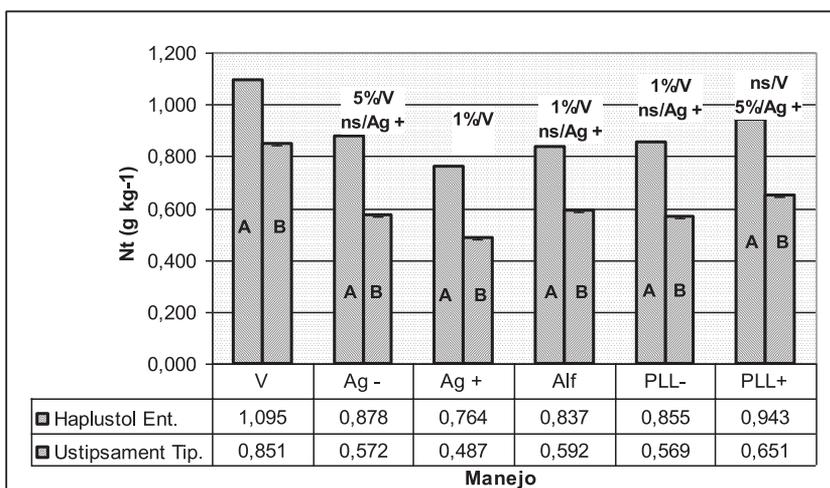


Figura 7. Nitrógeno total, contrastes estadísticos entre suelos y manejos. Las letras mayúsculas distintas indican la diferencia significativa ($p < 0,01$) entre los suelos para un mismo manejo. Los contrastes entre manejos son de los dos suelos en conjunto y se efectuaron respecto de V y de Ag^+ con el grado de significancia que aparece arriba de la barra perteneciente a cada manejo.

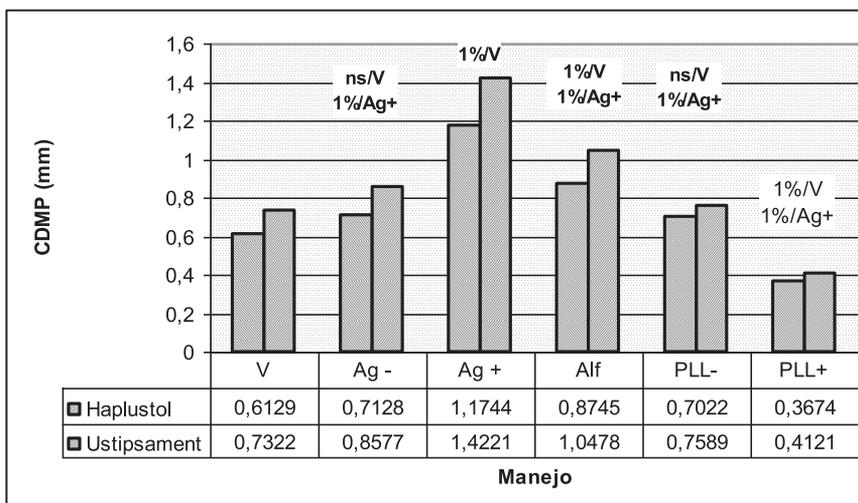


Figura 8. Inestabilidad de la estructura de los suelos, comparación entre manejos.

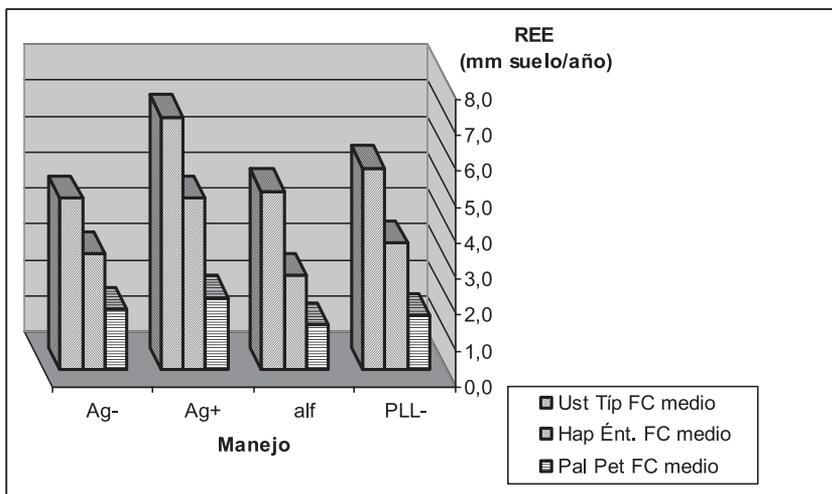


Figura 9. Riesgo de erosión eólica actual de suelos del Partido de Villarino, según el manejo y situación climática promedio histórico. La estimación se efectuó mediante el modelo WEQ utilizando la información climática de Ascasubi de la serie de registros meteorológicos de 20 años (1971-1990).

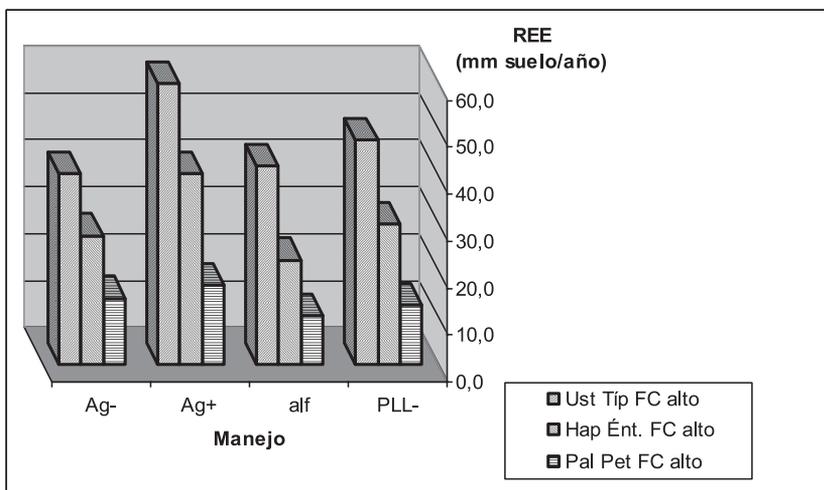


Figura 10. Riesgo de erosión eólica actual de suelos del Partido de Villarino, según el manejo y situación climática "extrema". La estimación se efectuó mediante el modelo WEQ utilizando la información climática de Panebianco y Buschiazzo (2007).

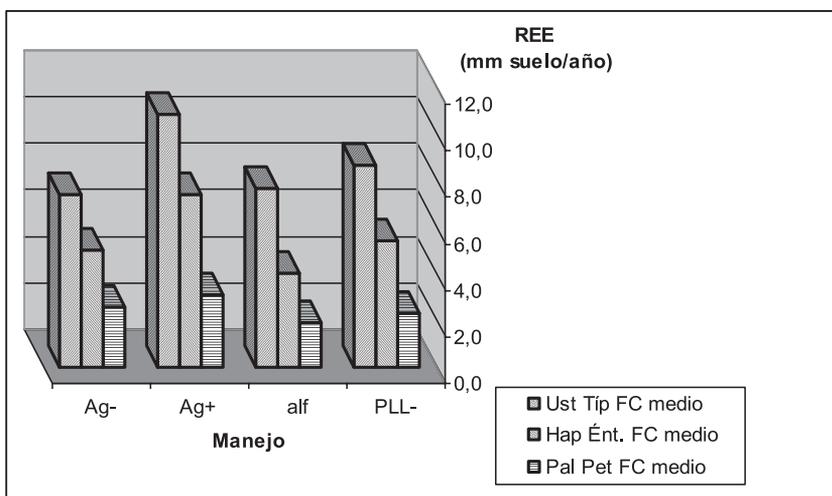


Figura 11. Riesgo de erosión eólica actual de suelos del Partido de Bahía Blanca, según el manejo y situación climática promedio histórico. La estimación se efectuó mediante el modelo WEQ utilizando la información climática de Comandante Espora de la serie de registros meteorológicos de 20 años (1971-1990).

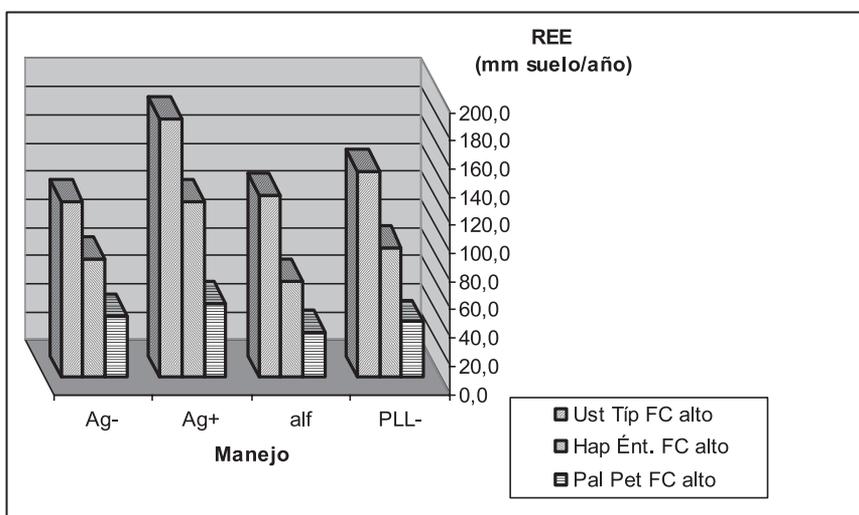


Figura 12. Riesgo de erosión eólica actual de suelos del Partido de Bahía Blanca, según el manejo y situación climática "extrema". La estimación se efectuó mediante el modelo WEQ utilizando la información climática de Panebianco y Buschiazzo (2007).



Fotografía 1. Erosión eólica en un Haplustol Éntico, bajo agricultura intensa (Ag+). La deflación dejó expuesto el "piso de arado". La pérdida de suelo involucró totalmente a la capa arable (16-18 centímetros). El proceso ocurrió durante el 2008, año caracterizado por la intensa sequía y los fuertes vientos (Factor climático "alto" según la WEQ).



Fotografía 2. Erosión eólica en un Ustipsament Típico bajo agricultura intensa (Ag+). La imagen muestra un alambrado de 7 "hilos" con la parte baja del poste descubierta por la deflación (sector más claro entre el suelo y el tramo oscuro del poste que responde a alguna quemazón antigua del alambrado). La pérdida de suelo fue de aproximadamente 12-15 centímetros y ocurrió durante el 2009, año de intensa sequía y fuertes vientos.