

## EFFECTOS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL, EL TAMAÑO DE AGREGADOS Y LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL SOBRE LA EROSION ENTRE SURCOS EN UN ARGUUDOL

I CHAGAS

Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453.(1417) Capital Federal, Argentina.

### EFFECTS OF SURFACE ROUGHNESS, AGREGATE SIZE AND STABILITY ON RUNOFF AND INTERRILL EROSION IN A TYPIC ARGUUDOLL

Soils at the Argentinian Humid Pampa Region under agricultural land use, are susceptible to sealing and crusting processes. These processes often modify soil hydrology and enhance soil erosion. The aim of this paper was to evaluate the effect of the aggregate stability on runoff and interrill erosion in a Typic Arguudoll, in small runoff plots with contrasting surface roughness and aggregate size. Three high energy simulated rainfall of 55, 27 and 13 mm were applied on plots with smooth and rough soil surfaces. The runoff plots were located in two cropped plots with contrasting previous land use: 1) continuous agriculture for 15 years and 2) a pasture turned under 2 years before. The runoff and soil loss reduction promoted by surface roughness was statistically significant; 70% of total water loss and 68% of interrill erosion control was achieved in the rough plots compared to the very smooth plots. In contrast, the effect of the aggregate stability was not outstanding because 63% difference in soil degradation level promoted only 25% reduction in the runoff volume and no effects on total soil loss. However, the aggregate stability affected the dynamic of soil and water losses: within the degraded soil, surface roughness seemed to be more effective under short storms whereas within the less degraded soil this could be true for storms of longer duration. The enrichment ratio corresponding to the organic carbon content of the sediments was inversely correlated with the amount of soil loss.

**Key words:** Aggregate stability-Roughness-Runoff-Interrill erosion

### INTRODUCCION

Las labranzas afectan diversas propiedades del horizonte superficial de los suelos, modificando entre otras la distribución de tamaño de agregados y la rugosidad superficial (Zobeck, Onstad 1987). Estas propiedades influyen considerablemente sobre la dinámica hídrica (Freebairn *et al.* 1989, 1991) y los procesos de erosión hídrica y eólica (Norton, Schroeder 1987, Zobeck 1991). En ocasiones, el grado de rugosidad superficial de un suelo condiciona su comportamiento hídrico en mayor medida que la porosidad total ó a la capacidad de transmisión de agua de los horizontes subsuperficiales de dicho suelo (Mwendera, Feyen 1993). La dinámica hídrica edáfica también es afectada por el grado de estabilidad de la estructura, debido a su relación con el fenómeno de sellamiento superficial (Farres 1987, Chagas 1991, Chagas *et al.* 1995). A través de algunos métodos de laboratorio se pueden evaluar los cambios en la distribución del tamaño de los agregados que provoca el impacto de gotas de agua y el tamizado húmedo. Sin embargo, resulta de difícil pre-

dicción a campo la influencia de fenómenos complejos como el sellamiento superficial, sobre las pérdidas de suelo y agua (Nearing *et al.* 1990). Esto se debe a que en condiciones de campo interactúan las características de la lluvia con las condiciones superficiales y subsuperficiales del suelo. Los métodos clásicos para estimar escurrimiento de pequeñas cuencas, como el del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (Boughton 1989) suelen no considerar el efecto de la rugosidad edáfica provocada por las labranzas. El modelo WEPP (Lane, Nearing 1989, Flanagan 1991) separa el proceso erosivo en subprocesos tales como erosión en surcos, erosión entre surcos (también conocida como laminar) y en cárcavas. Este modelo toma en cuenta la influencia de la rugosidad superficial sobre la erosión entre surcos y presenta ecuaciones que predicen el decaimiento del índice de rugosidad durante el transcurso de las lluvias, en base a la textura del suelo. Sin embargo, el modelo no considera la influencia de propiedades dinámicas tales como la estabilidad estructural, que también controlan el mencionado cambio en la condición superficial del suelo.

La erosión entre surcos es a su vez un proceso que genera sedimentos con elevado contenido de coloides orgánicos e inorgánicos, debido a que desprende el suelo del horizonte superficial rico en carbono orgánico y lo transporta a través de una delgada lámina de agua de escasa energía cinética (Meyer, Harmon 1984, Sharpley 1985, Meyer 1985). El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar la influencia del grado de estabilidad estructural de la Serie Marcos Juárez, sobre el escurrimiento y la erosión entre surcos producidos bajo condiciones de suelo refinado y rugoso.

## MATERIALES Y METODOS

### Ubicación y descripción del sitio del ensayo

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria de Marcos Juárez (INTA), Provincia de Córdoba, República Argentina (32° 42' S y 62° 05' O). El área posee un clima templado y 900 mm de precipitación anual, con inviernos relativamente secos. El suelo es un Argiudol típico, perteneciente a la serie Marcos Juárez, derivado de loess. La pendiente del sitio experimental es menor que 0,5%, pero la serie estudiada se desarrolla en pendientes de 1-2 % de gradiente. El suelo bajo estudio posee un horizonte superficial de 20 cm de espesor, con 29% de arcilla (con predominio de illita), 61% de limo y 10% de arena. Estos valores, si bien resultan ligeramente diferentes a los del concepto central de esta serie, podrían atribuirse a las labranzas profundas que se efectuaron con motivo del presente estudio.

### Tratamientos

Se trabajó sobre dos tratamientos agrícolas con diferente nivel de estabilidad estructural, denominados en adelante: degradado y no degradado. Ambos correspondían a una rotación agrícola-ganadera de la cual el no degradado coincidió con el comienzo del ciclo agrícola (segundo año) y el degradado, con el final del mismo ciclo (décimo quinto año).

El ciclo agrícola consistió fundamentalmente en cultivos de trigo (*Triticum aestivum*) y en menor medida maíz (*Zea mays*) y soja (*Glycine max*) empleando labranza convencional con arado de reja y vertedera. Por su parte, el ciclo ganadero consistió en una pastura de alfalfa (*Medicago sativa*) de 5 años. Los tratamientos estudiados se encontraban en barbecho posterior al cultivo de trigo al momento del presente estudio. Como testigo del análisis de estabilidad estructural se eligió una pradera antigua sin pastoreo, con especies de gramíneas y leguminosas anuales y perennes. Las características del horizonte superficial de los tratamientos degradado, no degradado y del testigo respectivamente, han sido descriptas previamente (Chagas, Gróttola 1994, Chagas *et al.* 1995) y se resumen a continuación: carbono orgánico por Walkley-Black (%): 1,6, 1,7 y 2,3; pH: 5,4, 5,5 y 6,0; estabilidad estructural según De Leenheer y De Boodt (%): 19, 31 y 100; estabilidad estructural como indicadora de la susceptibilidad diferencial a la erosión entre surcos: 0,5, 0,3 y 0,2; contenido de arcilla dispersable (%): 5,7, 5,2 y 4,5.

### Parcelas de escurrimiento

Se trabajó con un simulador de lluvias portátil similar al de Meyer y Harmon (1979). Este dispositivo aplicaba lluvias con una intensidad de 55 mm h<sup>-1</sup>. Las parcelas de escurrimiento fueron ubicadas al azar en cada uno de los dos suelos estudiados:

degradado y no degradado. En total se incluyeron en el presente estudio tres parcelas con suelo refinado (liso) y tres parcelas con suelo rugoso por cada una de las dos situaciones estudiadas. El suelo de las parcelas rugosas fue trabajado con pala hasta 20 cm de profundidad. Las parcelas lisas fueron labradas de igual forma, pero luego se refinaron con rastrillo hasta 10 cm de profundidad. Esto se repitió respectivamente en el lote degradado y en el no degradado.

Las parcelas poseían forma cuadrada con 1 m<sup>2</sup> de superficie, limitada por chapas clavadas en el suelo y 2% de pendiente artificial uniforme, hacia uno de los lados. En dicho extremo se hallaba ubicada una canaleta de chapa, que conducía los escurrimientos y el sedimento hacia un recipiente, de donde eran recolectados para su cuantificación a intervalos de 5 minutos.

Se aplicaron tres series de lluvia sobre cada una de las doce parcelas de escurrimiento. La primera, de 60 minutos de duración, se realizó sobre el suelo a 75% de la capacidad de campo. Una segunda lluvia se aplicó 24 horas después, con una duración de 30 minutos. La tercera precipitación se aplicó unos minutos después de finalizada la segunda, esta vez con 15 minutos de duración. De esta manera se reprodujeron situaciones de humedad antecedente habituales. Las lluvias fueron aplicadas durante el período otoñal sobre barbecho desnudo posterior a un cultivo de trigo.

### Métodos de análisis de suelo

La textura se determinó por el método de la pipeta. La estabilidad estructural se evaluó mediante: 1) el método de De Leenheer y De Boodt (Burke *et al.* 1986, Santanatoglia, Fernández 1982), 2) empleando una modificación de método anterior (Chagas, Gróttola 1994) y 3) midiendo el contenido de arcilla dispersable (Elliot *et al.* 1988). La rugosidad superficial fue cuantificada: 1) midiendo el índice de rugosidad aleatoria (Allmaras *et al.* 1966) con un perfilómetro que registra los desniveles de 400 puntos por metro cuadrado y 2) calculándola como la relación de longitudes entre una transecta que recorre las irregularidades del terreno, frente a una recta de 1 m de longitud (Norton, Schroeder 1987). La densidad aparente se midió con cilindros de 250 cm<sup>3</sup> en los intervalos 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad. 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 (O J, Santanatoglia comunicación personal). La humedad edáfica se midió gravimétricamente hasta 1 m de profundidad en cada parcela de escurrimiento previo a la primera y segunda precipitación y se afectó por la densidad aparente para obtener humedad volumétrica: la primera evaluación tuvo por objeto asegurar la uniformidad de las condiciones de humedad antecedente mientras que la segunda sirvió para verificar el pasaje uniforme del agua a través del perfil edáfico. En otro artículo se mencionó la formación de costras de tipo estructural en las parcelas lisas (Chagas *et al.* 1995) y se visualizaron mediante la técnica del corte delgado (Brewer 1964); en el presente artículo se menciona la formación de costras por depositación, que surge de la apreciación visual de las parcelas rugosas a campo. El contenido de carbono orgánico del horizonte superficial de los lotes así como los sedimentos resultantes de aplicar lluvia simulada, fueron caracterizados a través del método de Walkley y Black. El pH fue medido potenciométricamente, en una proporción suelo: agua de 1:2,5.

### Análisis estadístico

Para caracterizar las propiedades del horizonte de labranza de los lotes donde se efectuó el ensayo, se analizaron cuatro muestras (compuestas por 5 submuestras) tomadas al azar de

cada tratamiento (degradado, no degradado) y del testigo. Las propiedades se evaluaron mediante test de diferencias de medias con variancias poblacionales desconocidas.

Por su parte las pérdidas de suelo y agua obtenidas mediante lluvia simulada se expresaron en forma acumulativa en el tiempo (15, 60, 90 y 105 minutos) con el fin de realizar su análisis estadístico, debido a que lo ocurrido en un determinado periodo afectaba a los sucesivos. Estas variables fueron analizadas en el marco de un modelo anidado de análisis de variancia, con un factor de clasificación: el nivel de estabilidad estructural del suelo y dos niveles de rugosidad dentro de cada nivel de estabilidad: suelo liso y rugoso. El modelo lineal aditivo fue el siguiente:

$$\hat{y} = \mu + \alpha i + Pj(i) + (ij)k \text{ donde:}$$

$\hat{y}$  = variable respuesta

$\mu$  = media

$i$  = antecedente (nivel de estabilidad del suelo), factor de clasificación.

$Pj(i)$  = tratamiento dentro de antecedente, nivel de rugosidad.

$(ij)k$  = error.

La elección de este modelo se basó en la dificultad que ofrecía aleatorizar el factor: nivel de estabilidad estructural. Previo al ajuste del modelo lineal aditivo propuesto, se procedió a su validación. Para ello se verificó la homogeneidad de las variancias según Finney (1973) y se determinó la necesidad de transformar variables, a través de análisis de residuales (Montgomery, Peck 1982). Como transformación más adecuada para cada una de las variables consideradas, se seleccionó a aquella que redujera al mínimo el coeficiente de variación del análisis de variancia, e hiciera que la relación entre la mayor variancia y las restantes fuese no significativa. Esto se realizó elaborando un programa en lenguaje basic que variaba gradualmente el exponente de la transformación y testeaba su efecto sobre el análisis de variancia. En el caso de la variable escurrimiento, la transformación elegida fue  $y' = y^{0.70}$  mientras que para la variable pérdida de suelo, la transformación fue  $y' = y^{0.17}$ . Los análisis de variancia consistieron en plantear como hipótesis nula, la igualdad de respuestas hidrológica de las parcelas lisas y rugosas dentro del antecedente: nivel de estabilidad estructural. Además, se ajustó un modelo de regresión lineal (Snedecor, Cochran 1980) entre el enriquecimiento de carbono orgánico de los sedimentos y la cantidad de suelo erosionado en las lluvias previas a la toma de muestra. Tanto la variable independiente como la dependiente, sufrieron transformación logarítmica (Sharpley 1985).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Efecto de la rugosidad y la estabilidad estructural sobre las pérdidas de suelo y agua

No se hallaron diferencias significativas en los valores iniciales de rugosidad superficial, densidad aparente, tamaño de agregados y humedad edáfica entre las parcelas de escurrimiento que sufrieron el mismo tipo de remoción (Tabla 1). Por su parte los tratamientos rugosos se diferenciaron de los lisos por su sinuosidad, rugosidad aleatoria y tamaño de agregados. Esto significa que la situación rugosa en el lote degradado, resultaba comparable a su equivalente en el lote no degradado y otro tanto ocurría con las parcelas lisas entre sí. Por su parte, los suelos de ambos lotes degradado y no degradado, presentaban igual contenido de carbono orgánico

(Chagas *et al.* 1995). De acuerdo con Lane y Nearing (1989) estos elementos harían suponer que la respuesta hidrológica de los tratamientos rugosos sería similar

Tabla 1. Sinuosidad (S), rugosidad aleatoria (RR), densidad aparente entre 0 y 20 cm (DA1) y entre 20 y 30 cm de profundidad (DA2), diámetro medio ponderado de los agregados entre 0 y 10 cm de profundidad (DMP), porcentaje de humedad volumétrica respecto de la capacidad de campo (HI). Tratamientos: N=no degradado; D=degradado; L=liso; R=rugoso. Entre paréntesis se muestran los coeficientes de variación. Medias en la misma columna seguidas de igual letra, no difieren significativamente ( $P > 0,05$ )

Tratamientos	S	RR (cm)	DA1 (Mgm <sup>-3</sup> )	DA2 (Mgm <sup>-3</sup> )	DMP (mm)	HI (%)
NL	1,0(2) a	0,6(15) a	0,9(5) a	1,2(4) a	5,8(10) a	75(9) a
DL	1,0(2) a	0,6(10) a	1,0(6) a	1,1(5) a	5,7(10) a	75(10) a
NR	1,2(8) b	2,1(10) b	0,9(4) a	1,1(5) a	44,0(8) b	77(10) a
DR	1,2(7) b	2,2(9) b	0,9(5) a	1,1(6) a	44,6(8) b	75(9) a

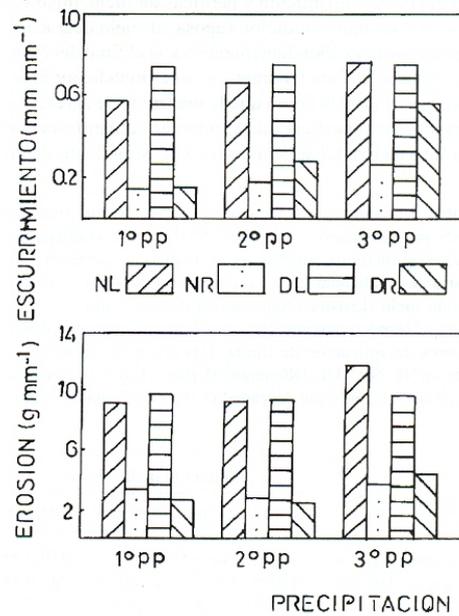


Figura 1. Escurrimiento (mm mm<sup>-1</sup> de lluvia) y erosión (g mm<sup>-1</sup> de lluvia) obtenidos en cada una de las tres precipitaciones aplicadas. Tratamientos: N=no degradado; D=degradado; L=liso; R=rugoso

entre sí y haría esperable lo propio con los tratamientos lisos entre sí, independientemente que se encontraran ubicados en los lotes degradado ó no degradado. En la Figura 1 se muestran las tasas promedio de escurrimiento y pérdida de suelo correspondientes a las tres series de lluvia aplicadas cuyo análisis estadístico aparece en la Tabla 2. En dicha Tabla se observa el análisis de variancia de los valores transformados de escurrimiento y pérdida de suelo acumulados en el tiempo a los 15, 60, 90 y 105 minutos de comenzado el ensayo. Puede advertirse que para ambos suelos, degradado y no degradado, las diferencias de escurrimiento entre las condiciones lisa y rugosa fueron significativas y dependientes del intervalo de tiempo considerado. En la misma Tabla se observa que las pérdidas de suelo mostraron una respuesta similar al escurrimiento en los intervalos de 60,90 y 105. El alto grado de significancia que se obtuvo en casi todos los intervalos, muestra el elevado impacto que provocó la rugosidad sobre la respuesta hidrológica de los suelos.

Por su parte las diferentes significancias obtenidas al comparar entre sí suelos degradados y no degradados, indica que la dinámica en dichos suelos fue disímil. Esto se debió a que en la situación degradada, las parcelas lisas generaron desde el inicio del ensayo abundante escurrimiento y pérdidas de suelo, mientras que al estar bajo condición rugosa, el suelo degradado recién escurrió abundantemente hacia el final del ensayo (Figura 1). Este fenómeno es interpretado por Freebairn *et al.* (1991) como que la presencia de agregados grandes en superficie puede retardar la manifestación de los efectos del sellamiento y encostramiento de un

Tabla 2. Valores de F (Snedecor), nivel de significancia (NS=no significativo; \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ) y coeficientes de variación (entre paréntesis) del análisis de variancia. Las variables analizadas fueron escurrimiento (Ecurr.) y pérdida de suelo (Erosión) transformadas como sigue:  $y' = y^{0,70}$ ;  $y' = y^{0,17}$  respectivamente. Se consideraron 4 diferentes duraciones de aplicación de lluvia. Los contrastes efectuados fueron NL-NR y DL-DR siendo: (L) parcela lisa, (R) parcela rugosa, (D) condición degradada y (N) condición no degradada

Variable	Con- traste	Duración de la lluvia			
		15 min	60 min	90 min	105 min
Ecurr.	NL-NR	8,5 *	118,0 **	255,0 **	230,0 **
Ecurr.	DL-DR	73,8 ** (23,2)	199,0 ** (9,8)	340,0 ** (6,3)	243,0 ** (6,2)
Erosión	NL-NR	NS	8,1 *	15,3 **	19,0 **
Erosión	DL-DR	16,9 ** (9,4)	12,0 ** (7,8)	20,2 ** (5,7)	21,4 ** (5,1)

suelo. Se observó una gran similitud en el espesor de las costras de tipo estructural (Moore, Singer 1990) formadas sobre los tratamientos lisos tanto del lote degradado como del no degradado, recogidas al finalizar la experiencia (Chagas *et al.* 1995). Las mismas poseían entre 3 y 4 mm de espesor. Mientras tanto, en los tratamientos rugosos se formaron costras por depositación (Moore, Singer 1990) que diferían considerablemente en su espesor según se tratara del lote degradado, mas gruesas, o el no degradado, mas delgadas, aunque todas superaban los 20 mm de espesor. Ello sustenta el supuesto de que los procesos de sellado y encostrado fueron los principales responsables de la diferente dinámica observada entre las parcelas de escurrimiento de ambos lotes, mas aún si se considera que los perfiles de humedecimiento tras la primera lluvia, no sugirieron diferencias en el comportamiento hídrico subsuperficial. El sellado esta condicionado entre otros, por el tamaño y la estabilidad de los agregados del suelo (Farres 1987, Freebairn *et al.* 1991). Los lotes estudiados, si bien no diferían en su contenido de carbono orgánico, presentaron diferencias significativas entre sí en la estabilidad estructural medida por diversas metodologías (Chagas, Gróttola 1994). En las parcelas lisas, la presencia de agregados pequeños, habría determinado que se sellara rápidamente la superficie del suelo degradado, y que poca energía de lluvia adicional bastara para que se sellara el no degradado. Este supuesto se apoya en la intensa reducción en el tamaño de agregados que sufrieron ambos suelos sometidos al método de De Leenheer y De Boodt en laboratorio (Chagas, Gróttola 1994). En dicha ocasión se trabajó con agregados similares a los de las parcelas lisas (ca. 4,6 mm de diámetro medio ponderado) y se afectaron por una cantidad de energía similar a la aportada por el simulador de lluvias en los minutos iniciales (ca.  $3 \cdot 10^{-3} \text{ J g}^{-1}$  de suelo seco). Bajo esas condiciones el suelo degradado redujo su diámetro medio ponderado en 80% mientras que el no degradado lo hizo en un 71% respecto de un suelo testigo.

Las parcelas rugosas poseen en superficie terrones de gran tamaño, que no habrían completado al momento de cesar el ensayo el desmoronamiento de sus agregados, lo cual podría explicar las diferencias en el espesor de las costras observadas que, como fuera mencionado, resultaron mas gruesas en el suelo degradado. El modelo WEPP propone una ecuación para reflejar los cambios en la rugosidad superficial que provoca la lluvia sobre un suelo en función de su textura. De acuerdo con la misma los 96 mm aplicados sobre este suelo deberían haber reducido la rugosidad en un 78% independientemente de la estabilidad estructural del mismo, lo cual no parece ajustarse a las diferencias entre tratamientos observadas.

El comportamiento hidrológico de las parcelas rugosas frente a las lisas no podría atribuirse a diferencias de almacenaje superficial (en promedio 10,1 mm) ni a diferencias en la superficie de contacto suelo-agua. Esta última, calculada a partir de la sinuosidad de Norton y Schroeder (1987) (Tabla 1), indica que al comienzo de la experiencia, las parcelas rugosas poseían en promedio 44% más superficie de contacto que las lisas. Ambos efectos combinados no justificarían la magnitud de infiltración en las parcelas rugosas. Ello indicaría la importancia que tendrían los agregados de gran tamaño en el horizonte de labranza, quizás facilitando el pasaje de agua a través de caminos preferenciales presentes entre los terrones. Si así fuera, la existencia de agua libre en superficie habría incrementado la carga hidráulica del sistema. Si bien la erosión entre surcos es compleja, es posible considerar que el incremento en la infiltración que se midió en las parcelas rugosas, sea en parte responsable del control en las pérdidas de suelo de esos tratamientos, a través de la reducción en la capacidad de transporte de sedimentos del flujo de escurrimiento (Young *et al.* 1989).

Los resultados obtenidos se pueden expresar en términos de eficiencia en el control de escurrimiento y erosión hídrica. Esto significa cuantificar la reducción en las pérdidas de suelo y agua lograda a través de la rugosidad superficial, para un suelo con una condición estructural definida. Considerando una lluvia de corta duración (15 minutos iniciales del ensayo), en el lote no degradado el control del escurrimiento fue de 68% y el de la erosión alcanzó el 32%. Los valores de eficiencia para el lote degradado fueron de 89% y 83% respectivamente. Considerando una tormenta de mayor volumen y duración (la totalidad del ensayo), en el lote no degradado el control del escurrimiento fue de 73% y el de la erosión entre surcos alcanzó el 66%. Los valores de eficiencia para el lote degradado fueron 67% y 71% respectivamente. Los datos indicarían que para los suelos no degradados, el mayor impacto de esta práctica

sería ante lluvias prolongadas, mientras que los lotes degradados responderían en mayor medida a esta práctica ante precipitaciones de corta duración.

Si bien no son totalmente comparables estos datos con los de parcelas de escurrimiento standard (22 m de longitud), es destacable que las tablas de Wischmeier y Smith (1978) expresan eficiencias de tan solo 7% y 8% por el cambio en el grado de refinamiento del suelo. Buscando condiciones comparables al del presente ensayo, se analizaron resultados parciales de los trabajos de Mannering *et al.* (1968), Moldenhauer (1970), Falayi y Bouma (1975), Johnson *et al.* (1979), Cogo *et al.* (1984), Laflen *et al.* (1985), Freebairn *et al.* (1989), Freebairn *et al.* (1991), Mwendera y Feyen (1993). A partir de esa comparación se pudo observar que bajo condiciones de suelo rugoso, las diferencias de estabilidad estructural en la Serie Marcos Juárez provocaron mayores contrastes aún, que los correspondientes a series con clases texturales contrastantes entre sí.

#### Contenido de carbono orgánico de los sedimentos

En la Tabla 3 se observa el grado de enriquecimiento en carbono orgánico de los sedimentos en promedio, respecto del suelo original. El modelo de regresión lineal ajustado entre el grado de enriquecimiento (E) y la magnitud de suelo perdido (PS) expresado en kg m<sup>-2</sup> fue el siguiente:  $\ln(E) = -0,018 - 0,133 \ln(PS)$  (n:24; r<sup>2</sup>:0,42; P>0,01). Esto indica que a mayores pérdidas de suelo, resultaba menor el contenido de carbono orgánico de los sedimentos, sin considerar el nivel de rugosidad y/o estabilidad del suelo. Algunos autores mencionan resultados similares (Young, Onstad 1976, Alberts, Moldenhauer 1981; Sharpley 1985) si bien las cifras de enriquecimiento citadas por dichos autores, resultan menores a las aquí expuestas. Aspectos como estos deberían ser considerados al evaluar la potencialidad de los sedimentos para acarrear sustancias contaminantes.

#### AGRADECIMIENTO

A J Marelli y J Arce por su inestimable ayuda en la etapa de campo y a M Zanelli por su asesoramiento estadístico.

#### REFERENCIAS

- Albert EE, Moldenhauer WC. 1981. Nitrogen and phosphorus transported by eroded soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:391-396
- 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.

Tabla 3. Enriquecimiento en carbono orgánico de los sedimentos generados en las tres lluvias aplicadas, respecto del suelo original (valores promedio de tres parcelas de escurrimiento). Tratamientos: N=no degradado; D=degradado; L=liso; R=rugoso. Entre paréntesis se muestran los coeficientes de variación

Tratamientos	1º Precip.	2º Precip.	3º Precip.
NL	1,25(4)	1,20(13)	0,94(4)
DL	1,24(7)	1,06(7)	0,91(18)
NR	1,31(7)	1,31(11)	1,33(1)
DR	1,16(15)	1,19(13)	1,30(10)

- Boughton WC. 1989. A review of the USDA-SCS curve number method. *Aust. J. Soil Res.* 27:511-523
- Brewer R. 1964. *Fabric and mineral analysis of soils*. Ed. J Wiley, New York, 470 pp.
- Burke W, Gabriels D, Bouma J. 1986. Soil structure assessment A. A. Balkema/Rotterdam/Boston. 92 pp.
- Cogo NP, Moldenhauer WC, Foster GR. 1984. Soil loss reductions from conservation tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 368-373
- Chagas CI. 1991. Efectos de la rugosidad superficial y el nivel de degradación física sobre la dinámica hídrica y la erosión entre surcos en un Argiudol. Tesis de Magister Scientiae. Escuela para Graduados, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina
- Chagas CI, Gróttola MC. 1994. Erosión entre surcos y estabilidad estructural en un Argiudol Típico. *Ciencia del Suelo* 12:35-37
- Chagas CI, Marelli HJ, Grottola MC, Rienzi EA. 1995. Interrill erosion in a Typic Argiudol of Argentina: the effect of prior land use. *Turrialba* (en prensa).
- Elliot WJ, Kohl KD, Laflen JM. 1988. Methods of collecting WEPP soil erodability data. ASAE Paper N° MCR 88-138
- Falayi O, Bouma J. 1975. Relationships between the hydraulic conductance of surface crusts and soil management in a Typic Hapludalf. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 39: 957-963
- Farres PJ. 1987. The dynamics of rainsplash erosion and the role of soil aggregate stability. *Catena* 14: 119-130
- Finney DJ. 1973. Transformation of observations for statistical analysis. *Cotton Growing Review* 50:1-14
- 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
- Laflen JM, Foster GR, Onstad CA. 1985. Simulation of individual-storm soil loss for modelling the impact of soil erosion on crop productivity. International Conference on Soil erosion and Conservation. Ed. El-Swaify, Moldenhauer WC, Andrew LO. Soil Cons. Soc. Am., Ankeny IA USA pp 285-295
- Lane LF, Nearing MA (Ed.). 1989. USDA-WEPP; Hillslope profile model documentation. NSERL Report N° 2. USDA-ARS. West Lafayette Indiana, USA
- Mannering JV, Meyer LD, Johnson CB. 1968. Effect of cropping intensity on erosion and infiltration. *Agron. J.* 60:206-209
- Meyer LD, Harmon WC. 1979. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. *Trans. ASAE* 22: 100-103
- Meyer LD, Harmon WC. 1984. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. *Soil Sci. Am. J.* 48: 1152-1157
- Moldenhauer WC. 1970. Influence of rainfall energy on soil loss and infiltration rates. II. Effect of clod size distribution. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 673-677
- Montgomery J, Peck J. 1982. *Linear regression analysis*. Ed. J. Wiley, N York
- Moore DC, Singer MJ. 1990. Crust formation on soil erosion processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1117-1123
- Mwendera EJ, Feyen J. 1993. Predicting tillage effects on infiltration. *Soil Sci.* 155:229-235
- 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
- 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
- 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
- Snedecor G W, Cochran W G, 1980. *Statistical Methods*. 7th Edn. Iowa State University Press
- Sharpley AN. 1985. The selective erosion of plant nutrients in runoff. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1527-1534
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. *Agr. Handbk.* No 537. USDA Washington, DC. 58 pp.
- Young RA, Onstad CA. 1976. Predicting particle size composition of eroded soils. *Trans. ASAE* 19:1071-1075
- Young RA, Onstad CA, Bosch DD, Anderson WP. 1989. AGNPS: a non point source pollution model for evaluating agricultural watersheds. *J. Soil and Water Cons.* 44:168-173
- 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