

# SALPICADURA Y ESCURRIMIENTO EN UN SUELO ARGIUDOL VÉRTICO Y SU INTERACCIÓN CON EL TAMAÑO DE AGREGADOS SUPERFICIALES

C.M. KVOLEK; E.A. RIENZI y R.M. INTROCASO<sup>1</sup>

Recibido: 26/06/01

Aceptado: 14/11/01

## RESUMEN

Sobre muestras de un suelo Argiudol vértico de textura superficial Franco arcillosa de la provincia de Entre Ríos se realizaron ensayos con la intención de evaluar el desprendimiento de partículas producidos por la salpicadura y escurrimiento, y sus interacciones con el sellado superficial del suelo durante una lluvia simulada sobre distintas condiciones de cama de siembra.

La erosión total, la salpicadura y el escurrimiento fueron reducidos por los agregados grandes en superficie en algunos lotes. Los resultados obtenidos muestran una relación clara entre estos procesos y la estabilidad estructural de los lotes, indicando mayores pérdidas a menores valores de diámetro medio ponderado. Este último y el carbono orgánico resultaron los principales factores que explican el proceso erosivo.

**Palabras clave.** Salpicadura, escurrimiento, tamaño de agregados, cama de siembra, lluvia simulada, erosión entre surcos.

## INTERACTION IN SPLASH AND WASH PRODUCED BY CHANGE IN SURFACE AGGREGATE SIZE IN A VERTIC ARGIUOLL

### SUMMARY

Relationship between seal surface and soil detachment produced by splash and wash were evaluated in seedbed condition from Clay loam vertic Argiudoll in Entre Rios Province, Argentina. Presence of higher aggregate produced decrease in total erosion, splash and wash detachment but only in selected plots. Results showed a strong relationships between those processes and aggregates stability which determines that the higher losses have occurred at lowest mean weight diameter values. Soil carbon content and mean weight diameter were the more important factors in order to explain interrill erosion processes.

**Key words.** Splash, wash, aggregate size, seedbed conditions, simulated rain, interrill erosion.

## INTRODUCCIÓN

Los procesos degradatorios debido a la erosión hídrica afectan prácticamente a todo el país, fundamentalmente tierras de alto valor, con aptitud agrícola y agrícola ganadera de las regiones húmedas. La erosión hídrica se puede separar para su estudio en tres procesos, de acuerdo a los mecanismos que actúen: erosión entre surcos, en surcos y en cárcavas. La erosión en surcos o "*rill ero-*

*sion*" resulta principalmente de la concentración de los escurrimientos, mientras que la erosión entre surcos o "*interrill erosion*" es consecuencia del impacto de la gota de lluvia en forma predominante (Meyer y Harmon, 1984). La erosión entre surcos comprende dos mecanismos: desprendimiento y transporte del material de la superficie del suelo por el impacto de la gota de lluvia y por el movimiento horizontal de una delgada lámina

<sup>1</sup>Catedra de Manejo y Conservación de Suelos - Facultad de Agronomía - U.B.A. - Av. San Martin 4454 (1417) Bs. As. - Argentina  
- e-mail: kvolek@agro.uba.ar ; rienzi@agro.uba.ar

superficial de agua (Baver *et al.*, 1972). La salpicadura corresponde al transporte provocado por el impacto de la gota, lo cual produce la ruptura y dispersión de los agregados de la superficie del suelo, obturando los poros superficiales. Esto determina la formación de una delgada capa denominada "sello" que reduce la infiltración e incrementa el escurrimiento (McIntyre, 1958).

Obtener más información sobre el comportamiento de las condiciones superficiales de las camas de siembra más contrastantes ayudará a reconocer formas sencillas de protección y conservación de estos suelos, identificando además eventuales focos contaminantes. El objetivo principal de este trabajo es estudiar las interacciones de los productos del escurrimiento y la salpicadura en muestras con diferentes grados de estabilidad y con dos tamaños de agregados superficiales (2 a 4,8 mm y mayores a 4,8 mm) en condición de cama de siembra y caracterizar el proceso erosivo con referencia a como los distintos indicadores, cuali-cuantitativos del proceso son afectados por el diámetro de los agregados superficiales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó con muestras de agregados de los primeros cinco centímetros de la cama de siembra en lotes de un establecimiento ubicado en el Departamento de Nogoyá, provincia de Entre Ríos.

Los lotes elegidos estaban en condición de cama de siembra; tres muestras por lote fueron tomadas en los primeros días del mes de septiembre: LCV (Labranza Convencional), SD3 (Siembra Directa de tres años), Control (Monte Natural) y finalmente el SD7 (Siembra Directa de siete años) para representar distintos niveles de degradación.

Las principales características físico-químicas del lote se describen en el Cuadro N° 1.

Para la determinación de los procesos de salpicadura, escurrimiento e infiltración se utilizó un simulador de

lluvias. En él, la precipitación es producida por un formador de gotas de 1700 picos dispuestos en una superficie de 0,56 m<sup>2</sup>. Las gotas producidas tienen un diámetro de 2,8 (+/-0,05 mm), (Rienzi, 1994). El formador se coloca a tres metros de altura para lograr una energía cinética de 1350 J.m<sup>-2</sup> con una intensidad de 55 mm.h<sup>-1</sup> durante sesenta minutos.

Por último las bandejas fueron colocadas en una estructura metálica que consiste en un recipiente rectangular, de similares dimensiones a la bandeja, rodeado de paredes de 50 cm de altura. El recipiente presenta en sus bordes pequeños canales que llevan el agua y el material salpicado hacia los orificios de salida. En su frente contiene una abertura por donde fluye el material de escurrimiento. Para recolectar las partículas desprendidas por salpicadura y escurrimiento se colocaron envases plásticos debajo de los respectivos orificios de salida, mientras que otros envases fueron puestos debajo del fondo de la bandeja, recolectando el agua infiltrada, según metodología desarrollada por Rienzi (1994).

El proceso duró una hora por muestra y cada diez minutos se recolectaron los envases plásticos previamente identificados. La salpicadura y el escurrimiento fueron inmediatamente tamizados separándolos en fracciones de diámetro medio mayores a 1mm, 0,75 mm, 0,375 mm, 0,125 mm y menores de 0,125 mm. Se llevó el material a estufa a 105°C en recipientes de aluminio de peso conocido. Se dejó secar hasta constancia de peso seco. Simultáneamente se midió el volumen de agua infiltrada para cada intervalo de diez minutos, para detectar el inicio del proceso de sellado.

Los datos obtenidos se analizaron por medio del procedimiento ANOVA de una vía y multifactorial con interacciones, análisis de correlación y regresión múltiple para evaluar la relación entre las distintas variables.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### I) Comportamiento general del proceso erosivo

En el Cuadro N° 2 se muestra un ANOVA multifactorial de dos vías con interacciones para las pérdidas totales de sedimento en g.m<sup>-2</sup> del escurri-

**Cuadro N° 1. Características físico-químicas de los lotes estudiados.**

	LCV	SD3	SD7	Control
pH	6,5	6,3	6,6	6,4
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	0,42	0,36	0,58	0,48
Diámetro medio ponderado: DMP (mm)	3,617	3,620	4,082	3,931
C orgánico (gr.kg <sup>-1</sup> )	25	28	34	37

**Cuadro N° 2. ANOVA multifactorial de dos vías con interacciones para las pérdidas totales por salpicadura y escurrimiento.**

Fuente de Variación	Df	Salpicadura		Escurrimiento	
		Significación	Df	Significación	Df
Lote	3	XXXX	3	XX	
Agregados	2	XXXX	2	XX	
Lote x Agregados	6	XXXX	6	X	

Referencias: XXXX:  $p < 0,0001$ ; XX:  $p < 0,001$ ; X :  $p < 0,05$ .

**Cuadro N° 3. Comparación de los valores medios de las pérdidas por salpicadura y escurrimiento por tipo de agregado superficial.**

Agregados	Salpicadura (gr.m <sup>2</sup> )	Escurrimiento(gr.m <sup>2</sup> )
Agregados pequeños	147,63 a	234,77 a
Agregados grandes	75,04 b	205,69 a
Muestra entera	297,62 c	160,72 a

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas al 5%.

miento y la salpicadura. La significación fue muy elevada para el caso de la salpicadura con respecto al lote y a los agregados como factores principales; ésto sugiere que ambos factores controlan la salpicadura a raíz de características diferenciales propias. No ocurrió así en el caso del escurrimiento donde la significación es baja tanto para lote como para agregados; cuando se analizó la interacción entre el lote y los agregados se observó muy alta significación para la salpicadura y muy baja para el escurrimiento; esto sugiere que las diferencias internas de cada factor se conjugan para aumentar el efecto sobre la salpicadura, y son de signo contrario en el caso del escurrimiento

Como se trata de procesos de erosión entre surcos donde la energía es aportada por el impacto de las gotas de lluvia, ésto pone en evidencia la mayor o menor estabilidad de la agregación. La escasa significación sobre los productos del escurrimiento confirman que los mecanismos involucrados dependen de la energía de la lluvia, como fuera observado en numerosos trabajos (Sharma y Gupta, 1989; Nearing *et al.*, 1990; Sharma *et al.*, 1991).

Finalmente, el análisis general del comportamiento para esta textura franco arcillosa (Cuadro N° 3) muestra los valores medios de pérdidas por

salpicadura y escurrimiento en cada tratamiento. Se tomaron los datos de las pérdidas por salpicadura y escurrimiento de la muestra entera (ME) (Mihura, 1999), que representa la cama de siembra original, para comparar los efectos producidos por la alteración de la superficie al utilizar diámetros controlados de agregados.

El escurrimiento no se vio afectado por ninguna de las tres situaciones, en cambio la salpicadura presentó diferencias significativas, cuando los agregados grandes estaban en superficie, obteniéndose menores pérdidas en esta situación que en el caso de la muestra entera. La situación intermedia corresponde a los agregados pequeños que fueron menores a las de la muestra entera. Esto podría deberse al tamaño del agregado que tarda más tiempo en romperse y a su mayor estabilidad, lo cual evidencia un posible efecto protector de los agregados superficiales grandes, coincidiendo con lo observado por Roth y Eggert (1994).

## II) Comportamiento individual de los lotes ante el cambio de agregados superficiales

El Cuadro N° 4 muestra las pérdidas por salpicadura para cada lote y según el tipo de agregado en

**Cuadro N° 4. Salpicadura-pérdidas según lote y tipo de agregado.**

	LCV	SD3	SD7	Control
Agregados pequeños	32,86 a	293,20 a	385,00 a	45,03 a
Agregados grandes	140,85 b	88,23 a	22,47 b	48,63 a
Muestra entera	503,5 c	385,5 b	216,90 c	84,60 a

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas al 5%.

**Cuadro N° 5. Ecurrimiento. Pérdidas por lote y tipo de agregado.**

	LCV	SD3	SD7	Control
Agregados pequeños	282,75 a	335,26 a	276,02 a	45,03 a
Agregados grandes	164,75 b	376,39 a	217,75 a	64,21 a
Muestra entera	385,00 a	136,65 b	78,50 b	42,80 a

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas al 5%.

superficie, sin hacer referencia a la calidad del desprendimiento.

El Control perdió una menor cantidad de material que los otros tres lotes y en él no se encontraron diferencias significativas provocadas por el cambio en el diámetro de agregados superficiales. Ello sugiere que el comportamiento del monte natural utilizado como testigo frente a las pérdidas, es independiente del tipo de agregado superficial, mostrando una relación más estrecha con la estabilidad estructural del lote.

El lote LCV con agregados pequeños perdió menos material que el tratamiento con agregados grandes y éste a su vez mucho menos que la muestra entera; en cambio el SD7 con agregados pequeños presentó pérdidas muy superiores a la muestra entera. En el caso de tener agregados grandes en superficie se redujo significativamente la pérdida por salpicadura, dependiendo ello de la estabilidad de estos agregados grandes. En el lote SD3 la presencia de agregados grandes no presentó diferencias con respecto a lo ocurrido con los agregados pequeños.

El escurrimiento según lote y tipo de agregado se muestra en el Cuadro N° 5.

Nuevamente, la pérdida de suelo es menor en el lote Control, confirmando la relación de sentido inverso que existe entre la estabilidad estructural y las pérdidas de suelo. Esto refleja que la estabilidad

estructural no está relacionada con el tamaño de los agregados.

En LCV las pérdidas se ven reducidas por agregados grandes en superficie, sin embargo esto no ocurrió con los lotes SD3 y SD7, donde la muestra entera tuvo las menores pérdidas registradas.

Aunque los lotes con siembra directa no alcanzaron el comportamiento del Control, en el caso de la muestra entera las pérdidas se redujeron a medida que el lote permanecía más tiempo bajo este sistema de labranza. Esto puede ser atribuido al mayor contenido de carbono orgánico (Lal *et al.*, 1997), que es uno de los factores que se presentan en el Cuadro N° 1.

### III) Analisis de la relacion entre variables

Los datos utilizados en la correlación se muestran en el Cuadro N° 6, donde se presentan los valores del coeficiente de determinación y de significación. El carbono orgánico explica un 81% de los datos de salpicadura con agregados grandes en superficie, sin embargo no hay correlación con los agregados pequeños. Esto podría deberse a que el carbono orgánico se midió sobre el total de la muestra en lugar de hacerlo sobre cada tamaño de agregado.

En el caso del escurrimiento, independientemente del tamaño de agregado en superficie, las

Cuadro N° 6. Correlaciones Individuales entre variables.

	Carbono orgánico (CO)		DMP	
	R <sup>2</sup>	Signif.	R <sup>2</sup>	Signif.
AP - SALPICADURA	0,2279	0,5872	-0,2690	0,5194
AG - SALPICADURA	<b>-0,8089</b>	0,0150	<b>0,7792</b>	0,0247
AP - ESCURRIMIENTO	0,5883	0,1250	0,5679	0,1426
AG - ESCURRIMIENTO	-0,4050	0,3196	0,5229	0,1836
AP - EROSION TOTAL	-0,2280	0,5871	0,1883	0,6553
AG - EROSION TOTAL	<b>-0,7092</b>	0,0488	<b>0,7794</b>	0,0226

correlaciones con el carbono orgánico fueron débiles, como era de esperarse, ya que en los procesos de erosión entre surcos las cantidades de desprendimiento dependen de la ruptura de agregados por salpicadura y en menor medida por escurrimiento. Esto se observa también en la relación salpicadura - erosión total.

Además se observó que el carbono orgánico explica un 71% de las pérdidas totales con agregados grandes, pero es muy escasa la relación en las pérdidas totales con agregados pequeños. En general, el carbono orgánico presenta relación inversa con las pérdidas por erosión lo que concuerda con los resultados de Wischmeier y Manering, 1965.

Con respecto al DMP los mayores ajustes se presentaron también para la salpicadura y las pérdidas totales con agregados con relaciones de signo positivo del 81 y 78%, respectivamente; dichas relaciones a diferencia de lo ocurrido con el carbono orgánico son directas, probablemente porque este indicador resulta muy general y no detecta las diferencias de estabilidad de agregados individuales.

Sobre la base del análisis anterior, se generaron las siguientes ecuaciones de predicción cuyas variables presentaron las mejores correlaciones.

Los modelos que mejor ajuste presentaron fueron:

$$AG - SALPICADURA = 630,23 \times (-160,6 CO) R^2 = 0,60$$

$$AG - EROSION TOTAL = -6165 \times (1.183 DMP) R^2 = 0,54$$

Como se observa en las ecuaciones, el carbono orgánico resulta el principal factor explicativo del comportamiento de los distintos tratamientos frente al proceso erosivo, aunque también juega un papel importante el DMP, como observara Rienzi (1994). El modelo explica un 60% de los datos cuando hay

agregados grandes superficiales para los procesos de salpicadura y la erosión total. El resto de los datos no pueden ser explicados debido a otros factores interviniendo, como pueden ser las diferentes características físico-químicas del lote, el comportamiento de los factores de agregación ante el agua como disolvente y la forma en que las gotas de lluvia impactan sobre cada uno de ellos.

## CONCLUSIONES

La erosión total fue reducida por agregados grandes colocados en superficie, excepto en el lote Control, que no presentó cambios y siempre mostró los valores más bajos; lo que fue atribuido a su gran estabilidad estructural.

Los agregados grandes redujeron la salpicadura en lotes provenientes de siembra directa pero no en los de labranza convencional. Sin embargo, para el escurrimiento, ese efecto se invierte. Esto fue provocado por las diferencias en la estabilidad de los agregados que produciría cada sistema de labranza.

El diámetro medio ponderado y el carbono orgánico resultaron los principales factores explicativos de los distintos tratamientos frente al proceso erosivo. El modelo explica un 60% y 54% de los datos cuando hay agregados grandes superficiales para los procesos de salpicadura y erosión total, respectivamente.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Manuel Mihura por facilitarnos la obtención de las muestras.

**BIBLIOGRAFÍA**

- BAVER, L.D.; W.H. GARDNER and W.R. GARDNER. 1972. Soil Physics. John Wiley, New York.
- Mc CINTYRE, D.S. 1958 Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. *Soil Science*, 85: 185-189.
- LAL, R.; M.A. CHOUDHARY and W.A. DICK. 1997. Long-term tillage effects on runoff and soil erosion under simulated rainfall for a central Ohio soil. *Soil & Tillage Research*, 42:175-184.
- MEYER L.D. and W.C. HARMON. 1984. Suceptibility of agricultural soils to interill erosion. *Soil Science.*, 48: 1152 -1156.
- MIHURA, M. 1999. Interacción de los procesos de escurrimiento, salpicadura e infiltración en un suelo franco-arcilloso bajo distintas situaciones de manejo. Tesis de Grado. Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. 39 pp.
- 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 American Journal*, 54:1702-1711.
- RIENZI, E.A. 1994. Influencia de algunos factores de agregación en los procesos de sellado-encostrado de un Argiudol típico. Tesis de Magister Scientiae Escuela para Graduados FAUBA. 110 pp.
- RIENZI, E.A. y J. GENOVÉS. 1994 Desprendimiento de partículas a partir de los agregados de una cama de siembra. *Investigación Agraria. Producción y protección vegetales*, Madrid, España. Vol 9 (3):427-438.
- ROTH, C.H and T. EGGERT. 1994. Mechanisms of agreggate breakdown involved in surface sealing, runoff generation and sediment concentration on loess soils. *Soil & Tillage Research* 32:253-268.
- SHARMA, P.P.; S.C. GUPTA and W.J. RAWLS. 1991. Predicting soil detachment by raindrops. *Soil Science Society of American Journal*, 57:674-680.
- SHARMA, P.P. and S.C. GUPTA. 1989. Sand detachment by single raindrops of varying kinetic energy and momentum. *Soil Science Society of American Journal*, 53:1005-1010.
- WISCHMEIER, W.H. and J.V. MANERING. 1965. Effect of organic matter content of the soil on infiltration. *Journal of soil and Water Conservation*. 20:150-152.