

Evaluación del patrón de humedecimiento de dos suelos subirrigados cultivados con palma de aceite

Evaluation of the humidifying pattern of two subirrigated soils cultivated with oil palm

Renny Barrios ¹; Adriana Florentino ²

RESUMEN

El ensayo se realizó en una plantación comercial del estado Monagas y se evaluó el comportamiento de un sistema de subirrigación aplicado al cultivo de palma de aceite. Se estudiaron dos suelos clasificados como *Typic Plinthudults* y *Entic Pelluderts* ubicados en terrazas aluviales. Se evaluó el sistema de subirrigación a través de canales secundarios paralelos con 31 m de separación, y una modificación con canales terciarios de 12 m de longitud y 18 m de separación insertados a 45° sobre los canales secundarios. Las propiedades hidráulicas se evaluaron en cuatro estratos; el patrón de humedecimiento de los suelos se evaluó en función de la distancia a los canales secundarios de riego y el patrón radicular de la planta se evaluó hasta 80 cm de profundidad. Los resultados evidenciaron restricciones intrínsecas y extrínsecas de los suelos para la subirrigación, representadas por estratos subsuperficiales que permiten la percolación del agua de riego y por horizontes compactados que actúan como barreras al movimiento hidráulico, respectivamente. La construcción de canales terciarios de riego o la aplicación superficial del agua representan alternativas para superar estas restricciones.

SUMMARY

The essay was carried out in the state Monagas and the behavior of a subirrigation system applied to the cultivation of palm oil was evaluated. The soil properties and the plant root pattern were considered. A *Typic Plinthudults* and an *Entic Pelluderts* located in alluvial terraces were studied. The subirrigación system was evaluated through parallel secondary channels with 31 m of separation, and a modification with tertiary channels of 12 m long and 18 m of separation inserted at 45° on the secondary channels. The hydraulic properties were evaluated in four strata, the soils watering pattern was evaluated according to the distance to the secondary subirrigation channels and the plant root pattern was evaluated up to 80 cm of depth. The results evidenced intrinsic and extrinsic soils limitations for the subirrigation, which were represented by horizons compacted that act as barriers to the hydraulic movement, and subsurface strata that allow the percolación of the watering water. The construction of tertiary channels of watering or the surface application of the water represent alternatives to overcome these limitations.

Palabras Claves: Compactación, canales, percolación, terrazas aluviales, Ultisol, Vertisol

- 1 Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP - CIAE-Monagas) San Agustín de la Pica, Vía Laguna Grande. Apartado Postal 184, Maturín, Venezuela.
- 2 Facultad de Agronomía - Universidad Central de Venezuela. Vía El Limón. Apartado Postal 4579, Maracay, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela existe una superficie cultivada con palma de aceite de 25.000 hectáreas aproximadamente, siendo los estados Zulia y Monagas los principales productores, con superficies sembradas de 11.000 y 10.500 hectáreas, respectivamente, considerándose que la disponibilidad de agua para la planta es el factor más limitante para la producción, ya que se estima que el cultivo requiere entre 1.800 y 2.200 mm anuales bien distribuidos, y en una situación de fuerte deficiencia, la proporción de inflorescencias femeninas se reduce y el riesgo de aborto de las mismas es mayor, situación que se refleja en una menor producción de racimos.

Debido al patrón de distribución unimodal de las lluvias que caracteriza a la región tropical, en muchas áreas aptas para el cultivo existe la necesidad de drenaje en épocas de exceso de precipitación y de riegos durante los períodos de sequía. Frecuentemente, el requerimiento que conduce a la construcción de una red de canales y estructuras de control ha sido el drenaje, lo cual crea la oportunidad para permitir el riego subsuperficial, a través del ascenso capilar del agua desde el manto freático si se cuenta con una fuente de agua en época seca. Esto se puede obtener por la elevación del nivel de agua en los canales, de tal manera que el nivel de la mesa de agua en el campo sea controlada hasta una altura que permita la suplencia de agua a la zona radicular del cultivo en crecimiento. Para cumplir con estos requisitos es necesario tener un conocimiento detallado del patrón de distribución de las raíces del cultivo, como elemento funcional de importancia primordial en la nutrición de las plantas.

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, aun 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 suprayacen-

tes al horizonte considerado impermeable; y presentar pendientes suaves, uniformes y paralelas a la mesa de agua (FAO 1988).

La eficiencia de un sistema dual de drenaje subsuperficial y de subirrigación depende de su diseño y, especialmente, del espaciamiento entre los canales laterales, lo cual depende a su vez de la conductividad hidráulica de los suelos. Las consideraciones prácticas y económicas requieren de la división del campo en bloques relativamente homogéneos, dentro de los cuales se puede asignar un sólo espaciamiento, con el fin de garantizar un control adecuado del nivel freático (Gallichand et al. 1991); sin embargo, los perfiles de suelos frecuentemente exhiben diferencias tanto en el sentido vertical como en el sentido horizontal, lo cual se refleja en diferencias de permeabilidad entre la superficie y la subsuperficie. Los mayores cambios en la proporción del flujo vertical y del flujo lateral 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 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, lo cual conduce a una gran fluctuación de la producción durante el año, caracterizada por la concentración de la mayor parte en períodos cortos de tiempo, generándose problemas en la recepción y procesamiento oportuno de las cosechas en la planta extractora de aceite. Bajo estas condiciones, la práctica de riego constituye una alternativa para lograr la estabilización de las fluctuaciones de la producción y lograr un incremento en la productividad. Al momento del establecimiento de las plantaciones de la zona fue necesario la construcción de canales de drenaje para evacuar los excesos de agua presentes en algunas zonas, presentándose, posteriormente, la posibilidad de introducir un sistema de subirrigación a través de los canales previamente construidos. En el caso de zonas más altas se ha utilizado un diseño similar de canales sólo con fines de subirrigación. Sin embargo, la

efectividad de tal sistema se encuentra cuestionada, ya que se ha observado una respuesta diferencial de las palmas a la suplencia de agua en la medida en que se alejan del canal. En tal sentido, se hace necesario una caracterización de las propiedades hidráulicas de los suelos, con el fin de conocer el patrón de flujo y humedecimiento del mencionado sistema de riego, identificando las restricciones para su adecuado comportamiento con el propósito de proponer alternativas para incrementar la eficiencia del mismo en función del patrón de desarrollo radicular del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se condujo en las plantaciones comerciales de palma de aceite de la empresa Palmas de Monagas C.A. (Palmonagas, C.A.), ubicadas en el Asentamiento Campesino "El Zamuro", Municipio Autónomo Maturín del Edo. Monagas. En esta región, el clima está clasificado como Bosque Húmedo Tropical (Ewel et al. 1976). En esta zona la temperatura media anual es de 27,3° C, la precipitación es del orden de 1.291 mm como promedio anual; la humedad relativa es superior al 80% durante todo el año y la altitud se encuentra entre los 30 y 40 m. 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, uno de los cuales está clasificado como *Typic Plinthudults* (Francosa fina, mixta, isohipertérmica), con un estrato de plintita de profundidad variable (0,8 a 1,6 m), de baja fertilidad y comprendidos dentro del área geomorfológica terraza media plana; mientras que el otro suelo fue clasificado como *Entic Pelluderts* (Arcillosa fina, mixta, isohipertérmica) con un estrato de plintita a partir de 1,6 m de profundidad y de drenaje lento ubicado en la vega del río Punceres (Pérez 1987).

En el presente ensayo se evaluó la condición original de un sistema dual de drenaje y subirrigación y una modificación introducida al sistema de riego. El sistema de riego original lo constituyen canales trapezoidales de 60 cm de base por 1,0 m de profundidad, ubicados a una

distancia equivalente a cuatro hileras de plantas de palma que origina una distancia promedio de 31 m, los cuales son alimentados por un canal principal que distribuye el agua proveniente de un pozo profundo en el caso del Ultisol, o de un cauce de agua en el caso del Vertisol. A dicho sistema se le introdujo una modificación que consiste en la construcción de un canal derivado del canal secundario, con un talud de 45°, y profundidades que oscilan entre 30 y 50 cm, según la pendiente, con una longitud de 12 m y con una separación de 18 m entre sí, con la finalidad de conducir el agua a las hileras de palmas más alejadas del canal secundario. En cada tipo de suelo se seleccionó una superficie de dos hectáreas: una para el riego original y la otra con la modificación introducida (Fig. 1).

Para efectuar el muestreo se trazaron cinco transectas de 125 m cada una, paralelas entre sí, con una separación de 23 m (Fig. 1), donde se realizaron muestreos a intervalos de distancia que variaron entre 2 y 12 m. Dichos muestreos generó un total de 102 puntos para el caso del Ultisol y 92 puntos de muestreo para el caso del Vertisol.

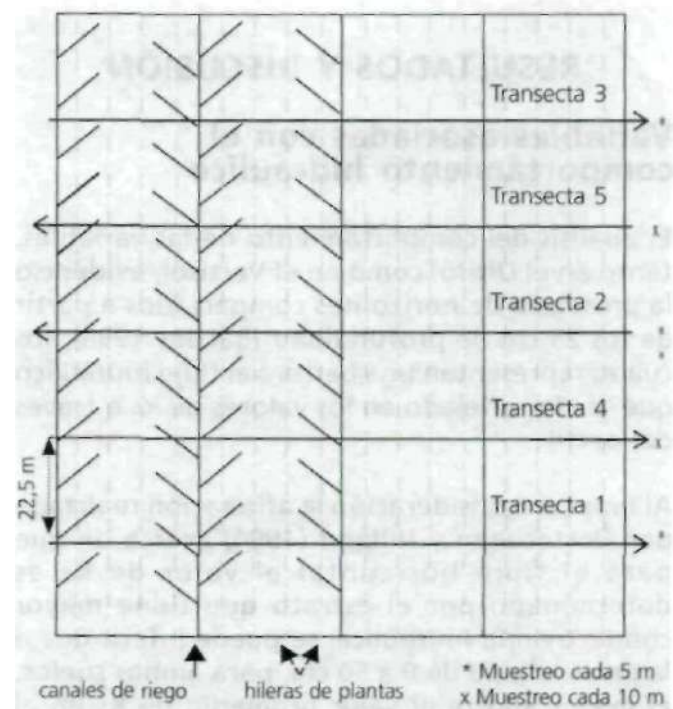


Figura 1. Esquema de muestreo de las propiedades hidráulicas en suelos irrigados cultivados con palma de aceite.

En cada uno de los puntos de muestreo se evaluó la conductividad hidráulica saturada (K_s) por el 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 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.

Para la evaluación del patrón de humedecimiento de los suelos se procedió a llenar los canales de riego y luego de 72 horas se tomaron muestras a intervalos de 10 cm hasta la profundidad de 1 m, a lo largo de las transectas 1, 2 y 3 señaladas en la Figura 1, con distancias de separación de 2,5 m entre cada punto. La determinación de humedad se realizó por el método gravimétrico.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis exploratorio por medio de los programas GeoEAS (Englund y Sparks 1988) y PROGRESSA (Silva-Acuña et al. 1995). La eliminación de datos atípicos se realizó siguiendo la metodología descrita por Tukey (1977).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables asociadas con el comportamiento hidráulico

El análisis del comportamiento de las variables, tanto en el Ultisol como en el Vertisol, evidenció la presencia de horizontes compactados a partir de los 25 cm de profundidad (Barrios 1998), los cuales representan una barrera al flujo hidráulico que se vio reflejado en los valores de K_s a través del perfil.

Al tener en consideración la afirmación realizada por Oosterbaan y Nijland (1994) acerca de que para el flujo horizontal el valor de K_s 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 K_s en el perfil lo determina 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 (Fig. 2). En el caso del Ultisol, la inclusión de estratos más profundos en la prueba de K_s produce un aumento, en el promedio, lo cual evidencia un mejor comportamiento hidráulico de estos, pasando a ser determinantes en la K_s horizontal del perfil.

Los valores de K_s demuestran que el estrato de plintita del Ultisol, ubicado a una profundidad media de 59 cm y considerado en el sistema de riego como el estrato impermeable, presenta valores altos, con lo cual se demuestra que no es efectivo en la restricción del flujo vertical y de las pérdidas por percolación. Estudios realizados por Carian et al. (1985) y Blume et al. (1987) han reportado que los horizontes que contienen plintita restringen el movimiento vertical de agua y de solutos en el suelo, y se supone que favorecen el flujo subsuperficial en paisajes de planicie, sin embargo, Shaw et al. (1997) enfatizan el hecho de que este estrato no debe ser considerado impermeable, ya que se ha demostrado el movimiento de solutos hasta profundidades superiores a los 8 m.

Daniels et al. (1978) definen a la plintita como una posición intermedia entre óxidos de hierro en forma de moteados friables y láminas o nodulos de hierro extremadamente firmes o extremadamente duros, lo dificulta enormemente su identificación. De la misma manera, distinguen entre la plintita nodular que presenta formas discontinuas y se forma por encima de capas que restringen el flujo vertical

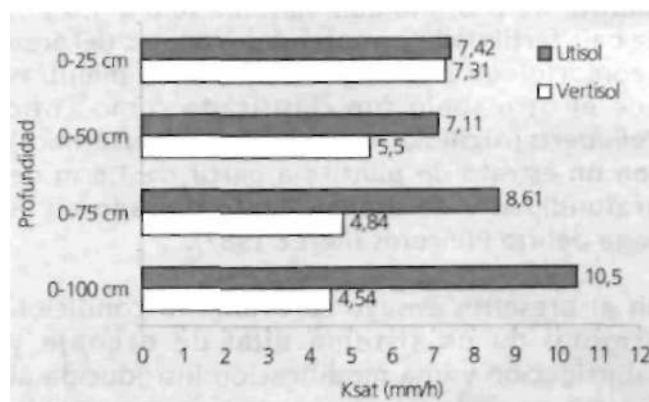


Figura 2. Conductividad hidráulica saturada a cuatro profundidades en dos suelos irrigados con palma de aceite.

y la plintita laminar que se forma a nivel de paisajes dentro de una zona fluctuante de saturación. Además señalan que, a diferencia de la plintita nodular, la plintita laminar juega un papel importante en la restricción del movimiento vertical del agua, pero no lo evita totalmente.

Resultados reportados por Shaw et al. (1997) también sugieren que los horizontes subyacentes juegan un papel más restrictivo al flujo de agua que los horizontes que contienen bajas cantidades de plintita. Por su parte, West et al. (1998) presumen que estas capas restrictivas por debajo de la plintita pueden ser las responsables de las mesas de agua fluctuantes que contribuyen a su formación.

En el caso que se estudia, aparentemente el estrato rico en óxidos de hierro, considerado como plintita, no cumple con todas las características que la definen; y si así llegara a ser, sería clasificado como plintita nodular, la cual no es muy eficiente en la reducción de las pérdidas de agua por percolación, lo que a su vez estará afectando enormemente la eficacia del sistema de riego en estudio.

La disminución continua que se observa en los valores de Ks en la medida que se profundiza en el perfil del suelo Vertisol, indica que el estrato donde ocurre el mayor flujo horizontal de agua es el superficial (0-25 cm), mientras que los estratos restantes más profundos hacen poco o ningún aporte a la conductividad hidráulica saturada del perfil, debido a la presencia de horizontes compactados que restringen drásticamente el movimiento vertical del agua en el perfil. Esta condición es menos marcada en el estrato superficial, debido, posiblemente, al continuo proceso de secado y humedecimiento alterno que origina la formación de grietas, trayendo consigo cambios en la densidad aparente y en la distribución y arreglo de los poros.

Patrón de humedecimiento del suelo

En el caso del sistema de riego original, se observa que el contenido de humedad en el perfil desciende a medida que el punto evaluado está

más alejado del canal de riego. Para el Ultisol, este descenso es paulatino y ocurre dentro de un rango de distancia de 0 a 12,5 m; en cambio, en el Vertisol, el descenso en el contenido de humedad del perfil es más drástico, y ocurre dentro de un rango de 0 a 7,5 m (Fig. 3a y 3b). Estas diferencias en el comportamiento del patrón de humedecimiento de ambos suelos tiene su justificación en las diferencias encontradas en las propiedades hidráulicas, discutidas anteriormente. En el Ultisol, los altos valores de Ks del estrato plintítico favorecen las pérdidas de agua por percolación, pero también permiten el flujo de cierta cantidad de agua en el sentido horizontal, originado el cambio gradual del contenido de humedad en el perfil, mientras que los bajos valores de Ks del Vertisol impiden que el agua se mueva lo suficientemente rápido en el sentido horizontal, por lo cual el beneficio del riego será solamente para las palmas adyacentes al canal, y es poco efectivo en el suministro de agua a las palmas ubicadas a mayor distancia.

En cuanto al contenido de humedad del suelo a través del perfil, se observa que en el Ultisol existen diferencias apreciables en la distribución del agua de riego, donde los estratos más profundos muestran mayores contenidos de humedad que los superficiales, lo cual se atribuyó a las diferencias en el contenido de arcilla con la profundidad y a una mejor distribución del agua en estos estratos, como consecuencia de sus altos valores de Ks. Sin embargo, los bajos contenidos de humedad en los estratos superficiales (0 a 20 y 20 a 40 cm) muestran pocas variaciones en función de la distancia, lo cual refleja una baja influencia del sistema de riego sobre el contenido de humedad de estos estratos. Esta situación puede ser una consecuencia de la presencia del estrato compactado mencionado anteriormente, cuyas características restringen el movimiento de agua en el sentido ascendente y, por lo tanto, la disponibilidad para la planta.

En el caso del Vertisol, el comportamiento de las curvas de contenido de humedad a través del perfil es similar, pero a partir de los 7,5 m de distancia al canal muestran poca influencia del sistema de riego, lo cual indica que la separación entre los canales de riego no garantiza el suministro adecuado de agua a las palmas más

alejadas del canal. Este comportamiento es consecuencia de los bajos valores de K_s en los estratos más profundos, los cuales se encuentran compactados y son los responsables de distribuir el agua, tanto en el sentido horizontal como en el vertical, según los requerimientos del sistema de riego.

Resultados similares fueron reportados por Rausch et al. (1990) para un suelo arcilloso cultivado con alfalfa, señalando que la baja permeabilidad restringe el flujo de agua de subirrigación hasta apenas 2 m de distancia de los canales, sugiriendo un espaciamiento de 4 m para las condiciones de manejo del cultivo.

Al examinar el comportamiento del patrón de humedecimiento de los suelos bajo la modificación introducida al sistema de riego, se observan ciertas similitudes con el sistema de riego original, las cuales son debidas a las propiedades intrínsecas del suelo: en el Ultisol, por ejemplo, se presentan las mismas diferencias en el contenido de humedad a través del perfil; mientras que en el Vertisol, se presentan cambios abruptos en el contenido de humedad del perfil dentro de rangos de distancia relativamente cortos. Al igual que en el caso anterior, el bajo contenido de humedad en los estratos superficiales en el Ultisol, y los cambios bruscos de humedad en cortas distancias en el Vertisol, confirman que los estratos compactados actúan como barreras poco permeables al movimiento del agua, bien sea en el sentido vertical (Ultisol) o en el sentido horizontal (Vertisol), y se convierten en un impedimento para el suministro adecuado de agua a las plantas.

El comportamiento de las curvas en ambos suelos refleja que la introducción de canales de riego al sistema original, mejora enormemente la distribución de agua en el suelo, tanto en el sentido horizontal como a través del perfil, lo cual se evidencia en valores más elevados de humedad en todos los estratos en comparación al sistema de riego original (Fig. 4a y 4b). Por otro lado, con la construcción de canales terciarios se está conduciendo agua hasta el punto medio de separación entre las palmas de las hileras más alejadas de los canales

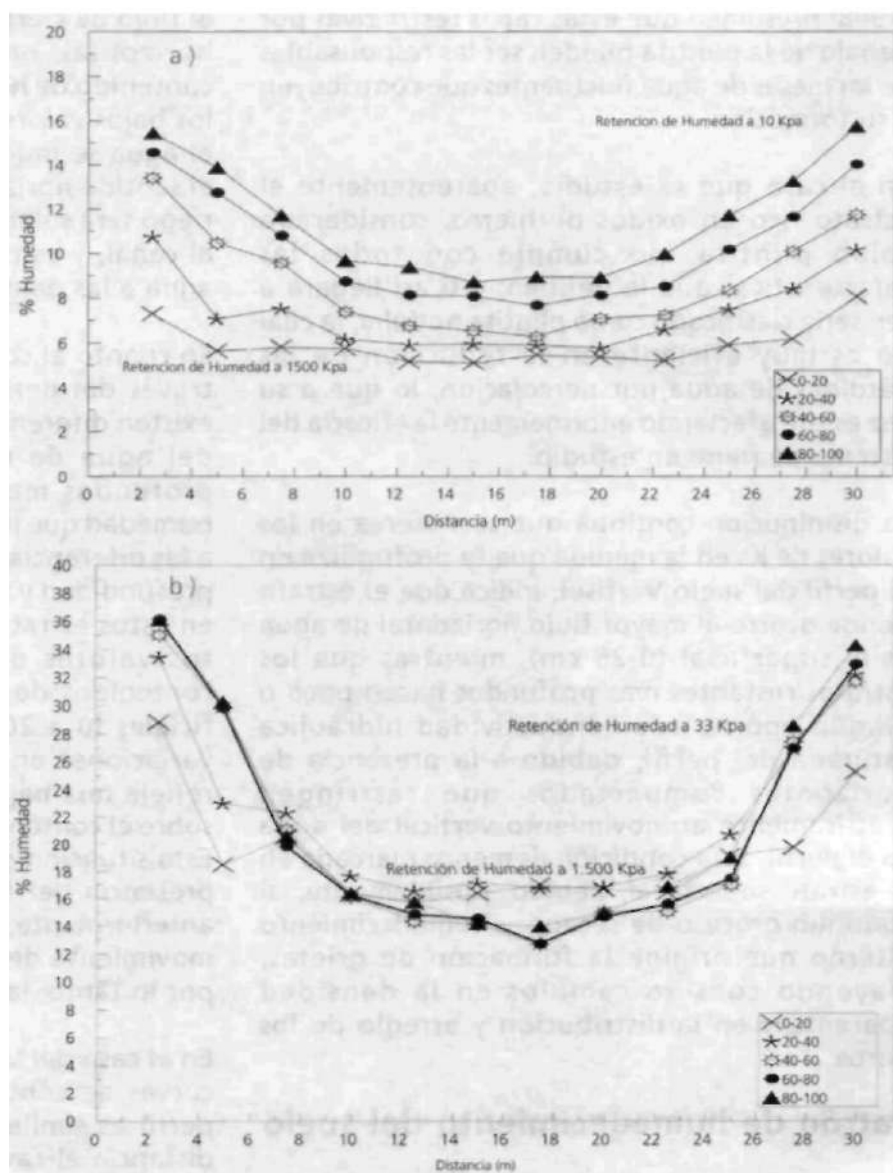
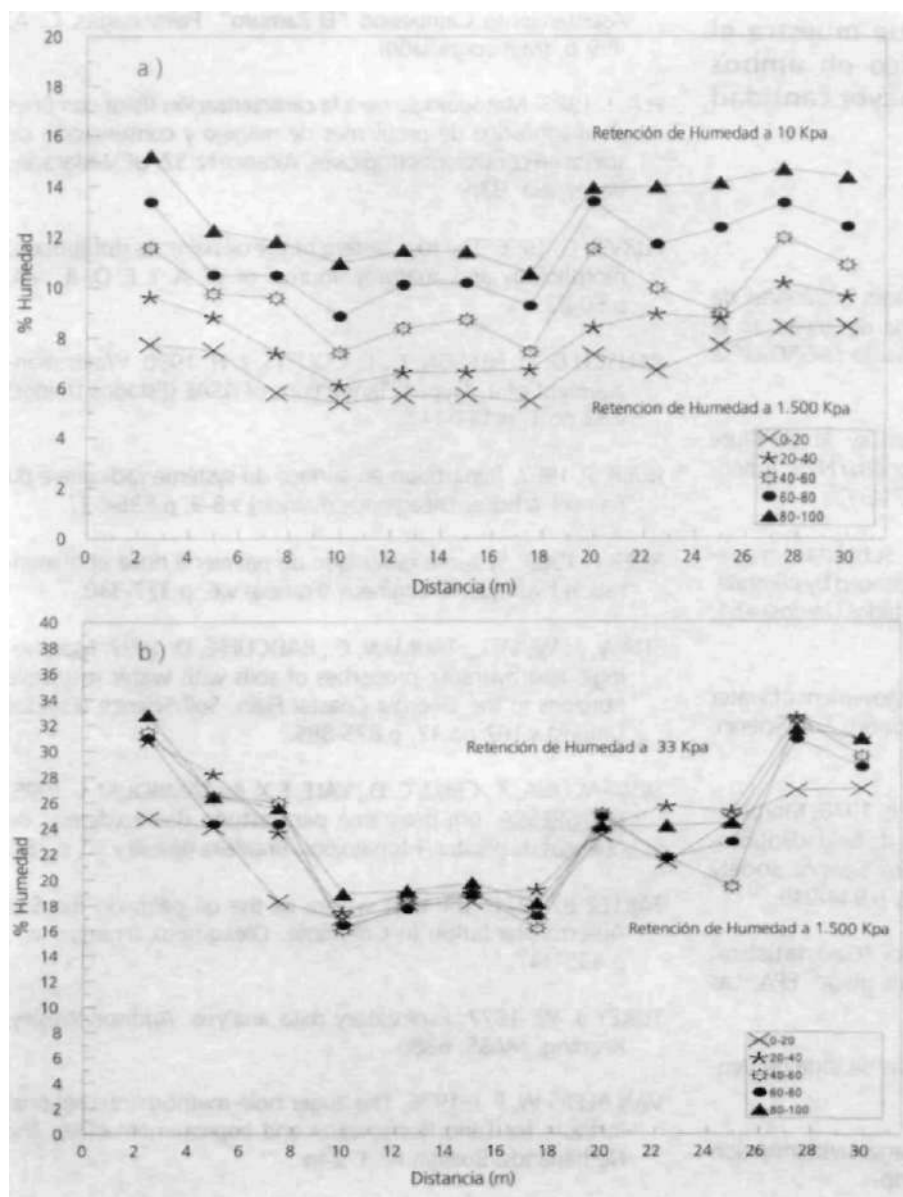


Figura 3. Comportamiento del contenido de humedad en el perfil de dos suelos cultivados con palma de aceite bajo el sistema de riego original. a) Ultisol b) Vertisol.

secundarios, con lo cual se garantiza que habrá humedad disponible a distancias relativamente cercanas a cada palma.

Estudios del patrón de distribución radical realizados en ambos suelos (Barrios 1998) demostraron la tendencia de las raíces primarias (diámetro mayor a 3 mm) a concentrarse en el estrato de 10 a 40 cm de profundidad; mientras que las raíces terciarias y cuaternarias (diámetro menor a 1 mm), tienden concentrarse entre los 0 y 20 cm de profundidad y a partir allí ocurre un

descenso brusco en la proporción de este tipo de raíces por unidad de volumen. Este descenso es más marcado en el Vertisol, y se presume que sea consecuencia de restricciones en la aireación a partir de esta profundidad, como resultado de la disminución de la porosidad total y de la macroporosidad ya mencionadas. Por su parte, las raíces secundarias (diámetro entre 1 y 3 mm) presentan una distribución más heterogénea a través del perfil del Vertisol en comparación con el Ultisol, con una mayor proporción dentro de los primeros 40 cm superficiales.



En general, los resultados obtenidos en cuanto al patrón de distribución radical de la palma de aceite, concuerdan con los reportes de Purvis (1956), Ruer (1967, 1969), Taille (1971), Hartley (1983) y Jourdan y Rey (1997), quienes destacan que la superficie absorbente (correspondiente a las raíces terciarias y cuaternarias, y los ápices de las raíces primarias y secundarias) es de vital importancia en la nutrición hídrica de la planta; sin embargo, este comportamiento también refleja la presencia de capas compactadas, tomando en consideración que estos estudios señalan una distribución más profunda de las raíces absorbentes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al tener en consideración que la mayor proporción de raíces de la palma de aceite absorbentes se ubica dentro de los primeros 45 cm, y que los suelos presentan restricciones para conducir el agua, tanto en el sentido horizontal como en el vertical ascendente, es evidente que el sistema de subirrigación no es efectivo en el suministro

de agua a las palmas ubicadas en las hileras centrales de los canales secundarios de riego. Por lo tanto, se refuerza la alternativa de la construcción de canales terciarios para conducir el agua a las cercanías de este grupo de palmas, de manera de garantizar que habrá una adecuada cantidad de raíces en capacidad de absorber el agua y nutrir satisfactoriamente a la planta.

Otra alternativa está representada por el suministro de agua en forma superficial, bien sea a través de aspersión o de riego localizado, ya que el estrato superficial es el que muestra el mejor comportamiento hidráulico en ambos suelos, y es donde se acumula la mayor cantidad de raíces absorbentes.

BIBLIOGRAFÍA

- BARRIOS R. 1998. Evaluación de las propiedades hidráulicas de dos suelos irrigados cultivados con palma de aceite en el estado Monagas. Postgrado Ciencia del Suelo FAGRO-UCV. 113p. (Tesis de Maestría).
- BLAKE G. R y K. H. HARTGE. 1965. Bulk density. *In*: A. Klute (Ed.). Methods of soil analysis, Part 1, Agronomy N° 9. American Society Agronomy, Madison, WI. p.371-373.
- BLUME L.; PERKINS, H.; HUBBARD, R. 1987. Subsurface movement in an upland Coastal Plain soil as influenced by plinthite. Soil Science Society of America. Journal (Estados Unidos) v.51, p.774-779.
- CARLAN W.; PERKINS, H.; LEONARD, R. 1985. Movement of water in a Plinthic Paleudult using a bromide tracer. Soil Science (Estados Unidos) v.139 no.1, p.62-66.
- DANIELS R.; PERKINS, H.; HAJEK B.; GAMBLE, E. 1978. Morphology of discontinuous phase and criteria for its field Identification in the southeastern United States. Soil Science Society of America. Journal (Estados Unidos) v.42, p.944-949.
- ENGLUND E.; SPARKS, A. 1988. Geo-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) User's guide. EPA, Las Vegas, Nevada. 182p.
- EWEL J. J.; MADRIZ, A.; TOSI, J. A. 1976. Zonas de Vida de Venezuela. Caracas. 2da ed.
- FAO. 1988. Irrigation practice and water management. Irrigation and drainage paper N° 1 Rev. 1. Roma. 64p.
- GALLICHAND J.; PRASHER, S. O.; BROUGHTON, R. S.; MARCOTTE, D. 1991. 'Kriging' of hydraulic conductivity for subsurface drainage design. Journal of Irrigation and Drainage Engineering v. 117 no.5, p.667-681.
- HARTLEY, C. W. 1983. La palma de aceite. Compañía Editorial Continental. México, D.F. 953p.
- JOURDAN, C; REY, H. 1997. Architecture and development of the oil palm (*Elaeis guineensis*, Jacq.) root system. Plant and Soil (Holanda) v. 189, p.33-48.
- OOSTERBAAN R. J.; NIJLAND, H. J. 1994. Determining the saturated hydraulic conductivity. *In*: H. P.Ritzema (Ed.). Drainage principles and applications ILRI Publication 16. p.435-476.
- PÉREZ, R. 1987. Estudio agrológico semidetallado del Asentamiento Campesino "El Zamuro". Palmonagas, C. A. 459 p. (Mimeografiado).
- PLA, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance N° 32. UCV-Maracay, Venezuela. 93p.
- PURVIS, G. 1956. The root system of the oil palm: its distribution, morphology and anatomy. Journal of W. A. I. F. O. R., v.4, p.60-82.
- RAUSCH D. L; NELSON, C. J.; COUTTS, J. H. 1990. Water management of a claypan. Transactions of ASAE (Estados Unidos) v.33 no.1, p.111-117.
- RUER, P. 1967. Répartition en surface du système racinaire du palmier à huile. Oléagineux (Francia) v.8-9, p.535-537.
- RUER P. 1969. Système racinaire du palmier à huile et alimentation hydrique. Oléagineux (Francia) v.6, p.327-330.
- SHAW, J.; WEST, L; TRUMAN, C; RADCLIFFE, D. 1997. Morphologic and hydraulic properties of soils with water restrictive horizons in the Georgia Coastal Plain. Soil Science (Estados Unidos) v. 162 no. 12, p.875-885.
- SILVA-ACUÑA, R; CRUZ, C. D.; VALE, F. X. R; ZAMBOLIM, L. 1995. PROGRESSA: um programa para estudo das epidemias de doenças de plantas. Fitopatologia Brasileira (Brasil) v.20, p.368.
- TAILLEZ B. 1971. The root system of the oil palm on the San Alberto plantation in Colombia. Oléagineux (Francia) v.7, p.435-447.
- TUKEY J. W. 1977. Exploratory data analysis. Addison-Wesley, Reading, MASS. 688p.
- VAN BEERS W. F. J. 1976. The auger hole method. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). The Netherlands. Bulletin N° 1. 24p.
- WEST L T; BEINROTH, F. H.; SUMMER, M. E.; KANG, B. T 1998. Ultisols: Characteristics and impacts on society. Advances in Agronomy (Estados Unidos) v.63, p. 179-236.