

EROSION LAMINAR EN SUELOS DE PAMPA ONDULADA CON CONTENIDOS CONTRASTANTES DE SODIO INTERCAMBIABLE

GOTTFRIEDT G¹, DE SIERVI M², CHAGAS CI¹, IORIO AF de²

¹Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía, UBA

²Cátedra de Química Analítica, Facultad de Agronomía, UBA

Recibido 2 de octubre de 2003, aceptado 1 de noviembre de 2004

SHEET EROSION OF SOILS OF THE ROLLING PAMPAS WITH CONTRASTING EXCHANGEABLE SODIUM CONTENTS

The present report analyzed the sheet erosion process in soils located at the stream borders of the Rolling Pampa compared to soils of higher landscape positions. The sodic soils of stream borders are scarcely studied but highly erodible and can potentially pollute the permanent waterways in this region. The present experiment consisted in the simulation of sheet erosion in the laboratory employing runoff microplots with bare or surface covered soils belonging to the Matanza-Riachuelo basin. Surface cover was used to reduce drop kinetic energy and disturbed soil samples of sodic and non sodic soils were mixed with vermicompost or diammonium phosphate fertilizer. Results showed that surface cover was a management alternative for effectively controlling sheet erosion for both soils by reducing drop kinetic energy impact. The use of fertilizer did not promote any short term erosion control. The use of organic amendments reduced 60% the erosion in the sodic soil and 30% in the non sodic soil. These significant differences in the erosion control relative to the use of vermicompost might be ascribed to physical, chemical and biological processes developed in a short period of time ("aging") in each of the studied soils related to changes in pH, EC and ESP.

Key words: Sheet erosion, Exchangeable sodium, Surface cover, Amendments, Fertilizer

INTRODUCCION

La erosión hídrica constituye el proceso de degradación más difundido en el mundo. En la Pampa Ondulada, este proceso afecta a más del 30% de las tierras (Irrutia *et al.* 1988).

La cobertura superficial y/o la utilización de enmiendas inciden sobre el control de la erosión laminar, efecto que variará según las propiedades edáficas. Los residuos en superficie protegen al suelo del impacto de la gota de lluvia y del flujo superficial (Bradford *et al.* 1987). Esta protección ha sido especialmente comprobada bajo labranzas conservacionistas principalmente bajo labranza cero (Cogo *et al.* 1984). A su vez el aporte de materia orgánica favorece la estructuración y la actividad biológica del suelo, controlando tanto la erosión laminar como otros subprocesos erosivos (Wischmeier, Smith 1978).

Particularmente, la erosión laminar constituye un proceso difícil de predecir pues existen propiedades edáficas que influyen simultáneamente tanto sobre el desprendimien-

to como sobre el transporte (Nearing *et al.* 1990). Diversos autores se han referido a la influencia de algunas propiedades edáficas sobre la erodabilidad de los suelos (Nearing *et al.* 1990; Chagas *et al.* 1997). La estabilidad estructural se asocia a menudo con la resistencia del suelo a sufrir erosión tanto hídrica como eólica. A su vez, los suelos sódicos poseen por naturaleza escasa estabilidad estructural (Alconada, Lavado 1993). Para mejorar dichos suelos, Oster (1993) mencionó la remoción o extracción del sodio (Na) intercambiable y el incremento de la concentración de electrolitos en la solución del suelo. La aplicación de fertilizantes de alta solubilidad tales como el fosfato diamónico (Sample *et al.* 1980) lograría incrementar temporariamente la concentración superficial de electrolitos. Martin *et al.* (1995) y Shainberg *et al.* (1996) estudiaron el efecto del tiempo desde el mojado del suelo ("aging") sobre el factor erodabilidad y encontraron que dicho factor disminuía con el tiempo probablemente debido a mecanismos físico-químicos y biológicos de unión entre las partículas del suelo.

Para plantear el objetivo del presente trabajo se tuvo en cuenta que es frecuente encontrar suelos sódicos de considerable fragilidad en las márgenes de ríos y arroyos de Pampa Ondulada (INTA 1997), con elevada potencialidad para contaminar dichos cursos de agua (Walling 1988; Ongley 1997). Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la erosión laminar en dos suelos de Pampa Ondulada con contenidos contrastantes de Na intercambiable, frente al agregado de una enmienda orgánica y de un fertilizante, sometiendo a los mismos a lluvias de diferente energía cinética bajo condiciones de saturación hídrica.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación y descripción de los suelos estudiados

Se trabajó sobre dos suelos pertenecientes a la subcuenca del Arroyo Morales, afluente principal del Río Matanza, en el establecimiento "Los Grillos", (partido de Gral. Las Heras), dentro de la cuenca de Río Matanza-Riachuelo (35° 06' Lat. sur / 58° 49' Long. oeste y 34° 38' Lat. sur / 58° 21' Long. Oeste). Las muestras fueron tomadas al azar (a partir de 10 repeticiones) de los primeros 5 cm de dos suelos dedicados a ganadería extensiva: el Argiudol de la media loma (M) perteneciente a la unidad fisiográfica Sv7, Serie San Vicente y el Natracualf del plano aluvial (B) perteneciente al complejo Arroyo Morales, CoAoMo con mas de 15% de Na intercambiable (INTA 1997) (Tabla 1).

Simulación de lluvia

Se empleó un simulador de lluvia de tipo "formador de gotas" conteniendo 49 goteros dispuestos en una grilla cuadrada de 25 cm de lado y 2 cm de separación entre goteros, que aplicaba agua destilada desde una altura de 150 cm a intensidades variables (Kamphorst 1987; Iruña, Mon 1994).

Se aplicó una lluvia de 60 mm/h de inten-

sidad y 60 minutos de duración con agua destilada, sobre cada una de las parcelas metálicas de 24,5 cm por 24,5 cm con 6 cm de profundidad con fondo cerrado y 3% de inclinación. El vertedero recolector de sedimentos se hallaba en un extremo lateral de cada parcela, a la misma altura que la superficie del suelo. Esto permitió que al incidir la lluvia y estar inclinada la parcela en el sentido del lado vertedor, todo el escurrido superficial se volcara hacia él. Los restantes lados poseían chapas verticales de 5 cm de altura, que impedían el paso del agua. La energía de impacto de la lluvia se varió cubriendo el suelo a 5 cm de altura mediante una tela media sombra al 80%. La energía aplicada fue de 12 J/kg de lluvia (suelo desnudo) y 0,49 J/Kg de lluvia (1 mm/m² = 1 Kg H₂O) (suelo cubierto).

Al escurrido obtenido en cada parcela le fue separado el líquido del sedimento por decantación. Este último fue luego secado a baja temperatura y finalmente pesado.

Descripción de tratamientos y preparación de parcelas de escurrimiento

Se adaptó la metodología citada por Chagas *et al.* (1999). Se emplearon suelos previamente disturbados y tamizados por 2 mm. Los tratamientos se prepararon con agregado de una enmienda orgánica (lombricomposto marca comercial "Ecolombri") o un fertilizante fosforado de alta solubilidad (fosfato diamónico). El lombricomposto se elaboró a partir de cama de pollo y poseía las siguientes propiedades: contenido de materia orgánica 25%, conductividad eléctrica en pasta (CE) 2,6 dS m⁻¹, pH 7, capacidad de intercambio catiónico (CIC) 80 cmol/kg, y relación de adsorción de Na (RAS) 0,05. Las dosis empleadas fueron de 500 g de lombricomposto por parcela ó 6.25 g de fertilizante por parcela. Dichos materiales se mezclaron con los 2 cm superiores de cada suelo. Una vez en las parcelas de escurrimiento, los suelos fueron llevados a una densidad aparente de 1,35 gr cm⁻³ y luego mantenidos casi a saturación con agua destilada durante una semana para favorecer la reacción entre el suelo y el producto agregado. Para ello se adicionó

Tabla 1.- Algunas propiedades físicas y químicas de los suelos estudiados. (M: Media Loma; B: Bajo; C.O: Carbono orgánico; CIC: capacidad de intercambio catiónico, PSI: porcentaje de Na intercambiable).

Table 1.- Some physical and chemical properties of the studied soils (M: Backslope; B: Toeslope; CO: Organic carbon; CIC: Exchangeable cation capacity, PSI: percent of exchangeable sodium).

Suelo	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	CO (%)	pH	CIC (cmol kg ⁻¹)	PSI (%)	Carbonatos Equivalentes (%)
Media loma	23,8	43,7	32,5	1,7	6,6	14,2	9	0,81
Bajo	28,7	50,0	21,3	1,6	8,7	26,0	70	1,71

agua al comienzo, a los 4 días de comenzada la experiencia, y en los instantes previos a la aplicación de lluvias. El exceso de agua superficial era eliminado por escorrentía, por lo cual la superficie se mantuvo libre de agua.

En síntesis, los tratamientos consistieron en dos suelos (bajo: B y media loma: M) que recibieron ó no la aplicación de lombricompuesto y de fertilizante (testigo: T, lombricompuesto: L y fertilizante: F) y fueron sometidos a lluvias simuladas de baja ó de alta energía (con o sin cobertura superficial). Se prepararon tres parcelas por tratamiento (n=3), de manera que cada unidad experimental recibió una única lluvia de 60 minutos.

Análisis de suelos

Los suelos fueron previamente sometidos a análisis de distribución de partículas elementales por el método del densímetro, capacidad de intercambio catiónico, contenido de carbono orgánico, Na intercambiable y carbonato de calcio (CaCO₃) equivalente siguiendo metodologías estándar (Page *et al.* 1982) (Tabla 1). En el instante previo a la lluvia simulada, se realizó una lectura directa de la conductividad eléctrica y el pH de la superficie del suelo (Tabla 2) siguiendo a Sharpley (1985, 1995).

Análisis estadístico

Las cantidades de sedimentos generados por los tratamientos se evaluaron mediante análisis de variancia (Snedecor, Cochran 1980).

RESULTADOS Y DISCUSION

La Figura 1 muestra la cantidad de sedimento generado durante las simulaciones de lluvia. Los tratamientos testigo no mostraron diferencias de erosión significativas entre sí, independientemente del nivel de energía alta o baja aportada al sistema. Esto muestra que bajo

las condiciones del presente ensayo, el nivel de Na intercambiable de los suelos estudiados, no habría influido sobre el nivel de erosión.

El Na presente en el complejo de intercambio actuaría sobre la erosión laminar de dos maneras opuestas: a) incrementado la cohesión o resistencia del suelo a través del desarrollo de un sello superficial y por lo tanto reduciendo su desprendimiento y b) incrementando el escurrimiento y por ende la capacidad de transporte, puesto que el sello superficial disminuiría la velocidad de infiltración (Bradford *et al.* 1987; Moore, Singer 1990; Levy *et al.* 1994).

Teniendo en cuenta que no hubo diferencias en la capacidad de transporte entre la media loma (M) y el bajo (B), se deduce que el desprendimiento de suelos tampoco habría variado entre los mismos. Una explicación a este hecho sugiere que la protección superficial provocada por un mayor efecto de sellado en el suelo sódico, se habría compensado con las mejores condiciones estructurales del suelo de la media loma, dando como resultado niveles similares de desprendimiento entre ambos suelos (Moore, Singer 1990). Tampoco sería ajeno a este resultado, el efecto diferencial del proceso de "aging" o envejecimiento (Martin *et al.* 1995; Shainberg *et al.* 1996), favorecido por el aporte de agua al que fueron sometidos ambos suelos.

Efecto de la energía cinética sobre la erosión laminar

Los tratamientos cubiertos generaron

Tabla 2.- Valores de pH y CE de las parcelas al comenzar la simulación de lluvias, tras una semana de saturación hídrica del suelo en contacto con las sustancias aplicadas (M: Media Loma; B: Bajo; T: Testigo; L: Lombricompuesto; F: Fertilizante).

Table 2.- pH and CE values of the plots just before the simulated rainfall application, after a week of soil water saturation in contact with the applied substances (M: Backslope; B: Toeslope; T: Control; L: Vermicompost; F: Fertilizer)

Tratamientos	pH	CE (dS/m)
MT	6,0	0,113
BT	8,7	0,293
ML	5,4	0,191
BL	7,2	0,394
MF	5,4	0,140
BF	7,6	0,390

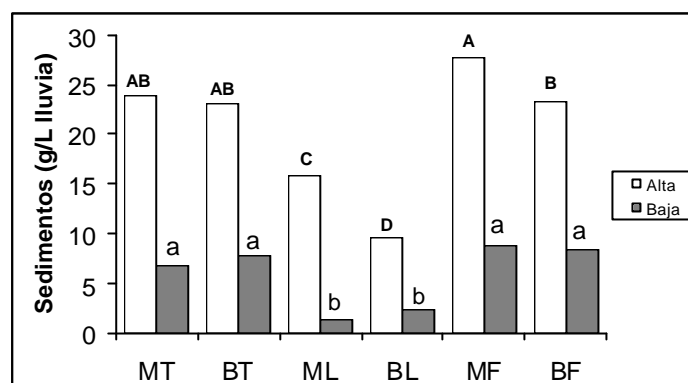


Figura 1.- Sedimentos recolectados luego de cada simulación. (M: Media Loma; B: Bajo; T: Testigo; L: Lombricompost; F: Fertilizante). Las barras claras corresponden a las lluvias de alta energía y las oscuras a las de baja energía. Letras iguales para misma energía (mayúsculas: alta energía; minúsculas: baja energía) no difieren significativamente ($P>0,05$).

Figure 1.- Sediments collected after each simulation run (M: Backslope; B: Toeslope; T: Control; L: Vermicompost; F: Fertilizer) White bars belong to high energy rainfall. Dark bars belong to low energy rainfall. Same letters for same energy level (capital letters: high energy; lower case letters: low energy) are not significantly different ($P>0,05$).

una cantidad significativamente menor de sedimentos que los tratamientos descubiertos, independientemente del tipo de suelo y del agregado o no de fertilizante y enmiendas (Figura 1). Este resultado destaca la incidencia de la energía de impacto sobre la erosión. Sin embargo, las pérdidas de suelo no se redujeron en igual proporción que la energía de impacto (Figura 1), sugiriendo que el efecto de la cobertura no sería lineal. En otros trabajos de investigación de Pampa Ondulada, también se pudo advertir la importancia de la energía de las lluvias sobre las pérdidas erosivas (Chagas *et al.* 2000; Peleretegui *et al.* 2003)

Efecto del agregado de la enmienda orgánica y del fertilizante

La Figura 1 muestra una reducción significativa de la emisión de sedimentos para los suelos tratados con lombricompost. Esta reducción fue más marcada para el caso del suelo del bajo (B) que para la media loma (M). Teniendo en cuenta las características del lombricompost, el control de la erosión logrado se explicaría entre otros, por los siguientes mecanismos: -protección superficial: al mezclar los 2 cm superficiales del suelo con el lombricompost, parte de este último material cubrió la superficie del suelo; y/o -disipación de energía de impacto: el lombricompost mezclado con el suelo poseería mayor resis-

tencia ante presiones mecánicas, disipando parte de la energía de la lluvia hacia capas inferiores del suelo (Huang *et al.* 1983).

La Tabla 2 muestra que los niveles de acidez y conductividad eléctrica medidos en la capa superficial de las parcelas de escurrimiento al comienzo de la simulación de lluvias, aumentaron significativamente en ambos suelos tratados tanto con lombricompost, como (en menor proporción) con el fertilizante. El aumento de la CE estaría asociado a la presencia de sustancias solubles con propiedades electrolíticas en ambos materiales mencionados.

El aumento de acidez fue más marcado en el caso del suelo del bajo tratado con el lombricompost y se explicaría por la liberación del Ca a partir de la reserva de CaCO_3 del suelo sódico. La magnitud de dicha hidrólisis resultaría cuantitativamente importante para este rango de cambio de pH, de 8,7 a 7,2 y su efecto estaría asociado a una significativa reducción del PSI, al reemplazar el Ca al Na en el complejo de intercambio. En cambio, no se habría liberado Ca adicional en el suelo de la media loma, ya que el mismo carecía de CaCO_3 en exceso (Tabla 1). Ello explicaría en parte el mayor control erosivo que se observó en el bajo respecto de la media loma usando el lombricompost (Shainberg *et al.* 1990, Levin *et al.* 1991, Smith *et al.* 1990). La interacción

del suelo con sustancias cementantes generadas por la actividad biológica propia del lombricompuesto también habrían contribuido a la formación de microagregados estables. Tanto los mecanismos físico-químicos como los biológicos, fueron citados por Shainberg *et al.* (1996) como responsables de la disminución de la erodabilidad durante el proceso de "aging" en suelos previamente humedecidos. Los mencionados fenómenos habrían favorecido más intensamente al suelo del bajo que al de la media loma, ya que el primero, al poseer mayor cantidad de arcilla, habría formado mayor cantidad de microagregados estables en superficie respecto del suelo de la media loma (Wischmeier, Smith 1978).

Este efecto diferencial no pudo verificarse ante lluvias de baja energía (Figura 1) debido probablemente a que no se habría superado el umbral energético mínimo para que se manifestara esta diferencia estructural en favor del suelo del bajo.

Por su parte el agregado de fertilizantes no tuvo efectos en el corto plazo sobre la erosión hídrica (Figura 1) a pesar de haberse aumentado ligeramente la acidez y la conductividad eléctrica de ambos suelos (Tabla 2). Este resultado podría variar en el largo plazo, como consecuencia del aumento de la cobertura vegetal y la actividad biológica del suelo promovido por el uso del fertilizante.

Implicancia para el uso y manejo de los suelos

Este trabajo aportó información acerca del comportamiento erosivo laminar de algunos sistemas frágiles que ocupan los planos aluviales de los arroyos de Pampa Ondulada en comparación con otros suelos mejor drenados, ubicados en la media loma. Para ambos sistemas estudiados, se comprobó la eficacia de la cobertura superficial como elemento de manejo para el control efectivo de la erosión laminar, a través de desactivar la energía de impacto de las gotas de lluvia.

Con respecto al agregado de enmiendas orgánicas como el lombricompuesto, la eficiencia en el control de la erosión laminar en el sistema hidrohalmórfico fue de 60% respecto del testigo, mientras que en la media loma dicha eficiencia fue de tan solo el 30%. Estas diferencias significativas en el control erosivo estarían asociadas a mecanismos edáficos tan-

to físicos, químicos como biológicos que pudieron desarrollarse en el corto plazo (una semana), en cada uno de los suelos estudiados.

REFERENCIAS

- Alconada M, Lavado RS. 1993. Comparación de distintas técnicas analíticas de evaluación de estabilidad estructural en un Natracuol típico. *Ciencia del Suelo* 10/11:1-6.
- Bradford JM, Ferris JE, Remley PA. 1987. Interrill soil erosion processes: Effect of surface sealing on infiltration, runoff and soil splash detachment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1566-1571.
- Chagas CI, Marelli HJ, Gróttola MC, Renzi EA. 1997. Influencia del uso de la tierra sobre la erosión entre surcos en un argiudol típico de Argentina. *Rev. Facultad de Agronomía.* 17(3):333-340.
- Chagas CI, Lavado RS, Revilla CA, Macías GJ. 1999. Movimiento superficial de fósforo en suelos de Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo*, 17: 46-53.
- Chagas CI, Santanatoglia OJ, Massobrio MJ, Castiglioni MG, Buján A, Yañez M. 2000. La energía cinética de las lluvias como condicionante de los pulsos de escurrimiento en una microcuenca de Pampa Ondulada. *Avances en Ingeniería Agrícola.* 1998-2000. Editorial Facultad de Agronomía. Pag 207-213.
- Cogo NP, Moldenhauer WC, Foster GR. 1984. Soil loss reduction fro conservation tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:368-373.
- Huang CJ, Bradford M, Cushman JH. 1983. A numerical study of raindrop impact phenomena: the elastic deformation case. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:855-861.
- INTA. 1997. Carta de suelos de General Las Heras, Provincia de Buenos Aires. Escala 1:50.000
- Irurtia C, Berón R, Costamagna O, Glave A. 1988. Provincia de Buenos Aires. En: A. Prego (ed.) *El Deterioro del Ambiente en la República Argentina.* Prosa-FECIC. PP55-64.
- Irurtia C B, Mon R. 1994. Microsimulador de lluvia para determinar infiltración a campo. *Publicación N°6, Instituto de Suelos, CIRN, INTA,* 18 PP.
- Kamphorst A. 1987. A small rainfall simulator for the determination of erodibility. *Nether. J. Agric. Sci.* 35:407-412.
- Levin J, Ben Hur M, Gal M, Levy GH. 1991. Rain energy and soil amendments effects on infiltration and erosion of three different soil types. *Aust. J. Soil Res.* 29:455-464.
- Levy GJ, Levin J, Shainberg I. 1994. Soil formation and interrill soil erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:203-209.
- Martin JP, Martin JB, Page JB, Raney WA, De Met JD. 1995. *Soil Aggregation.*

- Adv. Agron. 7:137.
- Moore DC, Singer MJ. 1990. Crust formation effects on soil erosion processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1117-1123.
- Nearing MA, Lane LJ, Alberts EE, Laflen JM. 1990. Prediction technology for soil erosion by water: status and research needs. *Soil Sci. Am. J.* 54:1702-1711.
- Ongley ED. 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Estudio FAO Riego y Drenaje n° 55, FAO, Roma. 116 pag.
- Oster JD. 1993. Sodic soil reclamation. In "Towards the Rational Use of High Salinity Conference, Al-Anim University, United Arab Emirates.
- Page A L, Miller RH, Keeney DR. 1982. Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties, Second edition, *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, Wisconsin, USA.
- Peleretegui M F, Plaza de Ayala R, Chagas CI, 2003. Rugosidad y cobertura superficial de un Argiudol Vértico de la Pampa Ondulada (Buenos Aires, Argentina) sometido a lluvias naturales. *Ciencia del Suelo (Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo)* 21(1):30-33.
- Sample EC, RJ Soper, GJ Racz 1980. Reactions of phosphate fertilizer in soil. En: FE Khasawneh, EC Sample, EJ Kamprarth (ed) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, 263-304.
- Shainberg I, Warrington D, Rengasamy P. 1990. Effect of PAM and Gypsum application on rain infiltration and runoff. *Soil Sci.* 149:301-307.
- Shainberg I, Goldstein D, Levy GL. 1996. Rill erosion dependence on soil water content, aging and temperature. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:916-922.
- Sharpley AN. 1985. The selective erosion of plant nutrients in runoff. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1527-1534.
- Sharpley AN. 1995. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *J. Environ. Qual.* 24: 920-926.
- Smith HJC, Levy GJ, Shainberg I. 1990. Water droplet energy and soil amendments: effect on infiltration and erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1084-1087.
- Snedecor GW, Cochran WG. 1980. *Statistical Methods*. 7th ed. Iowa State University Press.
- Walling DE. 1988. Measuring sediment yield from river basins. En R Lal (Ed.). *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Cons. Soc. Ankeny, Iowa. PP 39-73.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. *Agr. Handbook No 537*. U.S. Dept. Agr., Washington, D.C. 58 pp