

PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE DOS SUELOS SUBIRRIGADOS CULTIVADOS CON PALMA ACEITERA EN EL ESTADO MONAGAS, VENEZUELA¹

HYDRAULIC PROPERTIES OF TWO SUBIRRIGATED SOILS CULTIVATED WITH OIL PALM IN MONAGAS STATE, VENEZUELA¹

Renny Barrios M.* y Adriana Florentino**

¹ Trabajo financiado por el Fondo para la Investigación en Palma Aceitera (Foninpal) y a la empresa Palmas de Monagas C. A.

* Investigador. INIA Monagas. San Agustín de la Pica, Vía Laguna Grande, Apdo. 184, Maturín, estado Monagas. Venezuela.

E-mail: rbarrios@inia.gov.ve

** Profesora. FAGRO-UCV. Universidad Central de Venezuela. Vía El Limón. Apdo. 4579, Maracay, estado Aragua. Venezuela.

RESUMEN

En un ensayo conducido en el estado Monagas se evaluaron las propiedades hidráulicas de dos suelos representativos de las plantaciones comerciales de palma aceitera, *Elaeis guineensis* Jacq., a fin de inferir acerca del comportamiento de un sistema de subirrigación sobre el cultivo. Para el muestreo se trazaron 5 transectas en las cuales se seleccionaron 102 puntos en el Ultisol (*Typic Plinthudults*) y 92 puntos en el Vertisol (*Entic Pelluderts*). Las propiedades hidráulicas fueron evaluadas en cuatro estratos. Las variables evaluadas fueron: conductividad hidráulica saturada (Ks), densidad aparente (Da), distribución de tamaño de partículas, porosidad total, macroporosidad e infiltración. Los resultados evidenciaron la presencia de horizontes compactados a partir de los 25 cm de profundidad, que se reflejaron en una reducción de Ks acompañada de incrementos en la Da y reducciones en la porosidad total y en la macroporosidad. En el Ultisol la infiltración básica fue inferior a Ks, mientras que en el Vertisol el comportamiento fue inverso debido al flujo interagregados. En el Ultisol, la curva de retención de humedad se caracterizó por un descenso drástico del contenido de humedad a tensiones comprendidas entre -10 y -300 kPa y muy pocos cambios a partir de éste punto, mientras que en el Vertisol se produjo un cambio importante en el agua retenida con tensiones entre -300 y -1500 kPa. El estrato superficial fue el que presentó el mejor comportamiento hidráulico por lo que se descartó el sistema de subirrigación como alternativa de riego.

Palabras Clave: Compactación; *Elaeis guineensis*; Ks; Ultisol; Vertisol.

SUMMARY

In an essay carried out in Monagas State the hydraulic properties of two representative soils of the commercial plantations of palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) were evaluated in order to infer about the behavior of a subirrigation system. For the sampling 102 points were selected in the Ultisol (*Typic Plinthudults*) and 92 points in the Vertisol (*Entic Pelluderts*) over five transects. The hydraulic properties were evaluated in four strata. The evaluated variables were: saturated hydraulic conductivity (Ks), dry bulk density, particle-size distribution, total porosity, macroporosity and infiltration. The results evidenced the presence of horizons compacted starting from the 25 cm of depth that are reflected in a reduction of Ks accompanied by increments in the bulk density and reductions in total porosity and macroporosity. In Ultisol the steady infiltration was less than Ks, while in Vertisol the behavior was inverse due to the flow interagregates. For Ultisol the curve of retention of humidity was characterized by a drastic descent of the content of humidity between -10 and -300 kPa of tension, with very few changes starting from this point in the Ultisol, while in the Vertisol an important change in the water retained with tensions between -300 and -1500 kPa was obtained. The superficial stratum presented the best hydraulic behavior so that the subirrigation system was discarded as an alternative of irrigation on palm oil.

Key Words: Compaction; *Elaeis guineensis*; Ks; Ultisol; Vertisol.

RECIBIDO: octubre 10, 2006

ACEPTADO: febrero 02, 2007

INTRODUCCIÓN

El manejo eficiente de la nutrición hídrica para la producción requiere de un control estricto del contenido de humedad en el suelo en función de la demanda del cultivo, lo cual depende de los factores ambientales y de la capacidad del suelo para suministrar agua desde el área insaturada, a fin de garantizar la fluctuación del contenido de humedad en el suelo dentro de un rango aceptable de valores, debido a que un valor demasiado bajo no permitirá que las demandas de la planta sean cubiertas por el ascenso capilar, mientras que un valor demasiado alto excluirá el aire del área radical.

Los requerimientos edafoclimáticos de la palma aceitera, *Elaeis guineensis* Jacq., generalmente conducen a la selección de áreas localizadas dentro del bosque húmedo tropical, caracterizado por alta pluviometría, generalmente con picos de precipitación que conducen a excesos de agua en los horizontes superficiales que requieren ser evacuados para evitar problemas en el cultivo.

Debido al patrón unimodal de distribución de las precipitaciones que caracteriza a la región tropical, las zonas productoras de palma aceitera de Venezuela cuentan con excesos de agua superficiales en algunas épocas del año y con déficits hídricos marcados en otras épocas, lo cual obliga a la realización de prácticas de riego y drenaje para lograr un desarrollo adecuado del cultivo.

En el estado Monagas, la precipitación anual se concentra en un período de 7 a 8 meses, produciéndose un período seco de 4 meses con precipitaciones inferiores a los 50 mm mensuales, provocando un déficit hídrico anual de 450 mm, lo cual conduce a la obtención de bajos rendimientos y a la fluctuación de la producción durante el año, concentrándose la mayor parte de la producción en períodos cortos de tiempo.

El conocimiento de las propiedades hidráulicas de los suelos es una premisa para la cuantificación del balance hídrico y de las características de flujo de agua en los suelos y permite el desarrollo de alternativas para el manejo agronómico del cultivo y para el establecimiento de criterios de diseño para el desarrollo de sistemas de riego y/o drenaje en las plantaciones de palma aceitera de la región; sin embargo, los perfiles de suelos frecuentemente exhiben diferencias tanto en el sentido vertical como en el sentido horizontal, es decir, presentan cierto grado de anisotropía, lo cual se manifiesta como diferencias en la permeabilidad entre la superficie y la subsuperficie. Los mayores cambios en las propiedades

hidráulicas ocurren en los límites donde se presentan discontinuidades físicas, tales como límites de horizontes pedogenéticos contrastantes o capas compactadas derivadas del mal manejo de los suelos.

En función de la distribución radicular del cultivo y de la profundidad efectiva, los suelos involucrados en un sistema de riego subsuperficial deben reunir las siguientes características: Permitir un rápido movimiento lateral y vertical del agua, aún cuando el suelo esté húmedo; presentar un estrato subsuperficial, por debajo del fondo del canal de riego, que restrinja drásticamente el movimiento vertical descendente del agua; facilitar el movimiento lateral y ascendente del agua en los estratos suprayacentes al horizonte considerado impermeable; y presentar pendientes suaves, uniformes y paralelas a la mesa de agua (FAO, 1988).

Con el estudio se pretende caracterizar las propiedades hidráulicas de los cuatro estratos superiores de dos suelos representativos de las plantaciones comerciales de palma aceitera del estado Monagas a fin de inferir acerca del comportamiento de un sistema de subirrigación en el suministro de agua al cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área experimental

El ensayo se condujo en las plantaciones comerciales de palma aceitera de la empresa Palmas de Monagas C.A. (PALMONAGAS, C.A.), ubicadas en el Asentamiento Campesino "El Zamuro", municipio autónomo Maturín del estado Monagas. En esta región el clima está clasificado como Bosque Húmedo Tropical, con temperatura media anual de 27,3° C, precipitación de 1291 mm como promedio anual; humedad relativa superior al 80% durante todo el año y la altitud se encuentra entre los 30 y 40 m (MARNR, 1997). Los suelos donde se llevó a cabo el ensayo fueron seleccionados por su representatividad de las plantaciones comerciales del estado Monagas. Están ubicados dentro del paisaje de terrazas aluviales del río Punceres y clasificados como *Typic Plinthudults* (Francosa fina, mixta, isohipertérmica) y como *Entic Pelluderts* (Arcillosa fina, mixta, isohipertérmica) según lo expresa Pérez (1987).

Esquema de muestreo

Para efectuar el muestreo se seleccionó una superficie de 1,5 ha en cada suelo y se trazaron 5 transectas de 125 m cada una, paralelas entre sí con una separación de 23 m

donde se realizaron muestreos a intervalos de distancia que variaron entre 2 y 12 m. Dicho muestreo generó un total de 102 puntos para el caso del Ultisol y 92 puntos de muestreo para el caso del Vertisol.

Determinación de las propiedades físicas

En cada uno de los puntos de muestreo se evaluó la conductividad hidráulica saturada a través del método del pozo barrenado invertido (Van Beers, 1976) en cuatro profundidades diferentes: desde la superficie hasta 25 cm; desde la superficie hasta 50 cm; desde la superficie hasta la profundidad del estrato plintítico (65 cm, aproximadamente) y desde la superficie hasta 100 cm para el Ultisol; en el caso del Vertisol se consideraron las profundidades: 0 a 25 cm, 0 a 50 cm, 0 a 75 cm y 0 a 100 cm. Posteriormente se recolectaron muestras no disturbadas a través del barreno tipo Uhland, con cilindros de aproximadamente 100 cm³ de volumen, removiéndose los estratos para obtener muestras representativas de las profundidades de 0 a 25 cm; de 25 a 50 cm; de 50 a 75 cm y de 75 a 100 cm; procediéndose luego a la determinación de la densidad aparente (Da) sobre muestras saturadas, según metodología descrita por Blake y Hartge (1965), porosidad total (Pt) y macroporosidad (Ma; poros con diámetro mayor a 30 mm) aplicando el método descrito por Pla (1983).

El 50% de las muestras recolectadas se utilizaron para determinar la distribución de tamaño de partículas a través del método de Bouyoucus modificado (Day, 1965) analizándose puntos ubicados a distancias de 10 m en las transectas y considerando todos los estratos evaluados. A estas muestras también se les determinó la curva característica de retención de humedad a tensiones de -10, -33, -100, -300 -500 y -1 500 KPa, aplicando la metodología descrita por Pla (1983). Por otro lado, se procedió a evaluar la infiltración con cilindros en campo, utilizando cilindros de infiltración concéntricos (40 cm alto x 30 cm de diámetro para el cilindro interno y 40 cm alto x 40 cm de diámetro para el cilindro externo); las pruebas se efectuaron en 36 puntos, distribuidos en toda el área de estudio y a lo largo de las 5 transectas mencionadas.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis exploratorio, el cual se realizó a través del programa GeoEAS (Englund y Sparks, 1988) y del programa SAEG (Euclides, 1983). Este análisis permitió la comparación del comportamiento de las variables físicas evaluadas entre los dos suelos y entre los diferentes estratos

de cada suelo evaluado, originando curvas de variación en función de la profundidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis del comportamiento de las variables, tanto en el Ultisol como en el Vertisol, mostró valores normales en el estrato superficial de acuerdo a su clase textural (Florentino, 1996), pero también reveló la presencia de horizontes compactados a partir de los 25 cm de profundidad.

En el Ultisol se observó que la Da presentó un valor medio de 1,54 Mg/m³ en el estrato de 0 a 25 cm, valor que aumentó a 1,59 Mg/m³ a partir de los 25 cm y luego se mantuvo prácticamente constante; la Pt se mantuvo prácticamente constante a través del perfil, mientras que la Ma disminuyó de 9,4% en la superficie a 6,5% entre 75 y 100 cm de profundidad (Figura 1A); sin embargo, es importante destacar que a partir de los 25 cm existe un incremento en el contenido de arcilla (pasando de 12,7% en el estrato superficial a 29,5% entre 75 y 100 cm) y una reducción en el contenido de arena, y existe suficiente documentación que asegura que esta situación debería reflejarse en una disminución de los valores de Da y en incrementos en la Pt (Ahuja *et al.*, 1985; Bathke y Cassel, 1991; Horn *et al.*, 1995; Florentino, 1996; Seguel, 2005).

El comportamiento de las variables en el Vertisol mostró algunas similitudes con el Ultisol, ya que se obtuvo incremento en los valores de Da a través del perfil, la cual varió desde 1,35 Mg/m³ en la superficie a 1,49 Mg/m³ a los 75 cm de profundidad; la Pt disminuyó de 44,7% a 40,5% y la Ma de 5,1% a 3,1% (Figura 1B).

La presencia de capas compactadas ha sido señalada en diferentes plantaciones de palma aceitera como consecuencia del uso permanente de maquinaria agrícola y de animales de tiro dentro de los lotes (Dufour y Olivin, 1985; Caliman *et al.*, 1987; 1990).

El origen de las capas compactadas en estos suelos está asociado al paso excesivo de maquinarias durante el proceso de deforestación, apilamiento de los troncos y extracción de las raíces del suelo; al uso de maquinarias (rotativas) para el control de malezas en etapas jóvenes del cultivo y el paso de carretas y animales de tiro para la cosecha en plantaciones adultas, sobre todo cuando esto fue realizado a contenidos elevados de humedad, donde el suelo muestra gran susceptibilidad a la compactación.

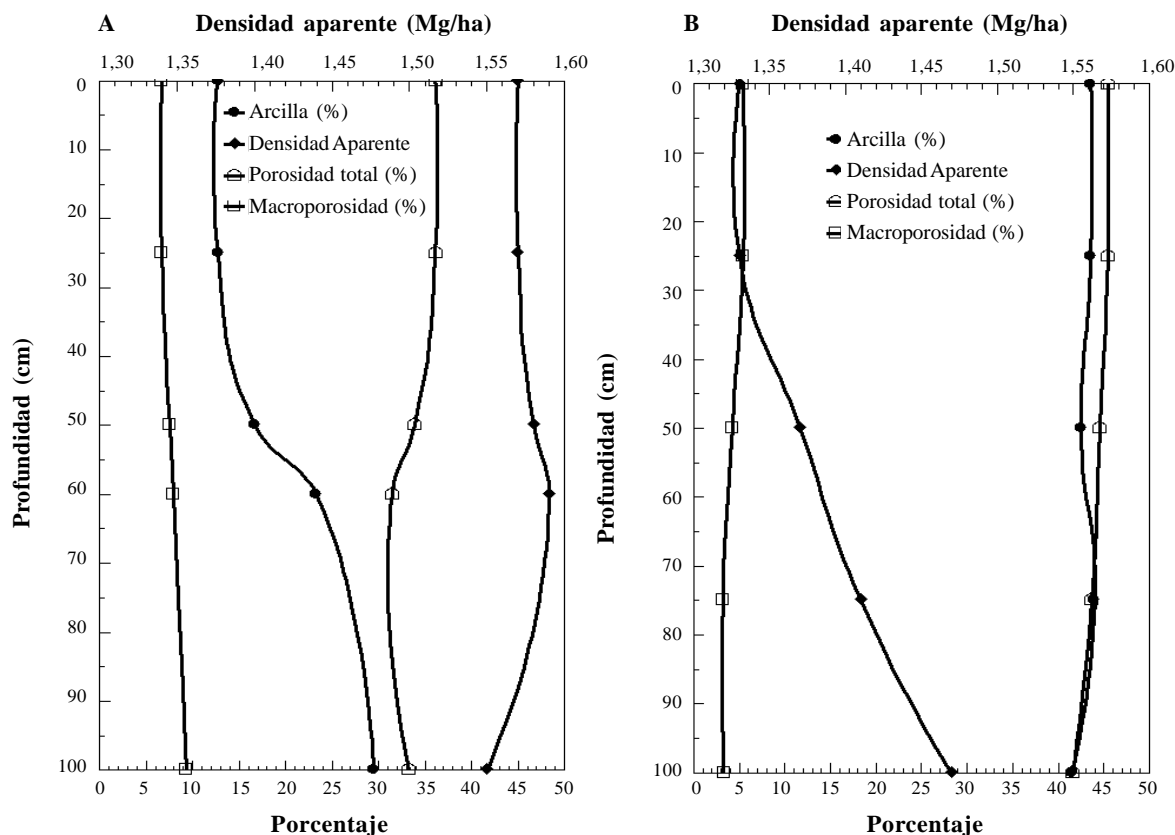


FIGURA 1. Comportamiento de la densidad aparente, la porosidad total, la macroporosidad y el porcentaje de arcilla en un Ultisol (A) y un Vertisol (B) cultivados con palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela.

Trabajos de Barrios y Florentino (2001) demostraron que estos suelos presentan limitaciones importantes para conducir el agua, tanto en el sentido horizontal como en el vertical ascendente, descartando el sistema de subirrigación como un método efectivo para el suministro de agua en plantaciones de palma aceitera del estado Monagas.

Conductividad hidráulica saturada (Ks) e infiltración

El comportamiento de Ks ratificó la presencia de un horizonte compactado a partir de los 25 cm de profundidad, a través de la reducción del valor promedio de Ks a la profundidad de 0 a 50 cm en relación a la profundidad de 0 a 25 cm. En el Cuadro se muestra el comportamiento de Ks y de la infiltración a medida que se profundiza en el perfil de los suelos estudiados.

Tomando en consideración la afirmación realizada por Oosterbaan y Nijland (1994) acerca de que para el flujo

horizontal el valor de Ks es determinado por el estrato que tiene mayor conductividad hidráulica, se puede inferir que a la profundidad de 0 a 50 cm, para ambos suelos, el mayor aporte al valor promedio de Ks en el perfil es realizado por el estrato de 0 a 25 cm, y que la inclusión del estrato de 25 a 50 cm en la prueba genera una reducción de la velocidad de flujo por unidad de superficie.

En el caso del Ultisol, la inclusión de estratos más profundos en la prueba de Ks produjo un aumento en el promedio, lo cual evidenció mejor comportamiento hidráulico de estos, pasando a ser determinantes en la Ks horizontal del perfil; mientras que en el Vertisol, se observó una disminución continua en los valores de Ks en la medida que se profundizó en el perfil, lo cual indica que el estrato que gobierna el flujo horizontal de agua es el superficial y que los estratos por debajo de 25 cm hacen poco o ningún aporte a la conductividad hidráulica general.

CUADRO. Estadísticos para infiltración básica (mm/h), infiltración acumulada (mm) y conductividad hidráulica (mm/h), en dos suelos irrigados cultivados con palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela.

Variable	Estadístico	Ultisol			Vertisol		
		Media	Coef. de Variación	Desviación Estándar	Media	Coef. de Variación	Desviación Estándar
Infiltración Básica		5,37	25,7	0,136	20,1	28,7	0,570
Infiltración Acumulada		82,4	24,2	1,964	303	27,9	8,329
Ks 0-25 cm		7,42	65,7	9,92	7,31	120,0	8,73
Ks 0-50 cm		7,11	74,9	5,53	5,50	101,5	5,55
Ks 0-75 cm		8,61	68,0	7,28	4,84	90,6	4,36
Ks 0-100 cm		10,5	82,0	8,60	4,54	85,6	3,86

Probablemente esta condición sea la consecuencia del continuo proceso de secado y humedecimiento (del perfil del suelo) que origina la formación de grietas, trayendo consigo cambios en la Da y en la distribución y arreglo de los poros; y prevalece en los estratos subsuperficiales debido a que no existe un proceso completo de secamiento que produzca la formación de una grieta amplia y profunda.

Las evidencias de compactación descritas para cada uno de los estratos de los suelos evaluados guarda concordancia con la afirmación realizada por Horn *et al.* (1995), quienes efectuaron una clasificación de susceptibilidad de los suelos a las presiones externas en función de la distribución de tamaño de partículas, destacando que suelos derivados de limos con bajo contenido de coloides, suelos francos con texturas finas y media (caso del Ultisol) y los suelos arcillosos (caso Vertisol) son altamente susceptibles a la compactación severa cuando presentan contenidos de humedad altos, condición frecuente en las plantaciones, ya que la cosecha se realiza durante todo el año utilizando carretas y animales de tiro durante el proceso. Por su parte, Soracco (2005) destaca que los diferentes usos del suelo pueden modificar las propiedades hidráulicas del suelo, siendo de importancia modificaciones derivadas de la pérdida de volumen de poros como consecuencia de la compactación.

Es importante destacar los elevados coeficientes de variación que mostró la variable Ks, con valores que variaron desde 65% hasta 82% en el Ultisol y desde

85% hasta 120% en el Vertisol. La mayor variabilidad observada en este último suelo se atribuyó a la presencia de grietas, a través de las cuales se produjo un flujo preferencial.

Cerana *et al.* (2005) señala grandes dificultades para obtener valores confiables de Ks en suelos Vertisoles, expansivos y que se agrieten al secarse. White (1985) destaca que la presencia de macroporos es de importancia primordial para el movimiento de agua en suelos arcillosos con agregados y/o cuerpos planares (grietas), y según estudios realizados por Lauren *et al.* (1988), el flujo de agua en los poros interagregados presenta una mayor variabilidad que el flujo intra-agregados.

Los coeficientes de variación obtenidos para Ks fueron similares a los registrados por Nielson *et al.* (1973) y por Polo *et al.* (2003), y se consideran bajos en comparación con los presentados por Anderson y Casel (1986), quienes encontraron coeficientes de variación entre 130 y 3300% para un Ultisol franco arenoso considerado homogéneo. Por otro lado, Davenport (1986) mostró rangos de Ks entre 0,12 y 48,6 m/d en un campo de 7,4 ha. mientras que Tabrizi y Skaggs (1983) encontraron valores que oscilaban entre 0,54 a 10,8 m/d en un campo de 5 ha de un Ultisol franco arenoso. Esta alta variabilidad ha sido atribuida tanto a la textura y estructura, como a la presencia de raíces o grietas, la distribución de los macroporos y a la conformación de los horizontes en el perfil.

Varios estudios sugieren que los datos de infiltración pueden ser aproximados a la K_s (Philip, 1957; 1969; Dunin, 1976; Gish y Starr, 1983; Maller y Sharma, 1984; Ruiz *et al.*, 2003), a través de la aproximación de ésta a la tasa de infiltración básica, ya que generalmente se asume que el gradiente hidráulico en la zona de transmisión de agua se aproxima a la unidad (1) de forma asintótica y al final la tasa de infiltración iguala a la K_s ; sin embargo, al comparar los valores medios de infiltración básica y K_s , se encontró que estos son marcadamente disímiles dentro de cada suelo. Para el Ultisol se obtuvo un valor de infiltración básica de 5,34 mm/h, mientras que la K_s osciló entre 7,11 y 10,54 mm/h para las 4 profundidades evaluadas. Para el Vertisol la infiltración básica alcanzó un valor promedio de 20,1 mm/h, mientras que K_s varió entre 4,54 y 7,31 mm/h en las diferentes profundidades.

Retención de humedad

Se obtuvieron diferencias marcadas entre los valores de retención de humedad de los suelos estudiados, al ser sometidos a una misma tensión, donde los valores de retención de humedad para el Vertisol son notablemente superiores a los del Ultisol, lo cual se atribuye a las diferencias en la distribución de tamaño de partículas que existe entre ambos suelos.

En el Ultisol (Figura 2a) se evidenció la tendencia a retener mayor cantidad de agua a medida que se profundiza en el perfil, lo cual es el resultado del incremento en el contenido de arcilla con la profundidad. En lo que respecta al Vertisol (Figura 2b), el comportamiento de la retención de humedad en el perfil es prácticamente similar, a excepción del estrato de 75 a 100 cm, el cual presenta niveles de retención de humedad ligeramente más bajos, lo que pudiera ser consecuencia del ligero incremento en el contenido de arena a medida que se profundiza en el perfil.

El comportamiento general de estas curvas se caracterizó por una reducción del contenido de humedad retenida por el suelo a medida que disminuye el potencial mátrico. Para el Ultisol se produjo un descenso drástico del contenido de humedad los valores de tensión de -10 a -300 KPa, intervalo en el cual se concentra cerca del 80% del agua retenida, con muy pocos cambios a partir de ésta última tensión, y se consideró prácticamente constante a partir de -500 KPa. En el caso del Vertisol también hubo un descenso al inicio de la curva, pero no tan marcado como en el caso anterior, ya que en este intervalo se concentró menos del 65% del agua retenida, y se observó un cambio importante en la curva entre los -300 y -1500 KPa, lo cual significa, desde el punto de vista práctico, mejor capacidad para suplir agua durante períodos de tiempo relativamente largos.

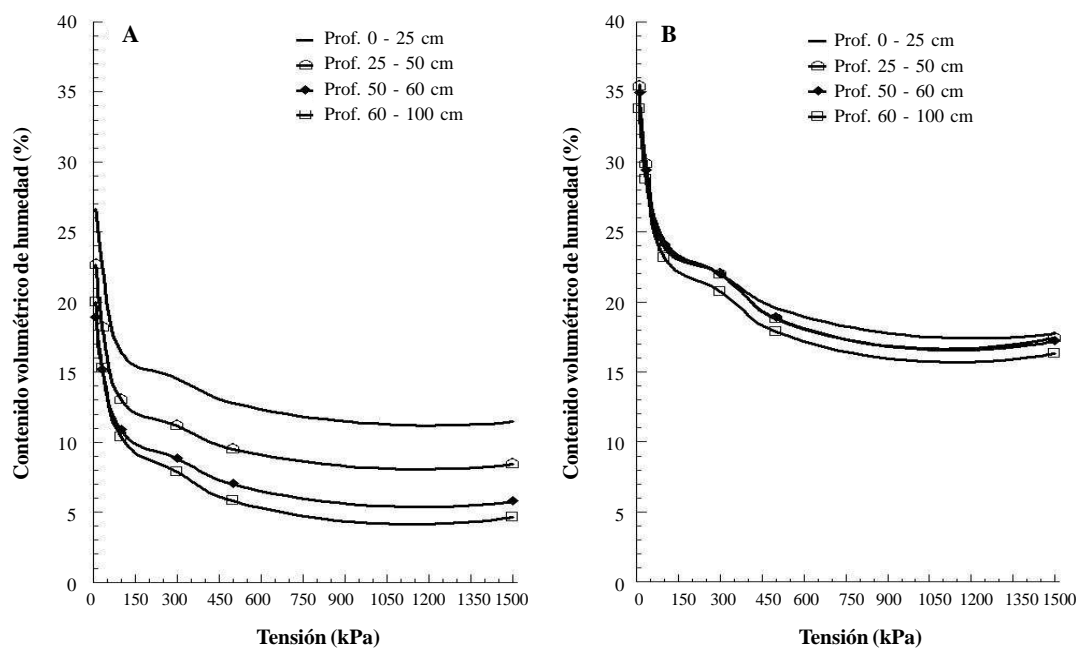


FIGURA 2. Comportamiento de la retención de humedad en un Ultisol (A) y en un Vertisol (B) cultivados con palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela.

CONCLUSIONES

- Las condiciones de manejo de los suelos estudiados han conducido a la formación de horizontes compactados a partir de los 25 cm de profundidad, donde los altos valores de Da y las reducciones de la Pt y de la Ma en relación al estrato superficial, se han convertido en una limitación para el movimiento hidráulico, que se manifestó a través de bajos valores en la Ks.
- Se detectó alta variabilidad en los valores de infiltración básica y de Ks en ambos suelos. En el Ultisol la infiltración básica fue menor que la Ks, mientras que en el Vertisol el comportamiento fue inverso debido al flujo interagregados.
- La curva de retención de humedad se caracterizó por un descenso drástico del contenido de humedad entre -10 y -300 kPa de tensión, concentrándose en este intervalo cerca del 80% del agua útil retenida por el Ultisol y menos del 65% en el Vertisol, confirmando mejor capacidad para suplir agua durante períodos de tiempo relativamente largos.
- El estrato superficial fue el que mostró el mejor comportamiento hidráulico en ambos suelos y, debido a las limitaciones de los suelos, se descartó al sistema de subirrigación como alternativa para suplir los requerimientos hídricos de la palma aceitera.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahuja, L. R., J. W. Naney y R. D. Williams. 1985. Estimating soil water characteristics from simpler properties or limited data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1 100-1 105.
- Anderson, S. H. y D. K. Cassel. 1986. Statistical and autoregressive analysis of soil physical properties of Portsmouth sandy loam. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1 096-1 104.
- Barrios, R. y A. Florentino. 2001. Evaluación del patrón de humedecimiento de los suelos subirrigados cultivados con palma aceitera. *Agronomía Tropical* 51(3):371-386.
- Bathke, G. R. y D. K. Cassel. 1991. Anisotropic variation of profile characteristics and hydraulic conductivity in an ultisol landscape. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:333-339.
- Blake G. R y K. H. Hartge. 1965. Bulk density. **In:** *Methods of soil analysis, Part 1* (A. Klute, ed.), Agronomy N° 9. Madison, WI. Am. Soc. Agron. 371-373.
- Caliman J., J. Olivin y F. Dufour. 1987. Degradation of sandy ferralitic soil in oil palm cultivation through compaction. Correction methods. *Oleagineux* 42(11):393-401.
- Caliman, J., J. Concaret, J. Olivin y F. Dufour. 1990. Maintenance of physical soil fertility under oil palm in humid tropical regions. *Oleagineux* 45(3):103-110.
- Cerana, J., Fontanini P., Duarte O., Rivarola S., Díaz E. y R. Benavidez. 2005. Permeabilidad saturada en Vertisoles. Uso del Permeámetro Guelph. **In:** *Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo. UNESCO. Documentos Técnicos en Hidrología del PHI, N° 71.* 17-22 p.
- Davenport, M. S. 1986. Effects of drain slope and envelope on performance of a drainage-subirrigation system. M.S. Thesis, Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, 302 p.
- Day, P. R. 1965. Particle size fractionation and particle size analysis. **In:** *Methods of soil analysis, Part 1* (A. Klute, ed.), Agronomy N° 9. Madison, WI. Am. Soc. Agron. 545-566.
- Dufour, O. y J. Olivin. 1985. Evolution of soils in oil palm plantation on savannah. *Oleagineux* 40(3):113-123.
- Dunin, F. X. 1976. Infiltration: its simulation for field conditions. **In:** *Facets of Hydrology* (J.C. Rhoda, Ed.). Wiley-Interscience, New York. 199-227 p.
- Englund, E. y A. Sparks. 1988. Geo-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) User's guide. EPA. Las Vegas, Nevada. 182 p.
- Euclides, R. F. 1983. Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG). Central do Processamento de Dados. Viçosa, UFV. 68 p.
- FAO. 1988. Irrigation practice and water management. Irrigation and drainage paper N° 1 Rev. 1. Roma. 64 p.
- Florentino de A., A. 1996. Guía sobre índices físicos de suelo. Valores críticos. Curso de Física de Suelos. Postgrado en Tecnología de Suelo. E.T.S. de Ingenieros Agrónomos. España. Universidad Politécnica de Madrid. Mimeografiado. 20 p.

- Gish, T. J. y J. L. Starr. 1983. Temporal variability of infiltration under field conditions. **In:** Proc. Natl. Conf. on Advances in Infiltration, Dec. 12-13, 1983, Chicago, Illions. Am. Soc. Soil Sci. 122-131 p.
- Horn, R., H. Domzal, A. Slowinska-Jurkiewicz y C. Van Ouwerkerk. 1995. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the enviroment. *Soil Tillage Research* 35:23-36.
- Lauren, J. G., R. J. Wagenet, J. Bouma y J. H. M. Wosten. 1988. Variability of saturated hydraulic conductivity in a *Glossaquic Hapludalf* with macropores. *Soil Science* 145(1):20-28.
- Maller, R. A. y M. L. Sharma. 1984. Aspects of rainfall excess from spatially varying hydrological parameters. *J. Hydrol.*, 67:115-127.
- Nielson, D., J. Bigger y K. Erh. 1973. Spatial variability of field measure soil-water properties. *Hilgardia* 42:215-259.
- MARNR. 1997. Atlas del Estado Monagas. Gobernación del estado Monagas. 99 p.
- Oosterbaan, R. J. y H. J. Nijland. 1994. Determining the saturated hydraulic conductivity. **In:** Dainage principles and applications (Ritzema H. P., Ed.) ILRI Publication 16. 435-476 p.
- Pérez, R. 1987. Estudio agrológico semidetallado del Asentamiento Campesino "El Zamuro". Palmonagas, C. A. Mimeografiado. 459 p.
- Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration. 4. Sorptivity and algebraic infiltration. *Soil Sci.* 84:257-264.
- Philip, J. R. 1969. The theory of infiltration. *Advances in Hydrosience* 5:215-296.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance Nº 32. UCV-Maracay, Venezuela. 93 p.
- Polo, M. J., Lafuente P. y J. V. Giráldez. 2003. Variabilidad espacial de la conductividad hidráulica saturada en suelos de olivar y su influencia en el balance hidrológico global. **In:** Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI: 209-213.
- Ruiz, J. D., B. Lucas, A. Romero, M. J. Noguera, A. Gallegos, J. Márquez y J. F. Martínez. 2003. Determinación de la conductividad hidráulica en laderas mediante el uso de infiltrómetros de minidisco a lo largo de un gradiente pluviométrico mediterráneo. **In:** Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI: 143-152.
- Seguel, O. 2005. Efecto de la dinámica del agua en el comportamiento mecánico del suelo. **In:** Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo. UNESCO. Documentos Técnicos en Hidrología del PHI, Nº 71. 11-16.
- Soracco, G. 2005. Relación entre la conductividad hidráulica saturada y la densidad aparente en tres situaciones de manejo contrastantes. **In:** Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo. UNESCO. Documentos Técnicos en Hidrología del PHI, Nº 71. 35-38.
- Tabrizi, A. y R. Skaggs. 1983. Variation of saturated hydraulic conductivity within a soil series. *ASAE Paper* Nº 83: 2044.
- White, R. E. 1985. The influence of macropores on the transport of dissolved and suspended matter throught soil. *Advances in Soil Science* 3:95-121.
- Van Beers, W. F. J. 1976. The auger hole method. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). The Netherlands. Bulletin Nº 1:24.