

CAMBIOS EN LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE UN SUELO PROVOCADOS POR LLUVIA NATURAL

CI CHAGAS, M STEFANICH

Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Avenida San Martín 4453, (1417). Buenos Aires, Argentina E-mail= postmast @ suelos.agro.uba.ar

CHANGES IN SOIL SURFACE ROUGHNESS PROMOTED BY NATURAL RAINFALL

The aim of this paper was to quantify the changes in soil surface roughness promoted by natural rainfall in a Vertic Argiudoll of the Rolling Pampas, in a simulated fallow condition. Two sets of plots with soils belonging to 1) continuous agriculture for six years and 2) continuous pasture for five years, were constructed and then left in a rough surface condition. The former had higher clod size distribution and aggregate stability than the latter. Initial and periodical measurements of random roughness were performed with a modification of a standard microrelief meter. Final clod size distribution and transects measurements were also made. The amount of rainfall and precipitation intensity were continuously registered. Results showed that the soil devoted to pasture conserved a higher level of surface roughness than its similar under agriculture. However, the standard random roughness index failed to properly describe the differences between treatments, whereas an equation used in the WEPP model which employed that index was significantly fitted in just one of the two treatments. This equation showed that our soil was more stable than it could be predicted by its high silt content. The WEPP equation with a modification of the random roughness index and the transect method proved to be useful in measuring changes in random roughness under our conditions.

Key words: Random roughness-Natural rainfall-Aggregate stability-Clod distribution

INTRODUCCION

La rugosidad superficial es una propiedad modificable a través del manejo, que condiciona marcadamente algunos aspectos físicos del suelo, fundamentalmente aquellos relacionados con el agua edáfica (Mwendera, Feyen 1993). Se denomina rugosidad superficial orientada a aquella que describe la disposición general de las glebas y/o marcas de las maquinarias agrícolas sobre el terreno. En otra escala de percepción, la rugosidad superficial aleatoria permite cuantificar las irregularidades de la microsúperficie de dichas glebas ó marcas y del suelo en general (Zobeck, Onstad 1987). Esta propiedad influye considerablemente sobre la dinámica hídrica (Freebairn *et al.* 1989, 1991, Gath *et al.* 1995, Magunda *et al.* 1997) y los procesos de erosión hídrica (Norton, Schroeder 1987) y de erosión eólica (Zobeck, Onstad 1987, Zobeck 1991, Saleh *et al.* 1997). La influencia de la rugosidad superficial aleatoria sobre el comportamiento hidrológico de suelos de nuestro país ha sido escasamente estudiada. Recientemente Chagas (1995) encontró que para un suelo franco arcillo limoso del sureste de Córdoba mantenido bajo una condición superficial rugosa, se lograba reducir en un 70 % las pérdidas de suelo y agua que se verificaban en el mismo suelo mantenido refino.

Algunos modelos hidrológicos permiten predecir, aunque solo parcialmente, el efecto de la rugosidad orientada sobre el suelo (Boughton 1989) mientras que otros mas avanzados, como el modelo WEPP (Lane, Nearing 1989, Flanagan 1991) resultan sensibles tanto a la rugosidad orientada como a la aleatoria. Este último modelo presenta ecuaciones que predicen el decaimiento del índice de rugosidad aleatoria durante el transcurso de las lluvias, basándose exclusivamente en la textura de los suelos. En nuestros suelos aún no fue probado dicho modelo y tampoco se cuenta con información publicada acerca de como predecir los cambios en la rugosidad edáfica frente a la incidencia de lluvias y qué factores condicionarian dichos cambios. Existen vastas extensiones de suelos de la pradera pampeana sometidos a barbechos descubiertos, tanto para cultivos de verano como de invierno que justificarian la conveniencia de contar con dicha información.

El objetivo de este trabajo ha sido cuantificar los cambios que se producen en la rugosidad superficial edáfica de un suelo Argiudol vértico de Pampa Ondulada carente de cobertura vegetal, ante la incidencia de lluvias naturales, durante un período de barbecho simulado.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación y descripción del sitio de muestreo

Las muestras de suelo se extrajeron del campo Los Patricios perteneciente a la Universidad de Buenos Aires, localizado en San Pedro, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Los suelos corresponden al horizonte superficial de una fase moderadamente erosionada de la serie Ramallo, Argiudol vértico. La distribución del tamaño de partículas elementales para los horizontes superficiales en esas situaciones es la siguiente: arcilla 26%, limo 59%, arena 15% (Santanatoglia *et al.* 1996). Los muestreos se efectuaron en primavera de 1996: se tomaron cuatro muestras compuestas por más de 15 submuestras cada una, de un lote sembrado con maíz con seis años de agricultura continuada (en adelante denominado: agricultura), y de un lote con pradera mixta degradada con más de cinco años de implantada (en adelante denominado: pastura).

Parcelas experimentales

Se armaron seis parcelas experimentales con forma cuadrada de 0,25 m² de superficie cada una, en un predio sito en la Facultad de Agronomía. Cada parcela consistió en la colocación sobre piso de material al aire libre, de más de 16 kg de suelo disturbado mínimamente por la extracción y el transporte desde San Pedro. Se procedió a rodear y dar forma cuadrada a las parcelas, con ladrillos huecos parados. Esto se hizo para reducir al mínimo la fuga de material por salpicado y escurrimiento lo cual se verificó satisfactoriamente. Luego se provocó rugosidad superficial del suelo desnudo, mediante el empleo de una pequeña palita metálica de mano.

Métodos de análisis de suelo y medición de lluvias

La rugosidad superficial fue cuantificada de tres maneras: 1) calculando el índice de rugosidad aleatoria (RR), mediante un perfilómetro especialmente construido que registraba los desniveles de 100 puntos en 0,25 m² (Allmaras *et al.* 1966); 2) a través del desvío estándar de la totalidad de las alturas relativas sin transformar que se obtenían con el perfilómetro del método anterior (SD) y 3) mediante el cálculo de la relación de longitudes de transectas (TT) entre -una línea que recorría las irregularidades del terreno entre dos puntos fijos y -la distancia recta entre esos puntos (Norton, Schroeder 1987). Los índices RR y SD se midieron en las parcelas al comienzo de la experiencia y cada vez que ocurrían precipitaciones significativas. En total se analizaron cinco fechas de mediciones. El índice TT solo se empleó al finalizar el ensayo y se promediaron cinco mediciones por parcela. La distribución de tamaño de terrones fue medida a la humedad presente en el campo, con tamices de abertura cuadrada de 1, 2, 3 y 4 cm de lado (Santanatoglia OJ, comunicación personal) y se expresó como diámetro medio ponderado (DMP). Esta propiedad se midió al comienzo y al final de la experiencia. La estabilidad de agregados menores a un cm se evaluó mediante el método de De Leenheer y De Boodt (Santanatoglia, Fernández 1982, Chagas, Gróttola 1994) y se expresó como el cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP) entre su distribución en húmedo y seco. El contenido de carbono orgánico del suelo fue caracterizado a través del método de Walkley y Black. Los restos vegetales que acompañaban las muestras se separaron a mano y fueron pesados. Estas dos últimas propiedades se midieron al comienzo de la experiencia. Las lluvias se midieron empleando un pluviógrafo a sifón con registro semanal y un pluviómetro para calibrar el anterior, situados a pocos metros del sitio experimental. La lluvia caída se expresó como cantidad total (mm) y como energía cinética (t m ha⁻¹) estimada según Wischmeier, Smith (1978).

El período de mediciones abarcó tres meses simulando un barbecho con suelo descubierto previo a la implantación de una pastura de otoño. Si bien no se registró la humedad del suelo previa a cada lluvia, pudo inferirse que el mismo se encontraba en general seco al aire, al momento de producirse las lluvias.

Análisis estadístico

Las propiedades edáficas se compararon entre tratamientos mediante test de diferencias de medias con variancias poblacionales desconocidas. Los cambios en la rugosidad del suelo ante la incidencia de lluvias (expresadas en forma acumulativa) fueron descriptos mediante el ajuste de los coeficientes de curvas de decaimiento exponenciales, aplicando técnicas de cuadrados mínimos y verificando luego la bondad del ajuste de dichos coeficientes (r²). Tanto la variable independiente como la dependiente, sufrieron transformación logarítmica (Snedecor, Cochran 1980).

RESULTADOS Y DISCUSION

Propiedades de los suelos

En la Tabla 1 se observan algunas propiedades del suelo correspondiente al tratamiento denominado agricultura y al tratamiento denominado pastura.

Las diferencias de DMP entre tratamientos se basan en la presencia de una importante proporción (38%) de terrones mayores de cuatro cm en el suelo bajo pastura mientras que los mismos bajo agricultura representaban tan solo el siete % de la muestra. Una desproporción similar pero de sentido inverso se registró con los agregados menores de un cm: las proporciones fueron del 29% y 68% respectivamente. Ambos tratamientos se separaron además por su estabilidad estructural pudiendo considerarse como excelente la de pastura y buena la de agricultura, de acuerdo con la clasificación de De Leenheer y De Boodt. No se midieron diferencias significativas en el contenido de carbono orgánico, ni tampoco en la cantidad de restos vegetales retenidos en los diferentes tamices luego de tamizar en seco las muestras para prepararlas para el tamizado húmedo (3,3% del suelo en ambos tratamientos)

TABLA 1. Distribución de terrones (expresada como diámetro medio ponderado (DMP)), estabilidad de agregados (expresada como cambio del diámetro medio ponderado (CDMP)) y carbono orgánico (CO) del suelo.

Tratamientos	DMP (cm)	SDMP (mm)	CO (%)
Agricultura	1,3 a	1,30 a	1,72 a
Pastura	3,5 b	0,53 b	1,71 a

Nota: medias en una misma columna seguidas de igual letra, no difieren significativamente (P>0,05)

Ajuste de la ecuación del modelo WEPP para predecir RR

Las lluvias producidas en los intervalos de tiempo entre mediciones de RR, se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Lluvias producidas durante la experiencia, expresadas como cantidad de agua y de energía.

Intervalos entre mediciones de índice de rugosidad aleatoria	1	2	3	4
Lluvia (mm)	61	57	43	79
Energía (t m ha ⁻¹)	1060	1126	948	1913

El RR (m) que presentaron los tratamientos luego de cada uno de los cuatro períodos de lluvia considerados fueron: 1,13; 1,07; 0,96 y 0,63 para pradera y 0,83; 0,67; 0,52 y 0,47 para agricultura, en la segunda, tercera, cuarta y quinta medición respectivamente. Solamente se obtuvieron diferencias significativas a favor de la pastura, en las mediciones tercera y cuarta.

La ecuación empleada para describir los cambios en la rugosidad aleatoria superficial en relación con la lluvia caída, que utiliza el modelo WEPP (Lane, Nearing 1989), presentó dispar grado de ajuste según se tratara de agricultura ó pastura. En el primer caso el ajuste fue significativo ($P < 0,05$) obteniéndose la siguiente ecuación:

$$RRF = RRI e^{-3,68 PP} \quad (1)$$

siendo

RRF= rugosidad aleatoria-remanente (m)

RRI= rugosidad aleatoria al comienzo del ensayo (m)

PP= precipitación acumulada entre las mediciones de RRI y RRF (m)

El ajuste del exponente presentó un valor de r^2 de 0,66 mientras que el empleo de la ecuación permitió estimar los valores observados con un r^2 de 0,98. Este exponente se comparó con el que surge de emplear las tablas del modelo WEPP entrando con la cantidad de limo presente en nuestro suelo (59%); dicho exponente es de (-14,9). En cambio, el valor obtenido para San Pedro corresponde al de un suelo muy estable, como si el mismo tuviera tan solo 22% de limo. Un ajuste similar al mostrado en la ecuación (1) para la pastura resultó no significativo. El empleo de la energía acumulada de la lluvia en reemplazo de la cantidad de agua no mejoró el

ajuste de ninguno de los casos analizados, por lo que su uso fue descartado. La disparidad en el grado de ajuste de la ecuación tipo (1) entre pradera y agricultura, reflejaría las diferencias en las propiedades físicas del suelo que presentaron ambos tratamientos tal como se observa en la Tabla 1.

Empleo de metodologías alternativas para medir rugosidad

El cálculo del índice RR conlleva la anulación estadística de factores que distorsionan la expresión de dicho índice (Allmaras *et al.* 1966). Por ello su cálculo requiere transformar las alturas relativas a logaritmos, neutralizar la rugosidad orientada y anular las lecturas de alturas relativas que ocupen el 10 % superior y 10 % inferior de la serie ordenada de 100 lecturas de cada parcela. En nuestro caso, dada la proporción importante de terrones de gran tamaño que presentaba el tratamiento pastura, se buscó una variable de cálculo sencilla, que reflejara la totalidad de la información que surgía de la medición de cada parcela, y no solo una parte de ella. Por eso y a pesar de no ser el desvío estándar de la totalidad de las alturas relativas (SD), una medida normalizada para el registro de la rugosidad del suelo, se procedió a ajustar ecuaciones tipo (1) con dicha variable.

Para el tratamiento pastura la ecuación resultante fue:

$$SDF = SDI e^{-1,74 PP} \quad (2) \quad (r^2 = 0,75 ; P < 0,05)$$

La situación agricultura presentó por su parte la siguiente ecuación:

$$SDF = SDI e^{-2,65 PP} \quad (3) \quad (r^2 = 0,55 ; P < 0,05)$$

siendo

SDF = desvío estándar final (cm)

SDI = desvío estándar inicial (cm)

PP= precipitación acumulada (m)

Estas ecuaciones permitieron visualizar que el tratamiento pradera presentaba una caída más lenta que el tratamiento agricultura, hecho que corroboró el análisis de comparación de medias del índice RR de algunas mediciones, tal como se señalara anteriormente. El decaimiento suave de la rugosidad superficial del tratamiento pastura, estuvo acompañado por una fuerte reducción de sus terrones de mayor tamaño (>4 cm): la medición de esta propiedad al finalizar el ensayo, mostró que los mismos habían reducido su proporción inicial del 38 % al 12 %, mientras que se incrementaron los agregados pequeños (<1 cm) del 29 % al 56 %. A su vez,

en el tratamiento agricultura prácticamente desaparecieron los escasos terrones grandes iniciales y no varió la proporción de los más pequeños.

Dado que el índice RR no mostró diferencias entre tratamientos en la 5^o (y última) medición y que sin embargo las ecuaciones (2) y (3) evidenciarían un comportamiento diferencial, se repitió esta última medición empleando además el método de las transectas (TT). Este tendría la ventaja de reflejar con mayor detalle la microirregularidad de la superficie edáfica ya que, a diferencia de la cuadrícula, su medición es continua. La sinuosidad superficial de la pastura fue de 1,115 y resultó muy significativamente superior ($P < 0,01$) respecto del tratamiento agrícola (1,05).

Implicancias para el uso y manejo de los suelos

Estos resultados muestran que a pesar de la incidencia directa de lluvias con elevada energía cinética sobre el suelo descubierto, el tratamiento con historia pasturil logró mantener mayor rugosidad superficial que su par con historia agrícola, reflejando así las características estructurales más favorables que presentaba el primero.

Para describir satisfactoriamente la dinámica de la rugosidad superficial de los dos tratamientos analizados, fue necesario emplear otras metodologías además del internacionalmente aceptado índice RR que emplea el modelo WEPP. El uso de este último método mostró que los suelos locales presentaban mucha mayor estabilidad frente a la acción de las lluvias que la predicha para suelos de otros países con similar contenido de limo. Esto concuerda con el alto grado de control de pérdidas de suelo y agua que se alcanzó a través de mantener la superficie edáfica rugosa en otro ensayo empleando suelos de Argentina con elevado contenido de limo (Chagas 1995).

AGRADECIMIENTOS

A la Cátedra de Climatología Agrícola de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, por permitir el uso de un pluviógrafo y un pluviómetro para esta experiencia. Trabajo subsidiado por la Universidad de Buenos Aires, Plan AG054.

REFERENCIAS

- Allmaras RR, Burwell RE, Larson WE, Holt RF 1966. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. USDA Cons. Res. Rep. 7, 22 pp
- Boughton WC 1989. A review of the USDA-SCS curve number method. Aust. J. Soil Res. 27:511-523
- Chagas CI, Gróttola MC 1994. Erosión entre surcos y estabilidad estructural en un Argiudol Típico. Ciencia del Suelo 12:35-37
- Chagas CI 1995. Efectos de la rugosidad superficial, el tamaño de agregados y la estabilidad estructural sobre la erosión entre surcos en un Argiudol. Ciencia del Suelo 13:85-90
- Flanagan DC (Ed.). 1991. WEPP Version 91.5. Hillslope profile model, documentation, corrections and additions. NSERL Report N° 6. USDA-ARS. West Lafayette, Indiana, USA
- Freebairn DM, Gupta SC, Onstad CA, Rowls WJ 1989. Antecedent rainfall and tillage effects upon infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:11833-1189
- Freebairn DM, Gupta SC, Rowls WJ 1991. Influence of aggregate size and microrelief on development of surface crusts. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:188-195
- Gath S, Gork H, Frede HG 1995 Soil surface roughness as the result of aggregate size distribution. 2. Report: change in aggregate size classes caused by erosive rainfalls. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 158:37-41
- Lane LF, Nearing MA (Ed.). 1989. USDA-WEPP; Hillslope profile model documentation. NSERL Report N° 2. USDA-ARS. West Lafayette Indiana, USA
- Magunda MK, Larson WE, Linden DR, Nater EA, 1997. Changes in microrelief and their effects on infiltration and erosion during simulated rainfall. Soil Technology 10:57-67
- Mwendera EJ, Feyen J. 1993. Predicting tillage effects on infiltration. Soil Sci. 155:229-235
- Norton LD, Schroeder SL 1987. The effect of various cultivation methods on soil loss: a micromorphological approach. Proc. 7th Int. Working Meeting on Soil Micromorphology. Paris, France. pp. 230-234
- Saleh A, Fryrear DW, Bilbro JD 1997. Aerodynamic roughness prediction from soil surface roughness measurements. Soil Sci. 162:205-210
- Santanatoglia OJ, Fernandez NR 1982. Modificación del método de De Leenheer y De Boodt para el análisis de la distribución de agregados y efecto del tipo de embalaje y acondicionamiento de las muestras sobre la estabilidad estructural. Rev. Inv. Agrop. 17:23-31
- Santanatoglia OJ, Chagas CI, Rienzi EA, Castiglioni MG, Sbatella R 1996. Características de los sedimentos producidos por erosión hídrica en una microcuenca del Arroyo del Tala (Provincia de Buenos Aires- Argentina). Ciencia del Suelo 14:42-46
- Snedecor GW, Cochran WG 1980. Statistical Methods. 7th Edn. Iowa State University Press
- Wischmeier WH, Smith DD 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. Agr. Handbk. No 537. USDA Washington, DC. 58 pp
- Zobeck TM, Onstad CA 1987. Tillage and rainfall effects on random roughness: a review. Soil Till. Res. 9:1-20
- Zobeck T 1991. Soil properties affecting wind erosion. J. Soil and Water Cons. 46:113-118