

NOTA

INCIDENCIA POTENCIAL DE LA EROSIÓN EÓLICA SOBRE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO Y LA CALIDAD DEL AIRE EN DISTINTAS REGIONES DE LA ARGENTINA

DANIEL E BUSCHIAZZO¹; JE PANEBIANCO²; G GUEVARA³; J ROJAS³; JJ ZURITA³; D BRAN⁴; D LÓPEZ⁴; J GAITÁN⁴ & P HURTADO⁵

¹ EEA INTA Anguil (Ing. Agr. Guillermo Covas) e Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales (INCITAP, UNLPam-CONICET), CC 300 (6300) Santa Rosa, La Pampa. buschiazzo@agro.unlpam.edu.ar

² Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales (INCITAP, UNLPam-CONICET), CC 300 (6300) Santa Rosa, La Pampa. panebianco@agro.unlpam.edu.ar

³ EEA INTA Sáenz Peña, Ruta 95 km 1108, Pcia. Roque Sáenz Peña, Chaco. jrojas@chaco.inta.gov.ar

⁴ EEA INTA Bariloche, CC 277, (8400) Bariloche, Río Negro. dbran@bariloche.inta.gov.ar

⁵ EEA INTA San Luis. CC 17 (5730) V. Mercedes, San Luis. phurtado@sanluis.inta.gov.ar

Recibido: 14-04-09

Aceptado: 29-05-09

RESUMEN

La erosión eólica puede alterar la calidad de los suelos y la atmósfera. La magnitud de estos efectos es variable según el tipo de suelo y su uso, y está asociada con el tipo de transporte de las partículas: rodadura y saltación deterioran más el suelo mientras que la suspensión tiende a emitir partículas finas (PM10) afectando la calidad del aire. El objetivo de este estudio fue analizar la magnitud de la erosión eólica en diferentes suelos de la Argentina, con el fin de inferir su incidencia sobre la degradación del suelo y la emisión de partículas finas a la atmósfera. El estudio se llevó a cabo en cuatro sitios de la Argentina, ubicados en las provincias de Chaco (CHA), San Luis (SLU), La Pampa (LPA) y Río Negro (PAT). En los mismos se midió la erosión eólica a campo en parcelas cuadradas de 1 ha, por medio de colectores BSNE. Los resultados indican que tanto el material total circulante en el ambiente, definido como el flujo de masa (FM), como la erosión del suelo (Q), fueron mayores en los sitios con suelos menos evolucionados de SLU (Ustipsamment) y LPA (Haplustol) y menores en los sitios con suelos más evolucionados de CHA (Hapludol) o con suelos poco evolucionados pero con cobertura vegetal permanente de pastos naturales de PAT (Haplargid). El transporte de material se realizó, principalmente, por saltación y rodadura en SLU, LPA y CHA y por suspensión en PAT. En este último sitio la presencia de cobertura vegetal, aunque en baja proporción (10%), elevó el perfil del viento e incrementó la suspensión. El cociente FM/Q, un índice de la proporción de la erosión del suelo en relación a la movilización total de material en el ambiente, fue máxima en PAT, intermedia en SLU y LPA y mínima en CHA. Se pudo concluir que en ambientes con altas velocidades de viento, suelos poco evolucionados como los Haplargides pero con manejos pastoriles que mantienen coberturas permanentes de pastos, la erosión eólica afectaría relativamente más a la calidad del aire que a la del suelo. La magnitud de este proceso estaría regida, principalmente, por el área disponible para la erosión. En suelos sometidos a manejos agrícolas, frecuentemente desnudos y de bajo grado de evolución como los Ustipsammentes y Haplustoles, la erosión eólica tendría efectos intermedios, afectando tanto a la calidad del suelo como a la del aire. Finalmente, en suelos relativamente más evolucionados y sometidos a manejos agrícolas como los Hapludoles, la erosión afectaría en mayor medida a la calidad del suelo, siendo la emisión de partículas finas de relativa menor importancia.

Palabras clave. Erosión Eólica, Degradación del Suelo, Partículas Finas.

POTENTIAL EFFECTS OF WIND EROSION ON SOIL DEGRADATION AND AIR QUALITY IN DIFFERENT REGIONS OF ARGENTINA

SUMMARY

Wind erosion can impact soil and air quality. The magnitude of these effects depends on the soil type and management conditions, and is associated with the transport conditions of soil particles: saltation and rolling affect soil quality to a greater extent while suspension tends to increase the emission of fine particles to the atmosphere. The objective of this research was to determine the magnitude of both type of movements in soils of Argentina, in order to predict potential effects on soil or air quality. This study was carried out in four provinces of Argentina: Chaco (CHA), San Luis (SLU), La Pampa (LPA) and Río Negro (PAT). In each case, wind erosion was measured in the 1 ha-square fields by means of BSNE samplers. Results indicated that the total amount of transported material, the so-called mass flux (FM) as well as the absolute amount of eroded soil (Q) were higher in sites with less developed soils of SLU (Ustipsamment) and LPA (Haplustoll) and lower in sites with a better developed soil of CHA (Hapludoll) or with less developed soil but with permanent soil cover with natural grasses of PAT (Haplargid). Saltation and rolling were the main transport forms in SLU, LPA and CHA and suspension in PAT. Though low (10%), the plant coverage existing in this last site was enough to increase the height of the wind profile and to favor the transport of particles by suspension. The quotient FM/Q, an index of the proportion between net soil erosion and the total amount of particles moving in the air, was highest in PAT, medium in SLU and LPA and minimum in CHA. We concluded that wind erosion of Haplargids in environments with high and constant wind speeds, but with a permanent coverage with natural grasses, will not be high and will promote mainly the emission of fine particles at low rates. The extent of this process will largely depend on the surface available for erosion. Wind erosion of cultivated Ustipsamments and Haplustolls, which remain frequently bare, will be high and will affect the soil and the air quality in similar proportions. Wind erosion of cultivated Hapludolls will be high but will affect relatively more the soil than the air quality.

Key words. Wind Erosion, Soil Degradation, Fine Particles.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de ecosistemas áridos y semiáridos son propensos a sufrir erosión eólica debido a su limitado desarrollo pedogenético, las condiciones climáticas secas y ventosas de los ambientes en los cuales evolucionan y manejos frecuentemente degradantes (Peterson *et al.*, 2006).

La erosión eólica puede alterar la fertilidad física y química de los suelos (Lyles & Tatarko, 1986; Buschiazzo & Taylor, 1993; Gabel, 1993), afectando el rendimiento de los cultivos (Lyles, 1975; Woodruff, 1965; Armbrust, 1984), o puede provocar impactos ambientales negativos. Uno de estos impactos es la liberación de partículas con diámetros menores a 10 μm (PM10) a la atmósfera (Buschiazzo & Aimar, 2003). Estas partículas pueden ocasionar enfermedades respiratorias en humanos (Iwai *et al.*, 2005), participar de los cambios del clima global (McConnell, 2007) o alterar las cadenas tróficas marinas (Meskhidze, 2007).

La producción de PM10 desde lotes erosionados está directamente asociada al transporte de partículas por suspensión, mientras que la erosión del suelo se produce mayormente a través de los movimientos de rodadura y saltación (Buschiazzo & Aimar, 2003). Por esa razón, el movimiento de las partículas definirá la magnitud de la erosión del suelo o la potencial polución de la atmósfera con partículas finas.

El tipo de transporte de las partículas varía, principalmente, con la composición textural del suelo, aunque la agregación y la cobertura vegetal son también parámetros determinantes. Chepil (1945) demostró que suelos de texturas medias producen mayor proporción de partículas movilizadas por suspensión y que la agregación del suelo aumenta el tamaño de las partículas finas e incrementa el movimiento por rodadura y saltación. Hoffmann *et al.* (2008) indican que la presencia de cobertura vegetal puede desplazar el perfil del viento hacia arriba, disminuyendo la cantidad absoluta de material erosionado e incrementando la cantidad de partículas movilizadas por suspensión.

Los suelos de ambientes secos de la Argentina sufren procesos erosivos por viento cuyas magnitudes son parcialmente conocidas. En la Patagonia predominan suelos de texturas gruesas, con abundancia de fragmentos líticos de distinto tipo, derivados de sedimentos terciarios y material volcánico (Fidalgo & Rabassa, 1984). Estos ambientes tienen, por lo general, manejos basados en sistemas pastoriles, en los cuales la cobertura vegetal generalmente es permanente. La planicie arenosa de San Luis posee suelos de texturas gruesas, derivados de sedimentos eólicos modernos (Moscatelli & Puente, 1996), mientras que las regiones loésicas Pampeana y Chaqueña poseen suelos de texturas finas y de mayor grado de evolución (Moscatelli & Puente 1996). En estos tres últimos ambientes los suelos permanecen frecuentemente sin cobertura, debido al laboreo propio de los sistemas agrícolas. En estas condiciones es de suponer que la erosión de suelos derivados de loess sea mayor y movilice proporcionalmente más material a mayores alturas que los evolucionados sobre sedimentos más gruesos de San Luis. En la Patagonia la cobertura disminuiría la erosión total e incrementaría la movilización de partículas a mayores alturas.

El objetivo de este estudio fue analizar la magnitud de la erosión eólica de diferentes suelos de la Argentina, sometidos a los manejos más frecuentes de cada región, a fin de inferir la incidencia actual que este proceso posee sobre la degradación del suelo y la emisión de partículas finas a la atmósfera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo en cuatro sitios diferentes de la Argentina: Pampa del Infierno, Provincia de Chaco (CHA) (26° 22' S y 61° 27' W); Buena Esperanza, Provincia de San Luis (SLU) (34° 21' S, 65° 22' W), Santa Rosa, Provincia de La Pampa (LPA) (36° 32' S 64° 17' W) y Pilcaniyeu, Provincia de Río Negro (PAT) (41° 02' S y 71° 30' W). Las principales características climáticas y edáficas de cada sitio se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características climáticas y edáficas de cada sitio.

Table 1. Climatic and edaphic characteristics of each site.

Sitio	Condiciones climáticas (medias anuales)				Características del Suelo		Tipo de Suelo
	Pptac. (mm)	Temp. (°C)	Veloc. (km h ⁻¹)	Dirección del viento	MO (%)	FE * (%)	
CHA	1.189	20,7	9,3	NE-SW	1,50	31,0	Hapludol Típico
SLU	763	15,4	11,7	NE-SW	0,80	69,0	Ustipsammente Típico
LPA	830	15,4	11,5	N-S	1,84	55,0	Haplustol Éntico
PAT	268	7,7	22,2	W-E	0,85	51,0	Haplargid Xerólico

* Determinado con la ecuación EF (%) = 9,98 + 6,91 Arena (%) / Arcilla (%) + 14,1 / materia orgánica (%), sugerida por López *et al.* (2007) para los suelos analizados.

En cada sitio se midió la erosión a campo en una parcela cuadrada de 1ha. La superficie circundante a la parcela se mantuvo con cobertura vegetal suficiente como para evitar el movimiento de partículas desde las inmediaciones durante todo el período de medición. En todos los sitios, excepto en PAT, la parcela de medición se mantuvo con mínima rugosidad, mediante el roturado con implementos de discos. Las condiciones de la superficie del suelo en estos casos fueron comparables, ya que la rugosidad superficial, orientada y no orientada fue similar. En PAT estas operaciones no fueron necesarias ya que la superficie del suelo se mantuvo con una cobertura constante del 10%, respondiendo a las condiciones de manejo más frecuentes de la región. La cobertura vegetal del suelo en CHA, SLU y LPA fue del 0%, considerando que en estos sitios se llevan a cabo manejos agrícolas que frecuentemente dejan los suelos desnudos.

La erosión eólica se midió con colectores BSNE (Fryrear, 1986), contruidos de chapa galvanizada, de forma trapezoidal y compuestos de dos partes: una bandeja inferior que colecta la muestra y otra superior que se acopla por encima a la anterior y posee dos mallas de 0,3 y 1 mm de diámetro. Estas mallas retienen material grueso indeseable, no producido por erosión del suelo, como restos de vegetales, insectos u otras sustancias. El material entra por una boca rectangular de 2 x 5 cm, ubicada en la base menor de la bandeja superior. El flujo de aire que entra al colector sufre una disminución de su velocidad al chocar con la cara opuesta y el material transportado cae a través de las mallas a la bandeja inferior. El flujo de aire es desviado hacia la malla superior, por donde sale nuevamente. Una veleta adosada al extremo posterior de un bastidor que soporta al colector, orienta la boca de entrada en la dirección predominante del viento.

En la mitad de cada lado de cada parcela se ubicó un punto de muestreo de erosión, totalizando, por ende, cuatro puntos de muestreo en cada parcela. Cada punto de muestreo contuvo tres colectores BSNE ubicados a 13,5 cm, 50 cm y 150 cm de altura.

En las inmediaciones de cada parcela se instaló una estación meteorológica automática que registró los datos de velocidad de viento a 2 m de altura cada 15 minutos. Las principales características de las tormentas analizadas en cada sitio se presentan en la Tabla 2.

Los siguientes valores de cantidad de material erosionado se calcularon para este estudio:

a. el flujo de masa total (FM) de cada tormenta. Su obtención requirió calcular el flujo de masa en cada punto de muestreo (FM_i), para lo cual se integró la ecuación [1] entre 0 y 1,5 m de altura:

$$FM_i = a \exp(bz) \quad [1]$$

En esta ecuación *FM_i* es el flujo de masa en cada punto de muestreo a la altura *z*, *a* es el flujo de masa en la superficie (*z* = 0) y *b* representa la tasa de decaimiento respecto a la altura. Se consideró flujo de masa total de cada tormenta al medido en el punto de muestreo posicionado a sotavento con respecto a la dirección del viento predominante durante la misma.

b. la erosión neta de cada suelo durante cada tormenta (Q) se calculó restando FM de los colectores ubicados a sotavento menos FM de los ubicados a barlovento, en la dirección del viento predominante en cada tormenta (Fig. 1).

Tabla 2. Velocidad y duración de los vientos erosivos durante los períodos de muestreo.
Table 2. Wind speed and storm duration during sampling periods in each studied site.

Sitio	Número de tormentas	Velocidad media del viento(km h ⁻¹)	Tiempo de tormentas erosivas (horas)
CHA	32	23,6	178
SLU	24	5,86	264
LPA	28	25,3	428
PAT	7	23,7	430

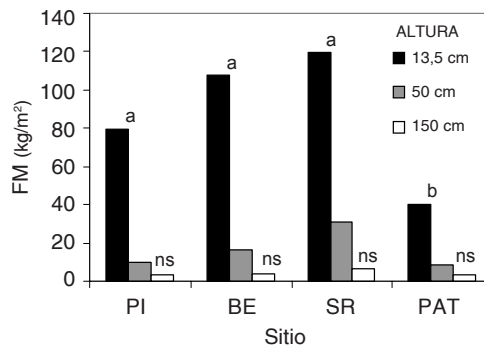


Figura 1. Flujo de masa a diferentes alturas en cada sitio de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre sitios (P<0,05). ns = no significativo.

Figure 1. Mass flux at different heights in each sampling field. Different letters indicate significant differences between sites (P<0.05). ns = no significant.

Los datos de FM y Q de cada tormenta se corrigieron, dividiéndolos por el producto de la velocidad promedio de las tormentas erosivas y la duración de estas tormentas en cada evento y sitio de muestreo. Esto permitió eliminar el efecto de velocidades y duraciones variables en cada sitio y la comparación entre los mismos. Se consideraron velocidades erosivas a aquellas mayores a $6,7 \text{ m seg}^{-1}$, velocidad umbral del viento para los suelos del centro de la Argentina según de Oro y Buschiazzo (2008). Las duraciones de las tormentas erosivas se calcularon en base a la suma de minutos con vientos superiores a la velocidad umbral en cada evento y sitio.

Los datos de FM y Q totales (suma de los determinados en cada tormenta) se compararon entre sitios por medio de ANOVA, considerando como repeticiones a los datos de cada tormenta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Flujo de masa (FM)

La Tabla 3 muestra los valores de FM totales, corregidos por la velocidad media del viento y la duración de las tormentas ocurridas en cada sitio. Estos valores se ordenaron en la secuencia SLU (794) > LPA (421) > PAT (153) = CHA (73), e indican que el movimiento total de partículas fue mayor en los suelos menos evolucionados: el Ustipsamment desarrollado sobre arenas eólicas de SLU y el Haplustol formado sobre loess en LPA. El suelo loésico más evolucionado de CHA (Hapludol) y el poco evolucionado (Haplargid) pero con cobertura vegetal de PAT, presentaron los menores valores de FM.

De acuerdo a lo esperado, los suelos menos evolucionados mostraron valores de FM más altos que los más evolucionados y por ende menos erosionables de CHA. Cierta grado de cobertura vegetal sobre la superficie en forma permanente en el Haplargid de PAT redujo significativamente la magnitud de FM.

La Figura 1 muestra los valores de FM medidos a diferentes alturas. Se observa que la movilización total

de partículas cerca de la superficie del suelo (13,5 cm) representó entre un 76 y 86% del total del material transportado en todos los sitios, en coincidencia con resultados de Chepil (1945).

En CHA, SLU y LPA, la cantidad de partículas movilizadas a 13,5 cm de altura fue de 17 a 24 veces mayor que las movilizadas a 150 cm, mientras que en PAT esta proporción fue de sólo 12. Esto indica que en PAT existió una menor proporción de material movilizado por saltación y rodadura, lo que implica que, aunque la magnitud absoluta fue baja, la erosión emitió relativamente más partículas finas a la atmósfera y erosionó poco el suelo.

La mayor cantidad de material movilizado a bajas alturas en los sitios con suelos loésicos que en PAT coincide con lo supuesto originalmente y es atribuible a la presencia de cobertura vegetal en este último sitio. La cobertura habría incrementado la turbulencia del aire circulante, desplazando hacia arriba el perfil del viento e incrementando la cantidad de material transportado a mayor altura (Hoffmann *et al.*, 2008).

Erosión Neta (Q)

El cociente entre la cantidad de material erosionado en cada parcela (Q) y el producto de la velocidad promedio del viento y la duración de los eventos erosivos, permite corregir Q y comparar tormentas de diferentes velocidades y duraciones. Si bien es cierto que el uso del cociente $Q/V.D$ pudo haber producido sobreestimaciones de Q en sitios con velocidades de viento elevadas, ya que la relación entre Q y V es lineal sólo dentro de ciertos valores de V, es sabido que este error es menor que las diferencias de erosión existentes entre sitios de muestreo (Funk, com. pers.).

La Tabla 3 muestra que este cociente se ordenó en la secuencia SLU (1,93) > LPA (1,44) = CHA (1,48) > PAT (0,17) ($p < 0,05$), indicando que la erosión neta fue mayor en el Ustipsamment de SLU, que presenta la mayor pro-

Tabla 3. Flujo de masa (FM) y erosión neta (Q) corregidos por el producto entre velocidad promedio del viento (V) y duración de la tormenta (D), y cociente FM/Q en cada sitio de estudio.

Table 3. Mass flux (FM) and net erosion (Q) corrected by the product between mean velocity (V) and storm duration (D), and FM/Q of each studied site.

SITIO	FM/V.D	Q/V.D	FM/Q
CHA	72,8 c	1,44 ab	50,4 c
SLU	794,2 a	1,93 a	411,2 b
LPA	421,1 b	1,48 ab	284,1 b
PAT	153,5 c	0,17 c	865,5 a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre sitios ($P < 0,05$).

porción de material erosionable (FE = 69%). En los suelos evolucionados sobre loess (LPA y CHA), FM presentó similares valores. En PAT, la erosión neta fue la más baja, aun cuando la proporción de FE (51%) no difirió demasiado de la de LPA (55%). Esto se debería a la cobertura vegetal, que aunque fue baja (10%), disminuyó la erosión significativamente.

Es posible deducir que la erosión eólica afectó relativamente en mayor magnitud la calidad de suelos menos evolucionados en sitios con manejos agrícolas, donde es frecuente la ausencia de cobertura vegetal. En ambientes en los cuales predominan pastos naturales que mantienen coberturas bajas en forma permanente, este efecto fue de menor magnitud, aun cuando los suelos poseen un limitado grado de evolución.

Proporción FM/Q

El cociente FM/Q es un índice de la proporción existente entre el total de material movilizado y la erosión neta del lote. Valores altos de este cociente indican menor erosión neta y por ende mayores efectos relativos de la erosión sobre la calidad del suelo. Valores bajos del cociente indicarían predominio de material aportado desde zonas aledañas a la parcela y por lo tanto una movilización general de material en el ambiente y mayores riesgos de contaminación del aire.

La Tabla 3 muestra que los cocientes FM/Q se ordenaron en la secuencia PAT (865,5) > SLU (411,2) = LPA (284,1) > CHA (50,4), lo que indica una movilización ambiental relativamente alta en PAT, media en SLU y LPA y mínima en CHA.

Estos resultados confirman que la baja erosión y el relativo alto valor de flujo de masa total de PAT estarían asociados a la cobertura vegetal existente en este sitio, la que, al elevar el perfil del viento favoreciendo el movimiento por suspensión, limitaría la erosión neta del lote. La relativa alta proporción de material movilizado en el ambiente indica que existe en esta región una mayor movilización general de material, posiblemente asociada a las condiciones ambientales secas y de vientos constantes, que hacen que el suelo emita partículas finas en forma permanente. Aunque la magnitud absoluta de estas emisiones es baja por unidad de terreno, es probable que la gran superficie disponible para la emisión en esta región produzca concentraciones críticas de partículas finas en el aire, que se estiman para estos suelos en $8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Buschiazzo & Aimar, 2003).

En sitios con suelos de mediano grado de evolución, formados sobre material eólico arenoso o loésico (SLU y LPA), la movilización de material se realizaría en forma balanceada por saltación, rodadura y suspensión. En

estos ambientes las magnitudes absolutas del flujo de masa y de la erosión del suelo son elevadas. Esto hace presumir que los valores críticos de ambos parámetros se alcancen con cierta facilidad en estos ambientes.

En el suelo loésico con mayor grado de evolución de CHA, la formación de agregados del suelo no erosionables habría limitado la cantidad de material movilizado por suspensión e incrementando relativamente los movimientos de material por rodadura y saltación. La magnitud absoluta de la erosión del suelo alcanzaría fácilmente valores críticos en estos ambientes, siendo la emisión de partículas finas de relativa menor importancia.

Estos resultados permiten concluir que en ambientes con altas velocidades de viento, suelos poco evolucionados como los Haplargides pero con manejos pastoriles que mantienen coberturas permanentes de pastos, la erosión eólica podría afectar en mayor medida a la calidad del aire que la del suelo. En suelos sometidos a manejos agrícolas, frecuentemente desnudos y de bajo grado de evolución como los Ustipsammentes y Haplustoles, la erosión eólica tendría efectos intermedios, afectando tanto a la calidad del suelo y como a la del aire. Finalmente, en suelos relativamente más evolucionados y sometidos a manejos agrícolas como los Hapludoles, la erosión afectaría en mayor medida a la calidad del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por INTA, Proyecto Específico «Desarrollo de Metodologías y Capacitación en Procesos, Monitoreo y Mitigación de la Desertificación» (AERN5657).

BIBLIOGRAFÍA

- Armbrust, DV. 1984. Wind sandblast injury to field crops: effects on plant age. *Agron. J.* 76: 991-993.
- Buschiazzo, DE & V Taylor. 1993. Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. *Ciencia del Suelo* 10/11: 46-53.
- Buschiazzo, DE & SB Aimar. 2003. Erosión eólica: Procesos y Predicción. En: Viento, Suelo y Plantas. Golberg y Kin (eds). INTA.
- Chepil, WS. 1945. Dynamics of wind erosion: I. Nature of movement of soil by wind. *Soil Sci.* 60: 305-332.
- de Oro L & Buschiazzo D.E. 2008. Threshold wind velocity as an index of soil susceptibility to wind erosion under variable climatic conditions. *Land Degradation & Development* 20: 14-21.
- Fidalgo, F & J Rabassa. 1984. Del Relatorio del IX Congreso Geológico Argentino. Capítulo I-II. Pp 301-316.

- Fryrear, DW. 1986. A field dust sampler. *J. Soil Water Conserv.* 41: 117-120.
- Gabel, D. 1993. Einfluss vulkanischer Asche und Nutzung auf die Böden der semiariden Pampa Argentiniens. Diplomarbeit von D. Gabel Allgemeine Agrarwissenschaften. Universität Hohenheim. Stuttgart. pp. 99.
- Gaiero, D. 2007. Three years of dust monitoring in southern South America: what have we learned? Multidisciplinary Workshop on Southern South American Dust, Puerto Madryn, Argentina, October 3-5.
- Hoffmann, C; R. Funk; Y Li & M. Sommer. 2008. Effect of grazing on wind driven carbon and nitrogen ratios in the grasslands of Inner Mongolia. *Catena* 75: 182-190.
- Iwai, K; S Mizuno; Y Miyasaka & T Mori. 2005. Correlation between suspended particles in the environmental air and causes of disease among inhabitants: Cross-sectional studies using the vital statistics and air pollution data in Japan. *Environm. Res.* 99: 106-117
- 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.
- Lyles, L & J Tatarko. 1986. Wind erosion effects on soil texture and organic matter. *J. Soil and Water Conservation* 41: 191-193.
- Lyles, L. 1975. Possible effects of wind erosion on soil productivity. *J. Soil and Water Conservation* 30: 279-283.
- McConnell, J. 2007. The Impact of South American Climate Change and Desertification on Atmospheric Dust over West Antarctica and the Antarctic Peninsula. Multidisciplinary Workshop on Southern South American Dust, Puerto Madryn, Argentina, October 3-5.
- Meskhidze, N. 2007. Iron Biogeochemistry in the Southern Ocean and the Possible Role of Patagonian Dust in Ocean Fertilization. Multidisciplinary Workshop on Southern South American Dust, Puerto Madryn, Argentina, October 3-5.
- Moscatelli, G & I Puente. 1996. Caracterización edáfica de la región. *En: Labranzas en la Región Semiárida Argentina*. Buschiazzo, Panigatti y Babinec (eds.) INTA, Argentina, 126 pp.
- Peterson, GA; PW Unger & WA Payne. 2006. *Dryland Agriculture*, 2nd Ed., Monograph 23. ASA/CSSA/SSSA, Madison, WI. 426 pp.
- Woodruff, N.P. 1965. Wind-blown soil abrasive injuries to winter wheat plants. *Agron. J.* 48: 499-504.