



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

NUCLEO DISCIPLINARIO/COMITÉ ACADÉMICO: Ingeniería Agrícola

**PERSISTENCIA DEL EFECTO DE LA COMPACTACIÓN POR TRÁNSITO  
EN LA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA POROSO DE UN SUELO DE LA  
REGIÓN PAMPEANA**

Autores: Lozano, Luis A., Mac Cormick, Francisco J.

Correos electrónicos: [luisalbertolozano@agro.unlp.edu.ar](mailto:luisalbertolozano@agro.unlp.edu.ar); [fisica@agro.unlp.edu.ar](mailto:fisica@agro.unlp.edu.ar)

PALABRAS CLAVE: infiltración –densidad aparente – compactación

## Introducción

En un contexto agronómico, puede ser considerado a un suelo compactado cuando la porosidad total (en particular, la porosidad libre al aire) es tan baja como para restringir la aireación, así como cuando el suelo es impermeable y los poros tan pequeños que impiden la penetración de raíces, la infiltración y el drenaje. Una de las causas de la compactación del suelo es el pisoteo por ganado. Sin embargo, la causa más común de compactación del suelo es el efecto del tránsito, impuesto sobre el suelo por vehículos e implementos. Más del 90 % de la superficie del suelo puede ser atravesada por las ruedas del tractor durante la tradicional preparación de la cama de siembra para los cultivos. Además, la tendencia de reducir las labores en las granjas por el uso de maquinarias más grandes y pesadas incrementan la probabilidad de deterioro por compactación (Hillel, 1998). En los últimos años se ha visto incrementado el peso de la maquinaria agrícola, y su tránsito ha provocado problemas de sobrecompactación de suelos, sobre todo ocasionados por el tránsito en condiciones de humedad no adecuadas para esto (Alakukku *et al.*, 2003).

El comportamiento físico y mecánico de los suelos limosos de clima húmedo ha sido estudiado por varios autores. Este tipo de suelos predomina en la Pampa Ondulada Argentina. En general, se caracterizan por su susceptibilidad a compactarse y a formar estructura masiva y homogénea. En sitios con larga historia agrícola, se asocian con bajos contenidos de materia orgánica, pobre estabilidad de agregados y reducida capacidad de infiltración (Voorhees and Lindstrom, 1984; Alakukku, 1998; Topp *et al.*, 2002).

Algunos autores encontraron que las características mineralógicas de estos suelos impiden la regeneración de estructuras degradadas en sistemas de labranza cero (Taboada *et al.*, 1998; Sasal *et al.*, 2006). Ni los medios abióticos (expansión-contracción) ni los biológicos (lombrices, raíces) han probado ser efectivos en dicho proceso.

Por otro lado se ha observado que el flujo en los poros grandes es más afectado por la compactación que el flujo en los poros pequeños. Esto sugiere que la compactación destruye más los poros grandes que los pequeños, un fenómeno a menudo medido con curvas de desorción (Horton *et al.*, 1994).

En general, las herramientas experimentales que se utilizan para caracterizar el grado de compactación de un suelo, son el penetrómetro de cono y la medida de la densidad aparente. Sin embargo, la porosidad total puede permanecer igual luego de la compactación, mientras que la configuración del sistema poroso siempre se modifica. Los cambios en esta configuración se ven reflejados en la alteración de las propiedades hidráulicas de los suelos (Horton *et al.*, 1994; Green *et al.*, 2003). Estas propiedades hidráulicas del suelo son la Tasa de Infiltración Básica, la Sortividad y la Conductividad Hidráulica Saturada (Soracco, 2009). El valor de estas variables no sólo determina la

cantidad de agua que ingresará al perfil y que estará disponible para el cultivo, sino que también determina el riesgo de erosión hídrica y de anegamiento de suelos.

Por lo tanto, resulta más valioso el conocimiento de la alteración de las propiedades hidráulicas debida al efecto del tránsito, distinguiendo el aporte de las distintas familias de poros a la tasa de infiltración, lo cual se puede medir utilizando el infiltrómetro de disco a tensión (Soracco, 2009).

Estas mediciones, si se realizan luego de cierto tiempo de realizado el tránsito, pueden aportar información valiosa sobre la persistencia del efecto del tránsito sobre las propiedades hidráulicas del suelo.

### **Objetivos**

Evaluar el efecto del tránsito, luego de dos años de realizado, sobre la variable densidad aparente del suelo.

Evaluar el efecto del tránsito, luego de dos años de realizado, sobre la tasa de infiltración básica del suelo.

Evaluar el efecto del tránsito, luego de dos años de realizado, sobre el aporte de las distintas familias de poros a la tasa de infiltración.

### **Materiales y métodos**

El ensayo se realizó en un suelo ubicado en la Estación Experimental Julio Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (34°55' Latitud Sur, 57°57' Longitud Oeste). El suelo es un Argiudol típico (USDA, 2006). La textura en los primeros 15 cm es franco limosa. Está planteado un diseño en bloques completos al azar, con tres tratamientos; testigo sin tránsito (T), tres pasadas de tractor (T3) y cinco pasadas de tractor (T5). Los tratamientos fueron aplicados en Junio de 2007. Durante los tratamientos el suelo se encontraba consolidado habiendo recibido la última labranza dos años antes con arado de reja y vertedera a una profundidad de 15 cm. En Marzo de 2008 se implantó una pastura de alfalfa, que actualmente cubre aproximadamente 50 % de la superficie.

Las características del vehículo utilizado durante los tratamientos se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Características principales del tractor utilizado en el ensayo.

	Masa (kg)	Dimensión neumáticos (pulgadas)	Presión máxima neumáticos (kPa)	Ancho (m)
Eje anterior	1210	7,5 x 18	95,23	1,6
Eje posterior	2600	18,5 x 34	207	2,1
Total	3810			

En cada uno de los tratamientos se realizaron determinaciones de la tasa de infiltración, utilizando el infiltrómetro de disco a tensión (Perroux and White, 1988) (Figura 1), en el mes de Abril de 2009. Este instrumento presenta una serie de ventajas; (i) es fácilmente transportable; (ii) usa volúmenes de agua relativamente pequeños; (iii) al permitir realizar mediciones in situ se pueden obtener valores representativos del campo sin los problemas aparejados de la toma y transporte de muestras; (iv) por sus características de diseño permite realizar mediciones discriminando parcialmente el tamaño de poros que se desea excluir; (v) se ha citado que debido a tratar el flujo en 3 dimensiones alcanza el estado estacionario con mayor rapidez y (vi) su reducido costo (Angulo Jaramillo *et al.*, 2000; Vandervaere *et al.*, 2000).

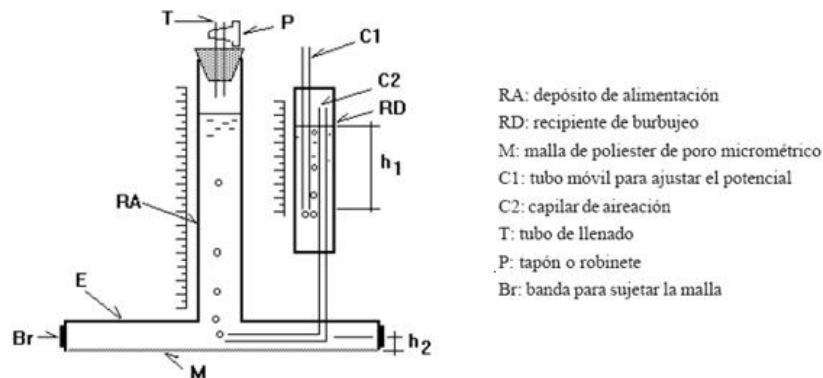


Figura 1. Esquema del infiltrómetro de disco a tensión. El diámetro del disco es de 12 cm.

La tasa de infiltración ( $q$ ) indica cuán rápido entra el agua en el suelo. El valor de  $q$  cambia durante el proceso de infiltración. Es máximo al inicio y conforme el contenido de humedad aumenta el valor de  $q$  disminuye hasta llegar a un valor constante en el tiempo, en ese momento habremos alcanzado la tasa de infiltración básica ( $q_{inf}$ ).

La expresión que permite obtener la Infiltración acumulada en el tiempo, según el modelo de Philip (1957) es:

$$I = St^{1/2} + At \quad (1)$$

Donde I es infiltración acumulada [L], S es sortividad [ $LT^{-1/2}$ ], t es tiempo [T] y A es un factor que depende de la conductividad hidráulica saturada [ $LT^{-1}$ ]. La derivada de esta expresión nos permite obtener la tasa de infiltración a un tiempo dado:

$$q = 1/2 St^{-1/2} + A \quad (2)$$

Se entiende como Sortividad a la capacidad de un suelo para absorber agua cuando el flujo tiene lugar bajo un gradiente de potencial mátrico. Es una medida de la habilidad que tiene un suelo de absorber agua durante el proceso de humedecimiento. En general cuanto mayor es el valor de Sortividad, mayor será el volumen de agua que puede ser absorbido en forma rápida.

El uso de diferentes tensiones permite distinguir el aporte de poros de diferentes tamaños al proceso de infiltración.

Las distintas tensiones de aplicación de agua, h (L), son asociadas a radios de poros r (L), aplicando la ecuación de ascenso capilar:

$$r = \frac{2\sigma \cos(\alpha)}{\rho gh} \quad (3)$$

donde  $\sigma$  es la tensión superficial del agua ( $MT^{-2}$ ),  $\alpha$  es el ángulo de contacto entre el agua y la pared del poro (se asume que es igual a cero),  $\rho$  es la densidad del agua ( $ML^{-3}$ ), y  $g$  es la aceleración debida a la gravedad ( $LT^{-2}$ ).

Se realizaron cuatro mediciones por tratamiento, con tres tensiones de aplicación de agua (6 cm, 3 cm, 0 cm).

Aplicando una tensión de 6 cm en la base del infiltrómetro, se excluyen del flujo los poros de diámetro mayor a 0,5 mm, con una tensión de 3 cm se excluyen los poros de diámetro mayor a 1 mm, y con una tensión de 0 cm todos los poros participan del proceso. De esta forma se puede distinguir el aporte de los distintos tamaños de poros al flujo total.

Se determinó densidad aparente superficial de cada tratamiento utilizando el método del cilindro (Blake and Hartge, 1986).

Los resultados fueron analizados mediante un ANOVA y un test de medias para buscar diferencias significativas entre los tratamientos (valor de  $p < 0,05$ ). Los datos se analizaron con el software estadístico de uso libre R.

## Resultados

No se encontraron diferencias significativas en la variable densidad aparente entre los tratamientos (valor de  $p < 0,05$ ) (Figura 2).

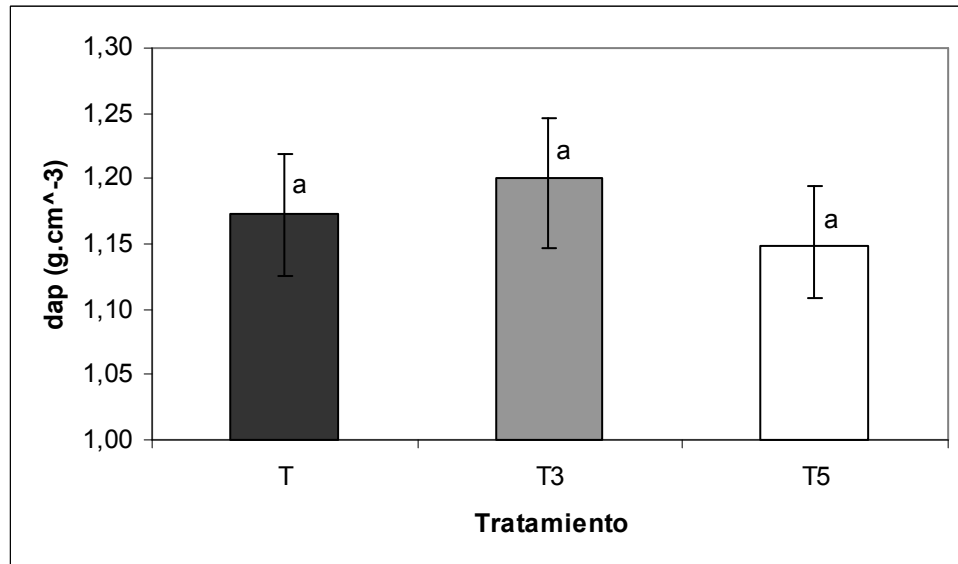


Figura 2. Densidad aparente media por tratamiento. Columnas con letras distintas difieren significativamente en sus medias (valor de  $p < 0,05$ ). Las barras muestran el desvío estándar.

Con el objetivo de comparar el aporte de las distintas familias de poros al flujo total, se analizaron por separado cada tensión de entrega de agua. Para cada tensión de entrega de agua se realizó un ANOVA simple, siendo la variable dependiente la  $q$  a esa tensión de entrega de agua, y el factor el tratamiento (T, T3, T5). Para la tensión de entrega de agua de 6 cm no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Para las tensiones de entrega de agua de 3 cm y 0 cm, hubo efecto significativo de tratamiento, siendo en ambos casos la  $q$  significativamente menor en el tratamiento T5, no encontrándose diferencias significativas entre T y T3 (valor de  $p < 0,05$ ). En la Figura 3 se presentan los datos de  $q_{inf}$  según tratamiento y el aporte de las familias de poros (según tensión de entrega de agua).

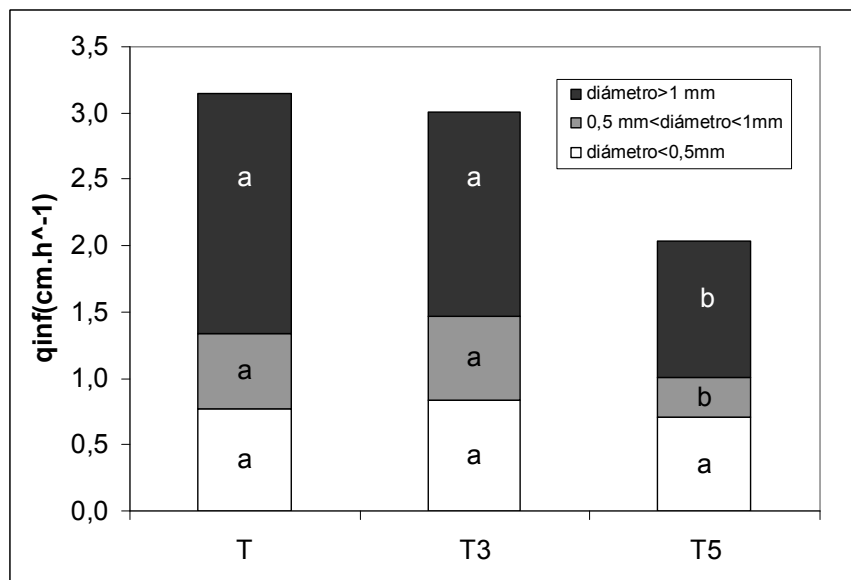


Figura 3. Tasa de infiltración básica media según tratamiento, mostrando el aporte de los diferentes tamaños de poros al total. Columnas con letras distintas, para la misma familia de poros difieren significativamente en sus medias (valor de  $p < 0,05$ ).

### Discusión y Conclusiones:

Dado que la infiltración es una consecuencia de las condiciones del suelo, particularmente del sistema poroso, puede realizarse una caracterización del mismo en lo que hace a la distribución de tamaño de poros y la continuidad a partir de variables hidráulicas (Filgueira *et al.*, 2006). La tasa de infiltración básica de un suelo dependerá por lo tanto de las características de su sistema poroso.

En los últimos años se ha visto incrementado el peso de la maquinaria agrícola, y su tránsito ha provocado problemas de sobrecompactación de suelos, sobre todo ocasionados por el tránsito en condiciones de humedad no adecuadas para esto (Alakukku *et al.*, 2003). En general, las herramientas experimentales que se utilizan para caracterizar el grado de compactación de un suelo, son el penetrómetro de cono y la medida de la densidad aparente. Sin embargo, la porosidad total puede permanecer igual luego de la compactación, mientras que la configuración del sistema poroso siempre se modifica. Los cambios en esta configuración se ven reflejados en la alteración de las propiedades hidráulicas de los suelos (Horton *et al.*, 1994; Green *et al.*, 2003). Por otro lado se ha observado que el flujo en los poros grandes es más afectado por la compactación que el flujo en los poros pequeños. Esto sugiere que la compactación destruye más los poros grandes que los pequeños (Horton *et al.*, 1994).

Los resultados obtenidos en este trabajo nos permiten afirmar que en el suelo estudiado la compactación debida al tránsito, luego de dos años de realizado, no tuvo efectos significativos sobre la porosidad total, medida de forma indirecta a través de la densidad aparente.

Sin embargo, el efecto de la compactación por tránsito sobre la infiltración básica, luego de dos años de realizado, persistió en el tratamiento que recibió mayor intensidad de tránsito (T5). En cuanto al aporte de las distintas familias de poros, la diferencia fue significativa para los poros mayores a 0,5 mm de diámetro, que aportaron menos a la tasa de infiltración en T5. Esto coincide con lo hallado por otros autores. Horton *et al.* (1994) encontraron que la compactación afecta más al flujo en los poros más grandes.

Estos resultados también están de acuerdo con lo hallado por Taboada *et al.* (1998) y Sasal *et al.* (2006), quienes aseguraron que las características mineralógicas de estos suelos impiden la regeneración de estructuras degradadas.

Por último, es destacable que la variable densidad aparente no logró captar las diferencias entre tratamientos, indicando que la porosidad total puede ser igual entre tratamientos, y la tasa de infiltración diferente, como resultado de una variación en la configuración del sistema poroso. En este caso se evidencia un cambio en la conectividad de los poros mayores, que en T5 persistió luego de dos años de realizado el tránsito. Finalmente se confirma la necesidad de utilizar variables dinámicas, tales como la tasa de infiltración, para determinar el efecto del tránsito sobre la configuración del sistema poroso.

## **Bibliografía**

Alakukku, L. 1998. Properties of compacted fine-textured soils as affected by crop rotation and reduced tillage. *Soil Till. Res.* 47:83-89.

Alakukku, L, Weisskopf, P., Chamen, W.C.T., Tijink, F.G.J., van der Linden, J.P., Pires, S., Sommer, C., Spoor, G. 2003. Prevention Strategies for field traffic-induced compaction: a review. Part 1 Machine/Soil interactions. *Soil Till. Res.* 73:145-160.

Angulo-Jaramillo, R., Vandervaere, J.P., Roulier, S., Thony, J.L., Gaudet, J.P., Vauclin, M. 2000. Field measurement of soil hydraulic properties by disc and ring infiltrometers, a review and recent developments. *Soil Till. Res.* 55:1-29.

Blake, G.R., Hartge, K.H. 1986. Bulk density. *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph N° 9. Second edition.* Pp. 363-376.



Filgueira, R.R., Soracco, C.G., Sarli, G.O., Fournier, L.L. 2006. Estimación de propiedades hidráulicas de suelos por mediciones a campo y el uso de modelos de flujo estacionario y transitorio. *Ci. Suelo (Argentina)* 24:39-48.

Green, T.R., Ahuja, L.R., Benjamin, J.G. 2003. Advances and challenges in predicting agricultural management effects on soil hydraulic properties. *Geoderma* 116: 3-27.

Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Ed. Academic Press. Pp. 173-201.

Horton, R., Ankeny, M.D., Allmaras, R.R. 1994. Effects of compaction on soil hydraulic properties. En: B.D. Soane, C. Ouwkerk (eds.). *Soil compaction in crop production*. Elsevier, Amsterdam, pp.141-165.

Perroux, K.M., White, I. 1988. Designs for disc permeameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1205-1215

Philip, J. R. 1957. The Theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci.* 84:257-264.

Sasal, M.C., Andriulo, A.E., Taboada, M.A., 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil Till. Res.* 87:9-18.

Soracco, C.G. 2009. Efecto de la compactación sobre el sistema poroso del suelo en diferentes situaciones de labranza; modelización y realidad. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

Taboada, M.A., Micucci, F.G., Cosentino, D.J., Lavado, R.S. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.* 49:57-63.

Topp, G.C., Wires, K.C., Angers, D.A., Carter, M.R., Culley, J.L.B., Holmstrom, D.A., Kay, B.D., Laf Ond, G.P., Langille, D.R., McBride, R.A., Patterson, G.T., Perfect, E., Rasiah, V., Radd, A.V., Webb, K.T. 2002. *Changes in Soil Structure*.

<http://sis.agr.gc.ca/cansis/publications/health/chapter06.html>

USDA. 2006. *Keys to soil taxonomy*. 10th ed. 332 p. USA.

Vandervaere, J.P., Vauclin, M., Elrick, D.E. 2000. Transient flow from tension infiltrometers: I. The two parameter equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1263-1272.

Voorhees, W.B., Lindstrom, M.J. 1984. Long-term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, pp. 152-156.