

# PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE UN SUELO ARENOSO DE SABANA DESPUÉS DE CINCO AÑOS DE APLICACIÓN DE PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS

Adriana Florentino<sup>1</sup>, Marisol López<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Edafología-Facultad de Agronomía-Universidad Central de Venezuela-Maracay; <sup>2</sup> MPPAT-Instituto de Investigaciones Agrícolas (INIA).

E-mail: [florentinoa@agr.ucv.ve](mailto:florentinoa@agr.ucv.ve) ; [mlopez@inia.gob.ve](mailto:mlopez@inia.gob.ve)

## RESUMEN

La cobertura superficial, el contenido y calidad de la materia orgánica del suelo son fundamentales para el desarrollo de sistemas de producción agrícola sustentables. El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos, a mediano plazo, de la labranza mínima, uso de abonos orgánicos (restos de cosecha y abonos verdes) combinando con fuentes inorgánicas en bajas dosis y rotación de cultivos sobre las propiedades hidráulicas del suelo: conductividad hidráulica saturada (Ks), retención de humedad gravimétrica (% H,  $g\ g^{-1}$ ) y agua aprovechable (% AA); así como la capacidad de almacenamiento de agua relativa (CAAR), en el Municipio Espino, estado Guárico. Los tratamientos evaluados fueron: **B**: Barbecho (Testigo); **SR**: Sin residuos (suelo desnudo); **RN**: Abonos verdes nativos (*Indigofera lespedezioides*, añil). **RL**: abonos verdes introducidos (*Crotalaria juncea*). **RG**: Restos de cosecha de sorgo (*Sorghum bicolor*). Los resultados presentan mejoras en la Ks y la CAAR por efecto de los residuos RN, RG y el mantenimiento en barbecho (B) en los primeros 20 cm de profundidad.

**Palabras clave:** Abono verde, siembra directa, crotalaria (*Crotalaria juncea*), añil (*Indigofera lespedezioides*)

## INTRODUCCIÓN

Las propiedades hidráulicas de los suelos arenosos de las sabanas ácidas venezolanas constituyen una de las limitaciones más importantes para la producción agrícola sostenible de estas zonas. El uso de prácticas agroecológicas de manejo de suelos (incorporación de leguminosas como abono verde, abono orgánico combinado con abono inorgánico) incrementa el contenido de materia orgánica y mejora las propiedades hidráulicas del suelo, además de otras propiedades físicas, químicas y biológicas. Por otro lado, el tipo de labranza es una de las prácticas que ejerce un efecto inmediato sobre las propiedades del suelo, con cambios positivos tanto en la capacidad de retención de agua como en los procesos de flujo de agua y nutrientes a través del perfil (Osunbitan et al., 2005; Singh y Malhi, 2006). La Ks es un indicador de la capacidad que tiene el suelo para transmitir agua a la zona radical para que sea aprovechable por las plantas, así como para drenar el exceso de agua fuera de esta zona (Topp et al., 1997), considerándose que valores entre 1,8 y 18  $cm\ h^{-1}$  es ideal para promover una rápida infiltración y redistribución de agua, reducir la escorrentía y la erosión y drenar el exceso de agua fuera de la zona radical (Reynolds et al., 2007). López et al. (2006) en la misma localidad de estudio y Torres et al. (2006) en zona de colina, combinando abonos inorgánicos y orgánicos, encontraron mejoras en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas, lo cual influyó positivamente en los incrementos de los rendimientos de los cultivos indicadores evaluados. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto combinado de abonos orgánicos e inorgánicos sobre algunas propiedades hidráulicas de un suelo ácido de baja fertilidad del estado Guárico después de cinco (5) años bajo un manejo agroecológico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Características edafoclimáticas del sitio experimental:** La zona se caracteriza por presentar precipitaciones entre 1000 y 1150 mm al año, distribuidas en 5 a 6 meses, de ocurrencia erráticas, de alta intensidad y de corta duración. El quinto año de evaluación del experimento, las precipitaciones se concentraron en cuatro meses, con valores de 135; 317,4; 190,1 y 54 mm para los meses julio, agosto, septiembre y octubre respectivamente, con un total de 696,5 mm, mostrando un comportamiento unimodal en la distribución. La temperatura media varió entre 19 y 34 °C.

**Fertilidad del suelo:** La fertilidad al inicio del experimento presentó baja disponibilidad de fósforo ( $P < 3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), potasio ( $K = 20 \text{ mg kg}^{-1}$ ), calcio ( $Ca < 50 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y magnesio ( $Mg < 20 \text{ mg kg}^{-1}$ ), el pH muy ácido (4,5) y de textura gruesa (a, Fa) con porcentajes de arena entre 80 y 86 % y con muy baja actividad biológica y bioquímica. El suelo fue clasificado por Rey (2002) como un Typic Paleustult, francosa gruesa, caolinítica, isohipertérmica. **Cultivos indicadores sembrados en rotación:** *Sorghum bicolor* L Moench, cultivar Chaguaramas VII. y *Vigna unguiculata*, variedad Tuy. Los **abonos verdes** fueron dos leguminosas (o Fabaceae): *Crotalaria juncea* L. (introducida) e *Indigofera lepedezoides* Kunth (nativa), conocida como añil. **Mecanización:** Se utilizó labranza mínima durante los primeros cuatro años, pero el quinto año no se requirió ninguna mecanización. **Diseño experimental:** Se utilizó un diseño en bloques al azar con un arreglo de tratamientos en parcelas subsubdivididas, con cuatro (4) repeticiones. La parcela principal correspondió a los tratamientos orgánicos; la secundaria a los tratamientos inorgánicos y la terciaria a la profundidad de muestreo (López et al. 2006). **Tratamientos orgánicos:** Se utilizaron tres (3) tratamientos orgánicos, constituidos por dos (2) abonos verdes: residuos de crotalaria (RL) y residuos de añil (RN); restos de cosecha de sorgo (RG) contrastados con parcelas sin residuo (SR) y un testigo absoluto, barbecho (B). Las parcelas: SR, RN, RL y RG recibieron fertilización inorgánica a base de Nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en bajas dosis antes de la siembra de los cultivos indicadores sorgo (S) y frijol (F) y las leguminosas utilizada como abono verde (crotalaria y añil). Cada parcela (RN, RL, RG, SR B) con dimensiones de 5 m x 18,5 m con un área de 92,5 m<sup>2</sup> c/u. Se tomaron muestras de suelo alteradas y no alteradas (3 repeticiones) en cada capa de suelo de 5 cm de espesor hasta los 40 cm de profundidad, cerca del hilo de siembra. En las muestras no alteradas (volumen de 89 cm<sup>3</sup>) se determinó conductividad hidráulica saturada con carga constante (Klute y Dirksen, 1986) y en las muestras alteradas, pasadas por tamiz de 2 mm se determinó la curva característica de retención de humedad a potenciales mátricos de -10 kPa y -1500 kPa, estimándose el % de agua aprovechable (AA) a través de la diferencia entre estos valores (Klute, 1986). La capacidad de almacenamiento de agua relativa (CAAR) se determinó con base a la relación Microporos/Porosidad total, MicPO/EPT, (Danielson y Sutherland, 1986). Los datos fueron analizados como parcelas divididas; se realizó el análisis de varianza y pruebas de medias utilizando el paquete estadístico INFOSTAT (2004).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Propiedades hidráulicas del suelo después de 5 años de manejo con prácticas agroecológicas.** La conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ) constituyó uno de los factores de variación encontrados en la evaluación (Cuadro 1). La mayor respuesta se

debió al tipo de sistema de manejo y la profundidad, destacando en el primero las variables contenido de humedad gravimétrica (% H) a un potencial mátrico de -10 kPa, de -1500 kPa y % de agua aprovechable (AA) (Cuadro 2).

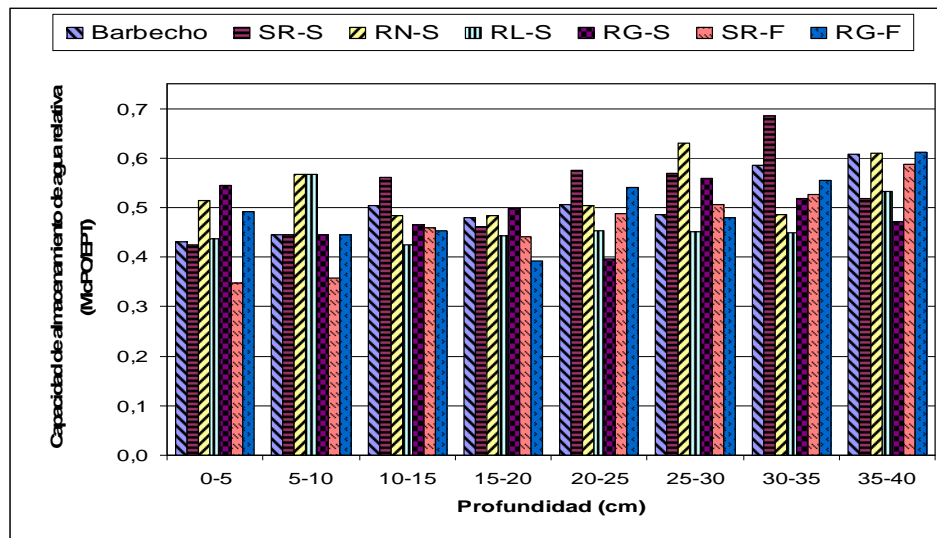
**Cuadro 1.** Análisis de varianza de las propiedades hidráulicas: conductividad hidráulica saturada (Ks), retención de humedad gravimétrica (% H, g g<sup>-1</sup>) y agua aprovechable (% AA) después de 5 años con sistemas de manejo agroecológico.

Fuente de variación	Ks (cm.h <sup>-1</sup> )	%H-(10 kPa)	%H-(1500 kPa)	AA (%)
Tratamientos (Manejo)	NS	**	**	**
Profundidad	**	NS	NS	NS
Cultivo	NS	*	NS	**
Manejo*Profundidad	NS	NS	NS	NS
Manejo*Cultivo	NS	NS	*	NS

\* Diferencias significativas a un nivel de probabilidad del 95 % (P<0,05); \*\*Diferencias altamente significativas a un nivel de probabilidad del 99 % (P<0,01); NS: No significativo.

**Capacidad de almacenamiento de agua relativa (CAAR=Relación MicPO/EPT):**

En todos los tratamientos y profundidades los valores de CAAR son superiores al 0,35, y varían entre 0,35 y 0,45 en la mayoría de ellos, excepto en los tratamientos: RN-S (5-10; 25-30 y 35-40 cm); RL-S (5-10 cm), SR-S (10-15 cm), SR-S (20-35 cm) y B (30-35 cm), donde ésta relación supera el 0,55, (Figura 1).



**Figura 1.** Cambios en la capacidad de almacenamiento de agua relativa (CAAR=MicPO/EPT) del suelo en ocho profundidades para los tratamientos: B=barbecho; SR-S=Sin residuo-sorgo; RN-S=residuos nativos-sorgo; RL-S=residuos crotalaria-sorgo; RG-S=residuo de sorgo-sorgo; SR-F= sin residuo –frijol; RG-F= residuo sorgo-frijol.

A partir de los 25 cm de profundidad todos los tratamientos superan el 0,45 de CAAR. Considerando que la CAAR es definida como  $\theta_w$  correspondiente al agua retenida en los MicPO en relación al  $\theta_w$  a saturación (correspondiente al EPT) y que es expresada a

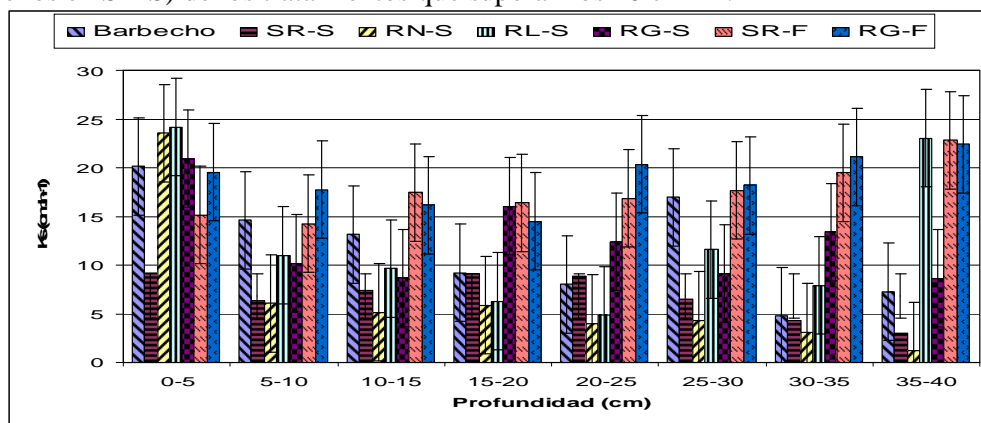
través de la relación MicPO/EPT, cuyos valores adecuados están entre 0,6 y 0,7 (Olness et al., 1998) para un buen balance agua/aire en agricultura de secano, permitiendo la máxima actividad biológica, de acuerdo a la textura y la densidad aparente ( $D_a$ ) del suelo. Teniendo presente que valores menores a 0,6 causan pobre actividad biológica debido a los déficits de agua, mientras que valores superiores a 0,7 pudieran limitar la actividad biológica debido a la insuficiencia de aire para los microorganismos del suelo. Tomando como referencia valores superiores a 0,50 en capas ubicadas a una profundidad entre 20-25 cm, zona donde se desarrolla el mayor volumen de raíces de los cultivos sorgo y frijol, los tratamientos mejores fueron: B, RN-S, y SR-S, ya que estas capas pudieran ayudar a reducir la velocidad instantánea de flujo de agua y nutrientes en el perfil y a una mayor aprovechabilidad por los cultivos. En estos tratamientos, la macroporosidad de las capas superficiales permite la entrada de suficiente agua al suelo, mientras que las capas subsuperficiales ayudan a reducir las pérdidas por drenaje profundo.

En este sentido, Román (1990), trabajando con suelos arenosos del estado Monagas, encontró que una capa moderadamente compactada ubicada a los 30 cm de profundidad, en columnas de suelo, generó los mejores resultados en cuanto a la conservación de agua, desarrollo de raíces y producción de biomasa de maíz. Comparando con el valor mínimo crítico propuesto por Olness et al. (1998), todos los tratamientos generaron valores menores al 0,60 en los primeros 25 cm de profundidad, y a partir de esta profundidad, los tratamientos RN-S y SR-S presentan valores superiores al 0,6, cuyo valor más cercano lo presentan RG-S y RN en la capa de 0-5 cm y RN y RL en la capa de 5-10 cm. Los valores más bajos son en las parcelas sin residuos: SR-F y SR-S, destacando que la presencia de residuos en el suelo y la consecuente incorporación de materia orgánica (MO) al mismo, generó una mayor capacidad de almacenamiento de agua en este tipo de suelo. Los contenidos de MO incrementaron hasta  $6 \text{ g kg}^{-1}$  por efecto de las prácticas con residuos, variando entre 10 y  $14 \text{ g kg}^{-1}$  en donde se aplicó algún tipo de residuo (RN, RG, RL) y donde se mantuvieron las parcelas en barbecho (B).

**Conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ):** El análisis de varianza mostró un efecto altamente significativo de la profundidad sobre la  $K_s$  del suelo (Cuadro 1). En la Figura 2 se muestra que los valores más altos de  $K_s$  se ubicaron en la capa superficial del suelo, siendo éste superior a los  $15 \text{ cm h}^{-1}$  en todos los tratamientos, y con valores mayores a  $20 \text{ cm h}^{-1}$  en B y RN-S, RL-S y RG-S; en la capa de 5-20 cm la  $K_s$  varió entre 5 y  $18 \text{ cm h}^{-1}$ , con RN-S mostrando los valores menores, seguido de SR-S. Entre 15 y 30 cm B y RN-S presentan los valores más bajos. SR-S mostró valores menores a  $9,22 \text{ cm h}^{-1}$  en todo el perfil, coincidiendo con los mayores valores de  $D_a$  (datos no mostrados) y la relación MicPO/EPT en este tratamiento.

En RN-S, los resultados fueron similares, con valor muy alto de  $K_s$  en la capa de 0-5 cm y a partir de esa profundidad con valores entre  $1,21$  y  $6,06 \text{ cm h}^{-1}$ ; por el contrario RL-S, RG-F y B presentan los valores más altos en todo el perfil, variando entre  $8,65$  y  $20,93$  en el primero, entre  $4,13$  y  $22,10 \text{ cm h}^{-1}$  en el segundo y entre  $4,77$  y  $20,13$  en el tercero. Si aceptamos el rango de valores óptimos ( $1,8 \text{ cm.h}^{-1}$  y  $18 \text{ cm.h}^{-1}$ ) para suelos agrícolas propuesto por Reynolds et al. (2007), con un valor mínimo crítico de  $0,36 \text{ cm h}^{-1}$ , observamos que todos los tratamientos, a todas las profundidades, excedieron este valor mínimo crítico, sin problemas de muy baja permeabilidad, y que la mayoría de

ellos presentan valores dentro de este rango, excepto en la capa de 0-5 cm de la mayoría (menos en SR-S) de los tratamientos que superan los 20 cm h<sup>-1</sup>.



**Figura 2.** Cambios en la conductividad hidráulica saturada (Ks) del suelo en ocho profundidades para los tratamientos: B=barbecho; SR-S=Sin residuo-sorgo; RN-S=residuos nativos-sorgo; RL-S=residuos crotalaria-sorgo; RG-S=residuo de sorgo-sorgo; SR-F= sin residuo -frijol; RG-F= residuo sorgo-frijol.

En general, el suelo después de 5 años bajo manejo con principios agroecológicos, puede ser moderadamente susceptibles a pérdidas por lavado de nutrientes y de plaguicidas, igualmente el agroecosistema sorgo-frijol puede ser afectado por sequía, debido a la rápida velocidad de flujo de agua y a que aún se mantiene baja capacidad de retención de humedad del suelo, siendo menor su efecto en aquellos tratamientos donde la relación MicPO/EPT fue mayor en alguna de las capas subsuperficiales dentro del perfil, tal como lo encontró Drewry y Paton (2005) en ensayos con labranza reducida o siembra directa.

Así como se señaló anteriormente, tanto la permeabilidad (Ks) como la infiltración de agua en este suelo (datos no mostrados), bajo los diferentes tratamientos, es alta, pudiendo ocurrir procesos de lixiviación de solutos, que puede incluir, además de los nutrientes esenciales para los cultivos y contaminantes, la movilidad de compuestos orgánicos hacia capas más profundas, protegiéndose mucho más la materia orgánica (MO) producto del efecto de la aplicación de los tratamientos de residuos y reduciendo así la emisión de carbono a la atmósfera. El enriquecimiento de MO en las capas subsuperficiales del suelo conseguidos en estas evaluaciones corroboró esta hipótesis.

## CONCLUSIONES

El uso de prácticas agroecológicas con abonos orgánicos y labranza mínima en los suelos arenosos estudiados mejoró las propiedades hidráulicas al reducir la velocidad de flujo de agua en el perfil y aumentar la capacidad de almacenamiento de agua cercano a la zona de desarrollo radical, como consecuencia principal de un incremento del contenido de materia orgánica del suelo y de la labranza mínima utilizada.

Agradecimientos: Se agradece al FONACIT por el financiamiento otorgado para el desarrollo de esta investigación a través del Proyecto S1-2002000391 y al laboratorio de Física de Suelo de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, donde se realizaron los análisis respectivos.

## BIBLIOGRAFÍA

DANIELSON, R. E. y P. L. SUTHERLAND. (1986). Porosity. En: Methods of soil analysis. Part 1. American Society of Agronomy. Wisconsin, USA. pp 443-461

DREWRY, J. J. y R. J. PATON. (2005). Soil physical quality under cattle grazing of a winter fed brassica crop. *Aust. J. Soil Res.* 43: 525-531.

INFOSTAT (2004). InfoStat, versión 2004. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina. 318 p.

Klute, A. (1986). Water relations: Laboratory methods. p. 635-662. En A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1.* 2nd ed. Agron. Monogr. No. 9. ASA y SSSA, Madison, WI.

KLUTE, A., C. DIRKSEN.(1986). Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. pp. 687-734. En A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1.* 2nd ed. Agron. Monogr. No. 9. ASA y SSSA, Madison, WI.

LÓPEZ, M., N. ALFONZO, A. FLORENTINO Y M. PÉREZ. (2006). Dinámica del fósforo y reducción del aluminio intercambiable en un suelo ultisol sometido a manejo conservacionista en Venezuela. *Interciencia*, 31: 293-299.

OLNESS, A., C.E. CLAPP, R. LIU y A. J PALAZZO. (1998). Biosolids and their effects on soil properties. In: Wallace, A., terry, R. E. (Eds). *Handbook of Soil Conditioners.* Marcel Dekker, New York, N. Y., 141-165 pp.

OSUNBITAN, J. A., D. J. OYEDELE, K.O. ADEKALU. (2005). Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria. *Soil & Tillage Research* 82: 57–64.

REY, J.C. (2002). Informe caracterización de suelos experimentales ubicados en el Municipio Espino, estado Guárico. INIA-CENIAP. 6p.

REYNOLDS, W. D., C. F. DRURY, X.M. YANG, A. FOX, S. TAN y Q. ZHANG. (2007). Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. *Soil & Tillage Research* 96: 16–330.

ROMÁN, D. (1990). Efecto de capas compactadas sobre la retención de agua y nutrientes en un suelo arenoso de la mesa de Guanipa. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, 89 p.

SINGH, B. Y S.S. MALHI. (2006). Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. *Soil and Tillage Research.* 85: 145 – 153.

TOPP, G. C., W.D. REYNOLDS, F.J.COOK; J.M. KIRBY y M.R CARTER. (1997). Physical attributes of soil quality. En: Gregorich, E. G., Carter, M. R. (Eds). *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Development in Soil Science, Vol. 25,* Elsevier, New York, NY, 21-58 pp.

TORRES, D., A. FLORENTINO Y M. LÓPEZ. (2006). Indicadores e índices de calidad de suelo en un ultisol bajo diferentes prácticas de manejo conservacionista en Guárico, Venezuela. *Bioagro*, 18 (2):83-91.