

INFLUENCIA DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LA EROSION ENTRE SURCOS EN UN ARGIUDOL TIPICO DE ARGENTINA

C. I. CHAGAS¹, H. J. MARELLI², M. C. GRÓTTOLA¹, y E. A. RIENZI¹

Recibido: 29/12/97

Aceptado: 13/02/98

RESUMEN

Se analizó la influencia de la historia de uso de la tierra sobre la erosión entre surcos, en un suelo Argiudol típico franco limoso de la Argentina. Para ello se llevaron a cabo ensayos de campo y laboratorio empleando lluvia simulada de elevada intensidad. Los tratamientos estudiados consistieron en: un suelo proveniente de agricultura continua -suelo degradado- y un suelo bajo rotación agrícola ganadera -suelo no degradado-. Ambos tratamientos difirieron significativamente en su estabilidad estructural, medida a través de un método que evalúa los efectos del impacto de las gotas de agua y del tamizado húmedo, sobre la estructura del suelo. El ensayo de campo consistió en aplicar tres series de lluvia simulada sobre ambos tratamientos con suelo descubierto y refinado simulando una cama de siembra convencional. La condición antecedente de humedad del suelo ante cada lluvia fue: media, húmeda y muy húmeda.

El suelo degradado escurrió significativamente más que el no degradado durante la primera serie de lluvias, pero no durante el resto del ensayo. A su vez, el suelo degradado salpicó y perdió mayor cantidad de suelo que el no degradado solamente durante las primeras etapas de la primera lluvia. Respecto de la calidad de los sedimentos generados globalmente en cada lluvia, ambos tratamientos no presentaron diferencias significativas entre sí.

Palabras clave: escurrimiento, erosión, estabilidad estructural, uso de la tierra.

INTERRILL EROSION ON A TYPIC ARGIUDOLL OF ARGENTINA: THE EFFECT OF PRIOR LAND USE.

SUMMARY

The influence of prior land use on interrill erosion in a Typic Argiudoll silty loam soil of Argentina, was studied in field and laboratory experiments under simulated high intensity rainfall. The treatments consisted of permanent agriculture land use (degraded soil) and an arable-pasture rotation (less degraded soil). Both treatments were significantly different in the aggregate stability of the plow layer, obtained by a method that evaluated both slaking and dispersion effects of drop impact and wet sieving. The field experiment consisted of three rainfall applications on bare soils under seed bed condition at different soil moisture contents (dry, wet and very wet runs). The degraded soil showed significantly more rainsplash and soil loss during the initial stages of the dry run, and significantly more runoff during the entire dry run than the less degraded soil. However, total soil loss as well as sediment quality were not significantly different between treatments.

Key words: runoff, soil erosion, aggregate stability, prior land use.

INTRODUCCION

Los suelos de la Pampa Húmeda Argentina, especialmente los altamente productivos pertenecientes a la Pampa Ondulada, sufren una reducción sensible en su estabilidad estructural al ser sometidos a labranzas intensivas. Esto se debe al

elevado contenido de limo que poseen los suelos de esta región, en sus horizontes superficiales. Tanto el limo como las arenas muy finas han sido asociadas a procesos de degradación edáfica (Wischmeier y Smith, 1978). Los cultivos de escarda tales como soja y maíz, que se siembran asiduamente en esta

¹Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453 (1417) Capital Federal. ²INIA Marcos Juárez, Provincia de Córdoba.

región, dejan el suelo desprotegido en la época en la que se abaten intensas lluvias sobre la misma (Chagas, 1991). Las labranzas conservacionistas son infrecuentes, y por el contrario, el suelo se refina excesivamente para preparar las camas de siembra a través del uso de rastras de disco y diente. La presencia de agregados de pequeño tamaño en la superficie expuesta a las precipitaciones, conlleva a la reducción de la velocidad de infiltración por efectos de sellamiento superficial (Pla Sentis, comunicación personal). Aún con pendientes menores al 1 %, se observan síntomas de erosión hídrica en pampa ondulada, atribuibles al excesivo escurrimiento. Actualmente, cerca del 50 % de la superficie de dicha región está siendo afectada por erosión hídrica. Durante los últimos 20 años, el cultivo continuo ha ido desplazando al planteo sustentable de rotaciones agrícola ganaderas (Chagas *et al.* 1993). Al mismo tiempo, el cultivo de soja, que incorpora escasa cantidad de carbono orgánico al suelo, ha ido desplazando al maíz. La estabilidad estructural bajo monocultivo de soja con labranzas convencionales, resulta muy baja (Chagas *et al.* 1995)

Los modelos predictivos de erosión hídrica más recientes como el WEPP (Lane y Nearing, 1989, Flanagan, 1991), consideran a la erosión como un fenómeno complejo basado en procesos físicos, a diferencia del modelo USLE (Wischmeier y Smith, 1978), de características empíricas. El WEPP separa a la erosión en dos procesos fundamentales: laminar ó entre surcos ("interrill erosion") y en surcos ("rill erosion") (Meyer *et al.* 1975, Merzouk y Blake, 1991), estando la primera de ellas ampliamente difundida en la Pampa Ondulada y en otras regiones del país. La erosión entre surcos es difícil de predecir porque los efectos de sellamiento superficial que dependen de la estabilidad estructural (Bohl y Roth, 1993), no afectan al desprendimiento y al transporte del suelo desprendido de igual manera para todos los suelos (Nearing *et al.* 1990, Truman *et al.* 1990). Moore y Singer (1990) analizaron las consecuencias del sellamiento superficial sobre la erosión por "lavado" ("wash erosion") y por salpicado ("splash erosion") de algunos suelos, basándose en la dinámica del

escurrimiento, esta última como indicadora de la dinámica del sellamiento.

El objetivo del presente trabajo ha sido examinar el efecto de la historia de uso de la tierra, sobre algunos aspectos del proceso de erosión laminar, asociados al desprendimiento y transporte del suelo erosionado y a la calidad de los sedimentos resultantes, en un suelo Argiudol típico de la Argentina.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación y características del sitio experimental

El experimento de campo se llevó a cabo en la Estación Experimental Marcos Juárez perteneciente al INTA, en la provincia de Córdoba, Argentina. Los suelos pertenecen a la Serie Marcos Juárez, Argiudol típico derivado de loess, que posee amplia difusión en la zona. El horizonte superficial del sitio experimental alcanzó 20 cm de profundidad media, con escasas variaciones espaciales. La textura superficial consistió en 29 % de arcilla (principalmente ilita), 61 % de limo y 10 % de arena. Estos valores fueron obtenidos mediante el método de la pipeta (Black, 1965) Los suelos están fuertemente saturados con calcio.

Características de los tratamientos

Los tratamientos incluyeron dos lotes agrícolas con diferente historia previa y una antigua pradera empleada como testigo.

El lote agrícola denominado degradado, fue sometido a agricultura convencional continua durante más de 15 años, con cultivos de trigo, soja y maíz con uso casi nulo de fertilizantes.

El lote agrícola denominado no degradado, consistía en una rotación cuyo ciclo agrícola era similar al del lote anterior, pero que tuvo pradera fundamentalmente de alfalfa durante 5 años. Al momento de realizar esta experiencia, el lote se encontraba en su segundo año de agricultura.

Los dos lotes agrícolas se encontraban en barbecho posterior a un cultivo de trigo.

Por último, la pradera antigua consistía en campo natural con gramíneas y leguminosas espontáneas, que no fue pastoreado en los últimos 20 años.

Propiedades del horizonte superficial

El carbono orgánico (Cuadro N° 1) fue medido por el método de Walkley y Black (Black, 1965). El pH fue

Cuadro N° 1: Propiedades del horizonte A (0-20 cm): pH, carbono orgánico (CO), cambio en el diámetro medio ponderado de Leenheer y De Boodt (CDMP), densidad aparente, índice de rugosidad aleatoria (RR) y tamaño de terrones. El cambio en el diámetro medio ponderado bajo el impacto de las gotas de lluvia, CDMPI (Young, 1984) y el contenido de arcilla dispersable (AD) (Elliot *et al.*, 1988) fueron tomados de Chagas y Gróttola, (1994).

Tratamientos	Descripción de los sitios	Propiedades del suelo							
		pH (1:2.5)	CO (%)	CDMP (mm)	CDMPI (mm)	CD (%)	Densidad aparente (t/m ³)	RR (mm)	Tamaño de terrones (mm)
Pradera antigua	Campo natural por 30 años	6,0 a 5,4 b	2,3 a 1,6 b	0,41 a 2,07 b	0,2 a 0,5 b	4,5 5,7	- 0,9 a	- 0,6 a	- 5,8 a
Cultivado	Maíz, trigo, soja con labranza convencional por 15 años								
Cultivado no degradado	Rotación agrícola ganadera	5,5 b	1,7 b	1,44 c	0,3 c	5,2	0,9 a	0,6 a	5,8 a

Nota: valores dentro de una misma columna seguidos por igual letra, no difieren significativamente ($P < 0.05$)

determinado en una proporción de suelo y agua de 1:2,5. La estabilidad estructural fué medida por el método de De Leenheer y De Boodt (Burke *et al.* 1986). El índice de rugosidad superficial se determinó a través del método de Allmaras *et al.* (1966). Las distribuciones de terrones se midió con tamices de 10, 20, 30 y 40 cm de abertura (Santanatoglia O J: comunicación personal). La densidad aparente se determinó con cilindros de 278 cm³ de volumen (Black, 1965) antes de aplicar lluvia simulada.

Para caracterizar las propiedades del suelos, se tomaron 4 repeticiones por lote durante el período otoñal.

Aplicación de lluvia simulada

Para realizar mediciones de erosión entre surcos a campo, se empleó un simulador portátil similar al desarrollado por Meyer y Harmon (1979) y armado por H. Marelli en INTA Marcos Juárez. Se empleó un pico vejet 80100, y se aplicó una intensidad de lluvia de 55 mm/h, equivalente a la esperable con un período de retorno de 10 años en la zona. La energía aportada fue de 0,002 J/cm/min. Se aplicaron tres series de lluvia: la primera de 60 minutos de duración se efectuó sobre suelo con un contenido de agua del 75 % de su capacidad

de campo, la segunda serie se aplicó al día siguiente y tuvo 30 minutos de duración, mientras que la tercera lluvia, de 15 minutos de duración se aplicó a los 15 minutos de finalizada la segunda.

Parcelas de escurrimiento

Se punteó el suelo con una pala hasta 20 cm de profundidad y posteriormente se refinó por medio de un rastrillo. La profundidad de labor explicaría los elevados contenidos de arcilla que midieron en el suelo superficial. Las parcelas de escurrimiento poseían 1 m² y forma cuadrada, estaban limitadas por chapas clavadas en el suelo sobresaliendo 10 cm sobre la superficie. La pendiente del suelo fue uniforme con 2% de gradiente provocado por las labores. En el extremo más bajo se colocó una canaleta con un embudo que conducía los escurrimientos hacia un recipiente enterrado en el suelo. Los recipientes se intercambiaban cada 5 minutos durante toda la experiencia. A los sedimentos resultantes de la primera lluvia se les determinó su textura por el método de la pipeta y su contenido de carbono orgánico. Luego de 48 horas de finalizada la última lluvia, se procedió a tomar muestras de las costras desarrolladas en las superficies del suelo, para realizar cortes delgados según el método de Brewer (1964) (Morrás II, comunicación personal).

Determinaciones del salpicado de suelo en laboratorio

Se construyó un simulador de lluvias del tipo formador de gotas empleando agujas hipodérmicas, con el objeto de estudiar en laboratorio el salpicado de suelo por impacto de las gotas de agua. Se empleó agua destilada, aplicándola con la misma intensidad y energía que la del simulador de campo. El diámetro medio de las gotas era de 3.3 mm (similar al empleado por Moore y Singer, 1990) las que se aplicaban desde una altura de 3.2 m. Las gotas caían sobre un dispositivo en el que se colocó muestras de suelo provenientes de cada tratamiento y del testigo. El dispositivo consistía en una recipiente cilíndrico de 1.28 cm² que permitía el libre drenaje del agua infiltrada. Por fuera del mismo se colocó un dispositivo que permitía recoger el suelo salpicado. De esta manera se lograba recoger separadamente el salpicado y el agua percolada. Sobre la superficie del recipiente cilíndrico se colocó suelo seco proveniente de agregados de 3 a 4.8 mm, cuyo diámetro medio ponderado coincidió con el suelo en el campo. Para evitar que el agua infiltrada arrastrara al suelo, se colocó en la base del cilindro, un papel de filtro. El diseño de este dispositivo se extrajo de Farres (1987). Las muestras de suelo y agua se recogieron cada 12 minutos, siendo la duración total de la experiencia, de 60 minutos. Para efectuar el análisis estadístico se emplearon 3 repeticiones por cada tratamiento y testigo, cada una de ellas surgió de promediar cuatro repeticiones.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en el presente estudio se analizaron mediante ANOVA.

RESULTADOS Y DISCUSION

Propiedades del suelo

Los tratamientos estudiados difirieron significativamente en su estabilidad estructural (Cuadro N° 1). De acuerdo con la clasificación de De Leenheer y De Boodt, la antigua pradera mostró una estabilidad "excelente", mientras que el tratamiento degradado fue clasificado como mal estructurado. El tratamiento no degradado si bien mostró una estructura significativamente mas estable que el anterior, resultó muy inferior a la estabilidad de la pradera testigo. En el cuadro N° 1 se muestra el resultado de aplicar otras técnicas de medición de la estabilidad estructural, que no difieren con la jerarquización resultante de emplear el método de referencia antes mencionado. Respecto del

carbono orgánico, los tratamientos agrícolas no se diferenciaron entre sí, pero evidenciaron un contenido significativamente menor que el testigo. Estos resultados eran esperables para las situaciones de manejo opuestas, sin embargo, los bajos valores hallados en la rotación agrícola ganadera, hacen suponer que el ciclo ganadero no logró revertir la degradación provocada durante el período agrícola. Esto podría relacionarse con el manejo y las especies empleadas durante la etapa pastoril.

Erosión entre surcos medida a campo

En la Figura 1 y en el Cuadro N° 2 se muestran la erosión entre surcos obtenida a campo durante la primera serie de lluvias, que se realizó sobre suelo al 75 % de su capacidad de campo. No se aplicó lluvia simulada a campo sobre la antigua pradera puesto que la biomasa presente resultaba imposible de eliminar sin afectar significativamente la estructura edáfica.

Las pérdidas de suelo en la situación degradada se incrementaron fuertemente durante los primeros minutos del experimento, alcanzando un máximo y posteriormente un equilibrio. Por su parte en el tratamiento no degradado las pérdidas se incrementaron en forma gradual. Se hallaron diferencias significativas entre tratamientos solamente a los 10 minutos de comenzada la experiencia: los coeficientes de variación resultaron muy elevados, coincidiendo con lo señalado por la mayoría de los autores consultados.

A pesar que la dinámica de pérdida resultó diferente, los tratamientos no se separaron entre sí significativamente al considerar la totalidad del suelo perdido durante la primera serie de lluvias. Tampoco lo hicieron al aplicar tanto la segunda como la tercera serie de lluvias (Cuadro N° 2). Considerando la totalidad de la experiencia el tratamiento degradado perdió 0.899 g/m² mientras que el no degradado perdió 0.890 g/m². Los cortes delgados de las costras generadas en ambos tratamientos al finalizar las tres series de lluvia, si bien no se obtuvieron en cantidad suficiente como para realizar un análisis detallado, no mostraron en principio diferencias en espesor (5 mm) y estructura que contrasten con los resultados de pérdida de suelo antes mencionados.

Cuadro N° 2: Pérdidas de suelo medidas a campo y en laboratorio durante 60 minutos (adaptado de Chagas y Gróttola, 1994).

	Trat. degradado		No degradado		Pradera antigua	
	Media	Error estandar	Media	Error estandar	Media	Error estándar
Pérdidas de suelo medidas a campo (g/m ² /h)	527,5 a	156,4	487,4 a	69,9		
Pérdidas de suelo medidas en laboratorio (g/m ² /h)	3971,0 a	443,4	3400,0 a	460,35	832,5 b	128,5

Nota: medias en cada línea seguidas por la misma letra, no difieren significativamente ($P < 0,05$).

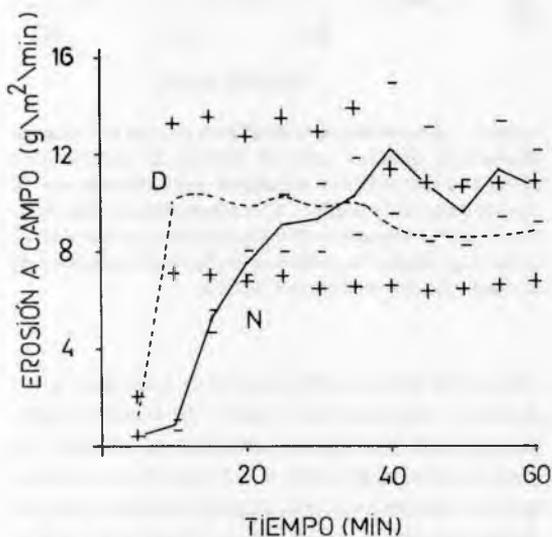


Figura 1. Pérdidas de suelo medidas a campo durante la primera serie de lluvias. D: tratamiento degradado, (+) Error standard correspondiente al tratamiento degradado; N: tratamiento no degradado, (-) Error standard correspondiente al tratamiento no degradado.

Para analizar la influencia de la estabilidad estructural sobre las diferencias de dinámica erosivas observadas en la primera lluvia, se analizaron aspectos relacionados con los procesos de desprendimiento y el transporte en erosión entre surcos (Meyer *et al.* 1975), tales como el salpicado y las tasas de escurrimiento.

Salpicado del suelo medido en laboratorio

El desprendimiento de suelo provocado por el impacto de las gotas de lluvia (Meyer *et al.* 1975, Ferreira y Singer, 1985) se estimó a partir de los datos obtenidos en el ensayo de laboratorio. Su resultado se muestra en el Cuadro N° 2 y en la Figura 2. Durante los primeros 12 minutos de la experiencia, el tratamiento degradado salpicó significativamente más suelo que el no degradado y ambos superaron a la pradera antigua (testigo). A partir de los 24 minutos los tratamientos agrícolas alcanzaron un ritmo máximo de salpicado, que se mantuvo durante el resto del experimento. Dicha tasa resultó la misma para los tratamientos agrícolas y fue significativamente menor para la pradera antigua. Estos resultados son coincidentes con los del ensayo de campo que se muestran en la Figura 1.

Escurrimiento medido a campo

Las diferencias de estabilidad estructural mencionadas en el Cuadro N° 1 se manifestaron al medir el escurrimiento a campo mediante el uso del simulador de lluvias, (Figura 3). Al comenzar la experiencia la energía necesaria para provocar encharcamiento, varió entre 0,0073 J/cm² para el suelo degradado y 0,0114 J/cm² para el no degradado. A su vez el tratamiento degradado escurrió significativamente más que el no degradado a lo largo de toda la primera lluvia, reduciéndose esta diferencia en la segunda y tercera lluvia. El porcenta-

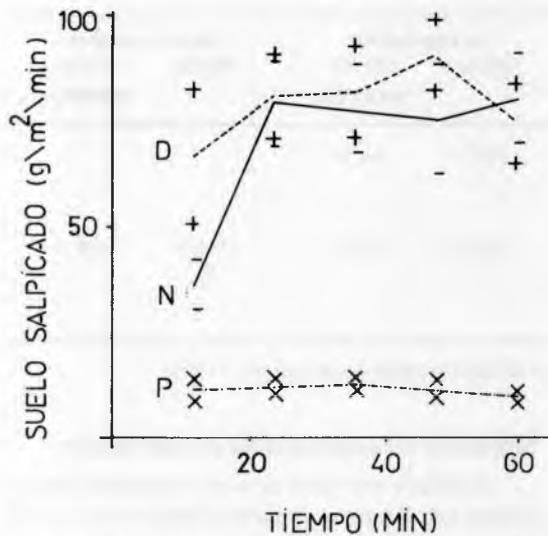


Figura 2. Pérdidas de suelo por salpicado medidas en laboratorio. D: tratamiento degradado, (+) Error standard correspondiente al tratamiento degradado; N: tratamiento no degradado, (-) Error standard correspondiente al tratamiento no degradado y P: pradera antigua, (x) Error standard correspondiente a la pradera antigua.

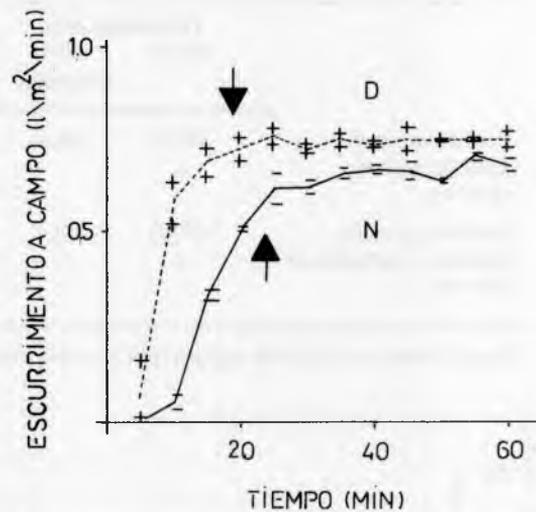


Figura 3. Ecurrimiento medido a campo correspondiente a la primera serie de lluvias. D: tratamiento degradado, (+) Error standard correspondiente al tratamiento degradado; N: tratamiento no degradado, (-) Error standard correspondiente al tratamiento no degradado. Las flechas indican el comienzo de la etapa de escurrimiento estable.

je de escurrimiento durante las tres lluvias fue el siguiente: 56 %, 65 % y 76 % para el caso del suelo no degradado y 73 %, 74 % y 75 % para el suelo degradado respectivamente, siendo el coeficiente de variación menor a 8 % en todos los casos.

El proceso de transporte del material despren-

dido en la erosión entre surcos es complejo y no depende solamente del caudal de escurrimiento aunque está fuertemente asociado al mismo. Al observar esta propiedad en la Figura 3, se advierte que el escurrimiento del tratamiento no degradado durante los primeros 15 minutos fue prácticamen-

Cuadro N° 3: Contenidos de arcilla, limo, arena y carbono orgánico (CO) del suelo original (tratamientos: degradado y no degradado) y de los sedimentos recogidos en el ensayo de campo tras aplicar 60 minutos de lluvia.

	Arcilla (%)		Limo (%)		Arena (%)		CO (%)	
	No degradado	Degradado						
Suelo de parcela	29.1	28.4	60.6	61.8	10.3	9.8	1.7	1.6
Sedimento	34.9	34.6	59.3	61.8	5.8	3.6	2.1	2.0
Enriquecimiento: Sedimento (%) / Suelo de parc.(%)	1.20	1.22	0.98	1.00	0.56	0.37	1.24	1.25

te nulo mientras que durante el mismo lapso, el tratamiento degradado alcanzó su tasa máxima y su posterior equilibrio. Estos aspectos seguramente marcan diferencias en la capacidad de transporte entre ambos tratamientos durante dicho lapso.

Relaciones entre las pérdidas de suelo, el salpicado y el escurrimiento

Aplicando el criterio de análisis de las diferentes etapas del sellamiento superficial de Moore y Singer (1990) al experimento realizado a campo (Figuras 1 y 3), se sugiere que existieron diferencias en dicho fenómeno entre ambos tratamientos. Esto surge de observar que el tratamiento degradado alcanzó su máxima tasa de pérdida de suelo (Figura 1) cuando aún no había alcanzado el escurrimiento su estado de equilibrio (Figura 3). Lo contrario ocurrió con el tratamiento no degradado. Este resultado muestra que suelos de la misma serie, pueden presentar dinámicas hídricas y erosivas tan contrastantes como si pertenecieran a diferentes series, tan solo por poseer historias de uso diferenciales. Este hecho estaría estrechamente asociado a las diferencias de estabilidad estructural que inducirían dinámicas de sellamiento contrastantes.

Al considerar en conjunto aspectos relacionados con la capacidad de desprendimiento por gotas de lluvia (tasa de salpicado en Figura 2), y a la capacidad de transporte (tasa de escurrimiento en Figura 3), se advierte que ambas propiedades se asociaron estrechamente a los resultados de pérdidas de suelo obtenidos a campo durante los 15 minutos iniciales: el tratamiento degradado presentó valores significativamente mayores de pérdida de suelo, salpicado y escurrimiento que el tratamiento no degradado. Paradójicamente, durante el resto del experimento en el que se midió mayor escurrimiento en el tratamiento degradado, no se midieron diferencias en las pérdidas por erosión a favor de dicho suelo. Tampoco se advirtieron diferencias en la textura, el contenido de carbono orgánico y el grado de enriquecimiento (Meyer, 1985, Sharpley, 1985) de los sedimentos generados por uno y otro tratamiento (Cuadro N° 3).

Estos resultados concuerdan con lo manifestado por Nearing *et al.* (1990), en cuanto a las dificultades que ofrece la predicción sobre bases físicas del proceso de erosión entre surcos, lo que hace a menudo necesaria su medición para cada suelo.

BIBLIOGRAFIA

- ALLMARAS, R. R.; R. E., BURWELL; W. E., LARSON and R. F.; HOLT 1966. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. United States Department of Agriculture. Conservation Research Report 7. 22 pp.
- BLACK, D. A. (ed.). 1965. Methods of soil analysis. American Society of Agriculture, Volume I and II. Monograph 9. Winconsin, U.S.A.
- BOHL H. and CH., ROTH 1993. A simple method to assess the susceptibility of soils to form surface seals under field condition. *Catena* 20: 247-256.
- BREWER, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. New York. John Wiley.
- BURKE, W.; D., GABRIELS y J., BOUMA 1986. Soil structure assessment. Boston, Balkema, Rotterdam.
- CHAGAS, C.I. 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 Msc Thesis, Universidad Nacional de Buenos Aires.
- CHAGAS, C.I.; O.J., SANTANATOGLIA y R., GUTIERREZ 1993. Propiedades físicas y biológicas de un Argiudol Vértico erosionado bajo pradera. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetal* (Madrid, España) 8:79-87.
- CHAGAS, C.I.; O.J., SANTANATOGLIA; M.G., CASTIGLIONI and H.J., MARELLI 1995. Tillage and cropping effects on selected properties of an Argiudoll in Argentina. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26(5/6):643-655.

- CHAGAS, C.I. y M.C., GRÓTTOLA 1994. Erosión entre surcos y estabilidad estructural en un Argiudol Típico. *Ciencia del Suelo* (Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo) 12:35-37.
- DAVIES, R. and A., YOUNGER 1994. The effect of different post-restoration cropping regimes on some physical properties of a restored soil. *Soil Use and Management* 10:55-60.
- ELLIOT, W.J., K.D., KOHL and J.M., LAFLEN 1988. Methods of collecting WEPP soil erodability data. *American Society of Agricultural Engineers, Paper MCR:88-138*.
- FARRES, P. J. 1987. The dynamics of rainsplash erosion and the role of soil aggregate stability. *Catena* 14:119-130.
- FERREIRA, A. G. and M.J., SINGER 1985. Energy dissipation for water drop impact into shallow pools. *Soil Science Society of America Journal* 49:1537-1542.
- FLANAGAN, D. C. (Editor). 1991. WEPP Version 91.5. West Lafayette, Indiana, USA. Hillslope Profile Model Documentation Corrections and Additions. National Soil Erosion Research Laboratory Report 6. Agricultural Research Service.
- KEMPER, W.D. 1965. Aggregate stability. Madison. In: Methods of soil analysis Agron. 9. (ed C.A. Black.), American Society Agronomy. pp. 511-519.
- LANE, L. F. and M.A., NEARING (Editors). 1989. USDA-WEPP: Hillslope profile model documentation. National Soil Erosion Research Laboratory Report 2.
- MERZOUK, A. and G.R., BLAKE 1991. Indices for the estimation of interrill erodibility of Moroccan soils. *Catena*18:537-550.
- MEYER, L. D. 1985. Interrill erosion rates and sediment characteristics. In: International Conference on Soil Erosion and Conservation (ed. El Swaiify et al.), Honolulu, Hawaii.
- MEYER, L. D.; G.R., FOSTER and M.J.M., RÖMKENS 1975. Source of soil eroded by water from upland slopes. Department of Agriculture, Washington, D. C.. In: Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. APS-S-40 United States
- MEYER, L. D. and W.C., HARMON 1979. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 22:100-103.
- MOORE, D. C. and M.J., SINGER 1990. Crust formation on soil erosion processes. *Soil Science Society of America Journal* 54:1117-1123.
- NEARING, M. A.; L.J., LANE; E.E., ALBERTS and J.M., LAFLEN 1990. Prediction technology for soil erosion by water: status and research needs. *Soil Science Society of America Journal* 54:1702-1711.
- SHARPLEY, A. N. 1985. The selective erosion of plant nutrients in runoff. *Soil Science Society of America Journal* 49:1527-1534.
- TRUMAN, C. C., J.M., BRADFORD and J.E., FERRIS 1990. Antecedent water content and rainfall energy influence on soil aggregate breakdown. *Soil Science Society of America Journal* 54:1385-1392.
- WISCHMEIER, W. H. and D.D., SMITH 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. *Agricultural Handbook* 537. United States Department of Agriculture, Washington, D. C.
- YOUNG, R.A. 1984. A method of measuring aggregate stability under water drop impact. *Transactions of the American Engineers* 27:1351-1354.