

# Evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersión en suelos cultivados con palma aceitera

Evaluation of subirrigation and sprinkling systems in soils cultivated with palm oil

**Barrios, Renny<sup>1</sup>, Arteaga Andry<sup>2</sup>, Florentino, Adriana<sup>3</sup> y Amaya, Guillermo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). San Agustín de La Pica, Vía Laguna Grande. Apartado Postal 184. Telef. 0291-6413349. Maturín, estado Monagas. rbarrios@inia.gov.ve

<sup>2</sup>Palmas de Monagas S. A. (PALMONAGAS). Planta Extractora, vía Vuelta Larga. Maturín, estado Monagas.

<sup>3</sup>Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Vía El Limón. Maracay, estado Aragua.

## RESUMEN

Se realizaron evaluaciones para determinar el comportamiento de un sistema de subirrigación, una modificación del sistema de subirrigación y dos sistemas de riego por aspersión en el suministro de agua a la palma aceitera bajo diferentes condiciones de suelo. Las evaluaciones se realizaron en las fincas “Agropecuaria El Zamuro”, “Agropecuaria El Águila” y “Agropecuaria Viboral” ubicadas en el municipio Maturín, estado Monagas. Se evaluó la distribución de agua en el sentido longitudinal y a través del perfil del suelo. Se determinó que el sistema de subirrigación tiene poca influencia sobre el contenido de humedad en los estratos superficiales debido a limitaciones intrínsecas de los suelos que impiden el movimiento del agua. La introducción de canales terciarios al sistema de subirrigación mejora la distribución de agua tanto en el sentido horizontal como en el vertical. Los sistemas de riego por aspersión presentes en las plantaciones comerciales del estado Monagas tienen una eficiencia muy baja, lo cual se atribuye a fallas en el diseño y operación de los mismos. El sistema de riego con aspersores de tres boquillas aporta mayor cantidad de agua en lugares ubicados cerca de la base de la palma aceitera; mientras que el sistema con aspersores giratorios distribuye el agua con mayor uniformidad en la superficie del suelo, con mayor acumulación en lugares donde ocurrió solapamiento entre aspersores.

**Palabras Clave:** Déficit hídrico, irrigación, eficiencia de aplicación, uniformidad de distribución.

## ABSTRACT

Evaluations were carried out to determine the behavior of a subirrigation system, a modification of the subirrigation system and two sprinkling systems on the supply of water to the palm oil under different conditions of soil. The evaluations were realized in the farms “Agropecuaria El Zamuro”, “Agropecuaria El Águila” y “Agropecuaria Viboral” located in the municipality Maturin, state Monagas. The distribution of water was evaluated in the longitudinal sense and through the profile of the soil. It was determined that the subirrigation system has low influence on the content of water in the superficial strata due to intrinsic limitations of the soil that impede the movement of water. The introduction of tertiary channels to the subirrigación system improved the distribution of water in the horizontal and vertical sense. The sprinkling systems present in the commercial plantations of the state Monagas has a very low efficiency, which was attributed to deficiencies in the design and operation. The sprinkling system with emissors of three mouthpieces supplied bigger quantity of water in places located near the base of the palm oil, while the system with gyrotory emissors distributed the water with more uniformity in the surface of the soil with more accumulation in places where overlapping happened.

**Key Words:** Water deficit, irrigation, efficiency of application, uniformity of distribution.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de la palma aceitera en Venezuela se ha desarrollado bajo condiciones limitantes de suelo y clima. Debido a su impacto sobre la productividad, el agua constituye el factor más limitante para la producción, ya que controla la temperatura interna, participa en los procesos bioquímicos incluyendo la fotosíntesis, es un medio de solubilidad, absorción y transporte de nutrimentos del suelo, transporta productos de la fotosíntesis y

procesos metabólicos y es constituyente esencial del soporte de los tejidos celulares (turgencia).

Por otro lado, los requerimientos de agua en palma de aceite no son constantes ni únicos y por lo tanto para calcularlos es necesario tomar en cuenta la capacidad de almacenamiento del suelo en la zona de las raíces, la disponibilidad de agua al alcance de las palmas y los requerimientos de agua para procesos fisiológicos y físicos (Granada, 2001).

El riego en la palma aceitera permite estabilizar y aumentar la producción, proporcionar mayor altura de las plantas en comparación con las no regadas, distribuir en forma heterogénea el sistema radical con alta concentración de raíces finas (absorbentes) hacia la zona húmeda, mayor precocidad en la producción de frutas en áreas regadas comparadas con áreas no regadas y aumentar el rendimiento alrededor de 10 % (Prioux *et al.*, 1992; García y Briones, 1997; Lascano y Munevar, 2000). Debido a las exigencias económicas que implica la práctica de riego, se hace necesario la realización de evaluaciones que permitan cuantificar los beneficios económicos que se obtienen, en función de los costos de implementación de diferentes alternativas de riego en las plantaciones comerciales de palma aceitera y de los incrementos de productividad que se originen. Dado el patrón de distribución unimodal de las precipitaciones que caracteriza a la región tropical, las zonas productoras de palma aceitera cuentan con excesos de agua superficial en algunas épocas del año y con déficit hídrico marcado 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 periodo de 7 a 8 meses, produciéndose un periodo seco de al menos 4 meses con precipitaciones inferiores a los 50 mm mensuales, ocasionando un déficit hídrico superior a 500 mm para la palma aceitera. Esto trae como consecuencia fluctuaciones de la producción durante el año, concentrándose la mayor producción en periodos cortos de tiempo, lo cual, a su vez, origina problemas de recepción y procesamiento de las cosechas en la planta extractora. En este caso, la práctica de riego constituye una alternativa para lograr la estabilización de las fluctuaciones de la producción y lograr un incremento en la productividad.

Bajo este criterio, en las plantaciones comerciales de palma aceitera del estado Monagas se ha instalado una infraestructura de riego de 4000 ha, donde 2150 corresponden a sistemas de subirrigación y 1850 a sistemas de aspersión; sin embargo, la eficiencia de estos sistemas no ha sido cuantificada, por lo cual aún no existen criterios para la selección de sistemas adaptados a las condiciones particulares de la producción de palma aceitera.

En tal sentido, en el presente trabajo se plantea la evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersión en cuanto al aporte y distribución de

agua a la palma aceitera, considerando diferentes condiciones de suelo a fin de identificar limitaciones en el desarrollo de sistemas de riego y sugerir alternativas para enfrentar tales situaciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las evaluaciones se condujeron en las plantaciones comerciales de palma aceitera de la empresa Palmas de Monagas C.A. (PALMONAGAS, C.A.), correspondientes a las fincas “Agropecuaria El Zamuro”, “Agropecuaria Viboral” y “Agropecuaria El Águila”, ubicadas en el Municipio Maturín del estado Monagas. En esta región el clima está clasificado como Bosque Húmedo Tropical, con una temperatura media anual de 27,3° C, la precipitación es del orden de 1291 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.

### Sistemas de subirrigación

Las evaluaciones se realizaron en la finca “Agropecuaria El Zamuro”, bajo suelos clasificados como *Typic Plinthudults* (Francosa fina/plintita, mixta, isohipertérmica), con un estrato plintítico de profundidad variable (0,8 a 1,6 m), de baja fertilidad y comprendidos dentro del área geomorfológica terraza media plana del río Punceres. El diseño del sistema de subirrigación parte del principio de que el estrato plintítico actúa como una barrera al movimiento vertical del agua, lo cual produce el movimiento lateral del agua y el ascenso de ésta hasta la zona radical por efecto de la capilaridad.

El sistema de subirrigación está constituido por canales trapezoidales de 1,0 m de ancho por 0,8 m de profundidad, ubicados cada cuatro hileras de plantas y separados por una distancia de 30,6 m aproximadamente, los cuales son alimentados por un canal secundario que distribuye el agua proveniente de un pozo profundo.

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, de acuerdo a 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.

Se realizó un muestreo a diferentes profundidades donde se evaluó el contenido volumétrico de humedad del suelo, de acuerdo a la metodología descrita por Pla (1983). Para efectuar el muestreo se trazaron cinco transectas de 125 m cada una, paralelas entre sí con una separación de 22,5 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 efectos de comparación, los datos fueron agrupados y promediados de acuerdo a la distancia de separación de los canales secundarios de riego, y se procedió a graficar el contenido de humedad a través del perfil.

### Sistemas de aspersión

La evaluación de los sistemas de riego por aspersión se realizó en las fincas “Agropecuaria Viboral” con aspersores giratorios de una boquilla, y en la finca “Agropecuaria El Águila” con aspersores fijos de tres boquillas.

Para la finca “Agropecuaria Viboral” los suelos son clasificados como *Histic tropaquepts* (Inceptisol), francosa fina, mixta y ubicados dentro del paisaje de terraza media plana del río Guarapiche. En el caso de la finca “Agropecuaria El Águila” los suelos están clasificados como *Aquic Udifluvents* (Entisol), francosa fina, mixta y ubicados dentro del paisaje de terrazas aluviales del río Guanipa (Pérez,

1996).

En el Cuadro 1 se describen las características de diseño y operación de los sistemas de riego por aspersión evaluados. Cabe destacar que la principal diferencia entre los sistemas de riego viene dada por las características del emisor utilizado.

Para efectos de evaluación se seleccionó un área representativa con 4 aspersores, ubicada en la zona central del bloque de riego. Se utilizaron 72 pluviómetros ubicados en cuadrículas de 2 x 2 metros de separación y enterrados ligeramente sobre la superficie del suelo, de manera que permanecieran en posición vertical. Los aspersores se cubrieron antes de la evaluación para evitar entrada de agua a la red de pluviómetros. Una vez iniciado el periodo de evaluación, se descubrieron los aspersores y se colocaron dos pluviómetros fuera del área del ensayo con 100 mililitros de agua para determinar el volumen de agua perdido por evaporación.

Al finalizar la prueba de 90 minutos de duración, los aspersores se cubrieron nuevamente y se midieron los volúmenes recogidos en los pluviómetros dentro del área de evaluación. De igual manera, se calcularon las láminas (cm) captadas y las tasa de aplicación (cm/h) para cada pluviómetro y se corrigieron de acuerdo a la evaporación medida fuera del área de evaluación, procediendo posteriormente a ordenar los valores de acuerdo a coordenadas norte - este para graficar la distribución espacial de la lámina de agua aportada por el sistema de riego y para el análisis de los resultados.

Cuadro 1. Características de diseño y operación de los sistemas de riego por aspersión empleados en las Agropecuarias Viboral y El Águila en el Estado Monagas.

Parámetro	Inceptisol	Entisol
Tubería de la bomba (mm)	160	250
Tubería principal (mm)	142	90
Tuberías laterales (mm)	71	32
Altura de los elevadores (cm)	45	45
Presión de trabajo en el filtro (KPa)	467	576
Presión de trabajo en el subcabezal (Kpa)	260	360
Espaciamiento entre aspersores (m)	13,5	13,5
Espaciamiento entre ramales (m)	15,6	16
Tipo de aspersor	Giratorio (1 boquilla)	Fijo (tres boquillas)
Presión de operación (KPa)	200	200
Caudal (L/h)	315	360

Para efectuar las comparaciones se calcularon los parámetros tradicionales asociados a la eficiencia de sistemas de riego por aspersión, como lo son: coeficiente de uniformidad, eficiencia de aplicación y eficiencia de distribución según metodología descrita por Christiansen (1942) y ASCE (1978). Adicionalmente se realizó un análisis de la distribución espacial de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros utilizando kriging como sistema de interpolación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Sistemas de Subirrigación

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. En la Figura 1 se muestra el comportamiento del contenido de humedad en el perfil de los suelos evaluados, donde los extremos de la gráfica en el eje *X* representan la ubicación de los canales secundarios del sistema de riego.

Se evidenciaron diferencias 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, situación típica de este tipo de suelos debido a la formación del horizonte argílico. 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.

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. Al igual que en el caso anterior, el bajo contenido de humedad en los estratos superficiales en el Ultisol indican la existencia de limitaciones al movimiento del agua en el sentido vertical y se convierten en un impedimento para el suministro adecuado de agua.

Trabajos realizados por Barrios y Florentino (2001) sobre este tipo de suelo demostraron que existe una serie de impedimentos físicos para la utilización del sistema de subirrigación, debido a la presencia de capas compactadas que limitan el

movimiento ascendente del agua y a las pérdidas por percolación debido a la alta conductividad hidráulica del estrato de plintita considerado impermeable en el diseño del sistema de subirrigación.

El comportamiento de las curvas 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 (Figuras 1a. y 1b.). 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 secundarios, con lo cual se garantiza que habrá humedad disponible a distancias relativamente cercanas a cada planta.

También es importante considerar que la mayor proporción de raíces absorbentes de la palma aceitera se ubican en los estratos superficiales, a profundidades inferiores a 45 cm (Purvis, 1956; Ruer, 1969; Jourdan y Rey, 1997; Barrios, 1998) y bajo las condiciones de operación del sistema de subirrigación, el agua estaría retenida a tensiones tan altas que haría difícil su aprovechamiento por parte de la planta.

### Comportamiento de sistemas de aspersión

Las evaluaciones tradicionales de sistemas de riego por aspersión demostraron la baja eficiencia de los sistemas de aspersión evaluados. Para el sistema de aspersores fijos de tres boquillas, el coeficiente de uniformidad fue de 9%, la eficiencia de distribución y la eficiencia de aplicación del sistema se ubicó en 1%, mientras que para el sistema de aspersores giratorios se obtuvieron 39%, 3% y 1% respectivamente, los cuales son considerados muy bajos de acuerdo a las recomendaciones para la mayoría de los cultivos con altas demandas de riego. Christiansen (1942) y ASCE (1978) consideran valores aceptables de coeficiente de uniformidad y eficiencia de distribución superiores a 85%.

González (2000), en evaluaciones de sistemas de riego en palma aceitera utilizando aspersores giratorios, bajo las mismas condiciones de operación descritas para suelos inceptisoles, también encontró una eficiencia muy baja, con coeficientes de uniformidad entre 55 y 65%, uniformidad de distribución entre 40 y 50% y eficiencia de aplicación

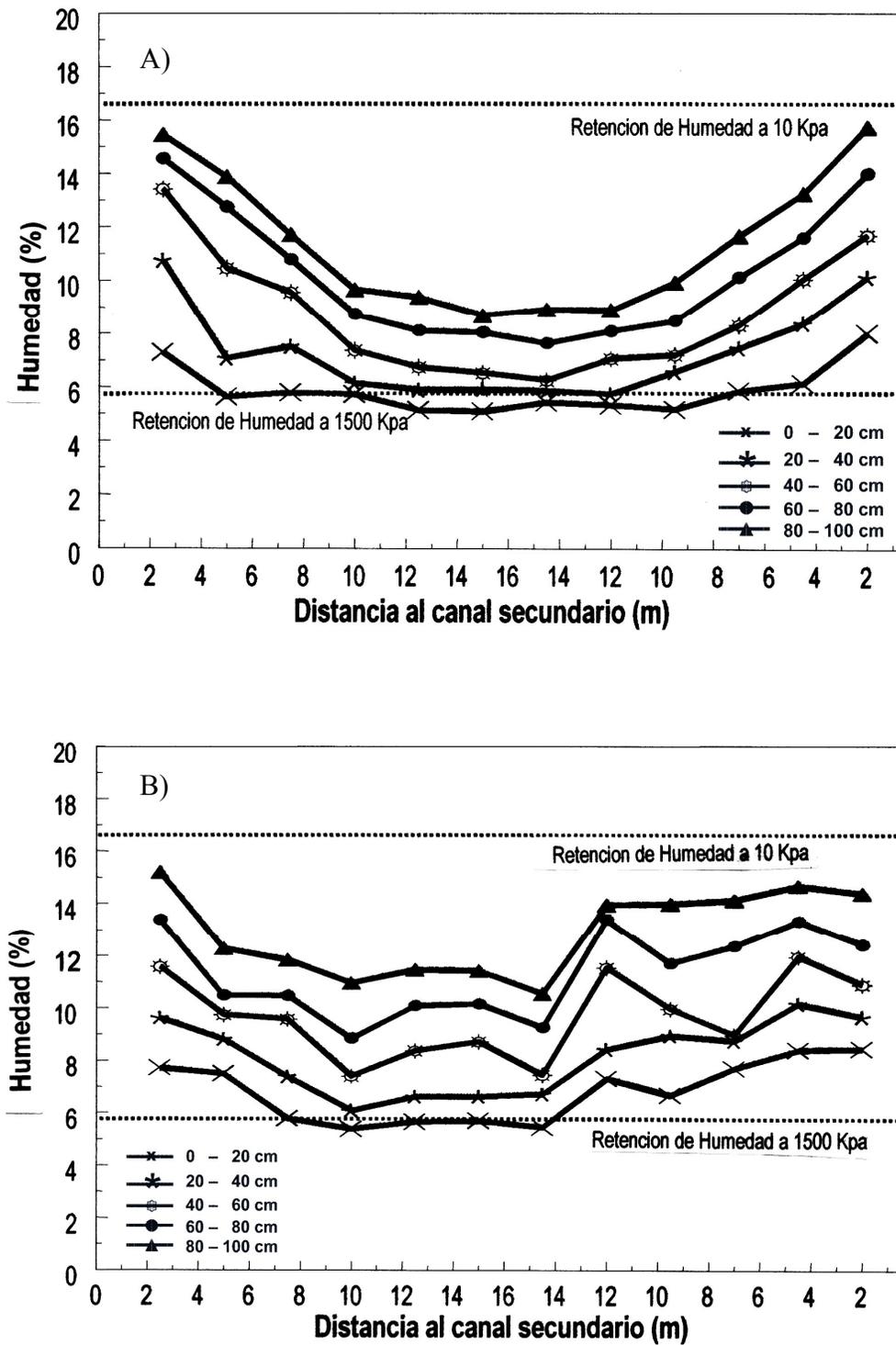


Figura 1. Comportamiento del contenido de humedad en el perfil de un Ultisol cultivado con palma aceitera: a) Sistema de riego original y b) Sistema modificado.

entre 30 y 40%; destacando que las presiones de operación, y en consecuencia, el caudal descargado, estaban por debajo de lo recomendado por el fabricante.

Al analizar la distribución espacial de la lámina de agua aportada por los sistemas de riego (Figura 2), se observó que varían de acuerdo al tipo de aspersor utilizado. Los aspersores fijos tres boquillas de 120° suministran agua en forma localizada a tres plantas de palma de aceite, estas boquillas pueden ser graduadas para dirigir el agua hacia la zona de interés. En el caso de los aspersores giratorios se evidenció mayor superficie de suelo humedecida y la distribución de las láminas aplicadas en toda el área de estudio fue más uniforme.

La Figura 2 muestra la distribución espacial del agua aplicada por los sistemas de aspersión considerados en relación a la ubicación de la planta y en función de la colocación de los emisores en cada una de las esquinas de las gráficas. Los aspersores de tres boquillas aportaron las mayores láminas de agua en lugares cercanos a la base de la planta, con valores de hasta 3 cm/h, mientras que el área de mayor concentración de agua en el caso del sistema de aspersores giratorios se ubicó en la zona de solapamiento entre emisores con valores de 2 cm/h.

La potencialidad del uso de aspersores fijos de tres boquillas radica en que el operador del sistema de riego puede regular la dirección del agua emitida para mayor aprovechamiento por parte de la planta, lo

cual sería de gran utilidad en plantaciones jóvenes donde el sistema radical es poco extenso. De esta forma, se puede limitar el área humedecida, lo que permite un uso más eficiente del agua, principalmente en suelos del estado Monagas donde la capacidad de retención de agua y nutrientes es muy baja, que a su vez favorecería el crecimiento vigoroso de la palma al limitar la competencia con el complejo de malezas.

Como desventaja puede señalarse el hecho de que la lámina de agua aplicada en lugares cercanos al platón puede superar la velocidad de infiltración del suelo y afectar en forma negativa las raíces de la planta al existir exceso de agua, además de favorecer el crecimiento de malezas. En tal sentido, se hace necesario realizar un manejo adecuado del sistema de riego de manera que permita aplicar las cantidades de agua para cubrir las necesidades hídricas del cultivo.

La distribución espacial más uniforme de las láminas de agua aplicadas por el sistema de riego de aspersores giratorios garantiza una mayor superficie humedecida, situación que es muy favorable en plantaciones adultas donde el sistema de raíces es superficial. Al existir mayor superficie humedecida puede favorecer el crecimiento y desarrollo de malezas principalmente en palmas jóvenes. Esta competencia es poco marcada en plantaciones de palma aceitera adultas debido a su gran crecimiento y desarrollo radicular, el cual se extiende en forma paralela a la superficie del suelo y en donde las malezas se ven afectadas por la sombra que genera el dosel del cultivo.

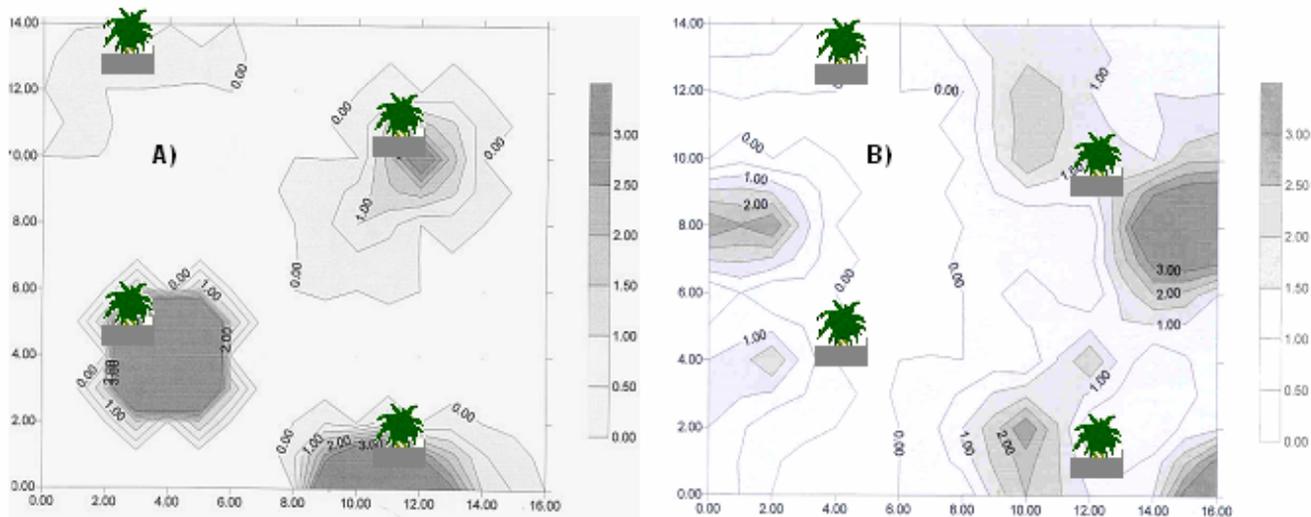


Figura 2. Distribución espacial de la tasa de aplicación (cm/h) de la lámina de agua aportada por el sistema de riego por aspersión. A) Aspersores fijos y B) Aspersores giratorios.

## CONSIDERACIONES FINALES

En vista de la distribución general del sistema radical de la palma aceitera descrito por Jourdan y Rey (1997) y a las similitudes encontradas por Barrios (1998) en plantaciones comerciales de palma aceitera del estado Monagas, donde se señala que la mayor proporción de raíces absorbentes se encuentra en los primeros 45 cm del suelo, las características de los suelos donde están establecidas las plantaciones del estado Monagas le confieren poca aptitud para el desarrollo de sistemas de subirrigación. Sin embargo, dado el hecho de que existe una infraestructura de subirrigación desarrollada, similar a la evaluada como sistema original, se plantea la opción de construir canales terciarios de riego a fin de garantizar una mejor distribución del agua aplicada.

Los trabajos realizados por Barrios (1998) y Barrios y Florentino (2001) indican la necesidad de la aplicación del agua en forma superficial, lo cual implica el uso de sistemas de aspersión o de gravedad a través de canales superficiales. No obstante, de acuerdo a los parámetros tomados en cuenta en las evaluaciones tradicionales de riego por aspersión, los sistemas estudiados tienen una eficiencia muy baja.

La potencialidad de los sistemas de aspersión varía de acuerdo a la edad de la planta. En tal sentido, en etapas jóvenes del cultivo sería adecuado utilizar aspersores fijos de tres boquillas para aplicar el agua en forma dirigida si exceder la velocidad de infiltración de los suelos a fin de garantizar la satisfacción de los requerimientos hídricos de la planta y limitar el desarrollo de malezas, y en la medida que el sistema radical del cultivo se extienda, cambiar a aspersores giratorios que distribuyan el agua de una manera más uniforme.

## CONCLUSIONES

1. El sistema de subirrigación tiene poca influencia sobre el contenido de humedad en los estratos superficiales donde se concentra la mayor proporción de raíces absorbentes de la palma aceitera, debido a limitaciones intrínsecas de los suelos que impiden el movimiento del agua de acuerdo a los principios de diseño del sistema.
2. La introducción de canales terciarios al sistema de subirrigación mejora la distribución de agua tanto en el sentido horizontal como en el vertical, y representa una alternativa para mejorar la

infraestructura de riego existente en las plantaciones comerciales.

3. De acuerdo a los parámetros tradicionales de evaluación de eficiencia de sistemas de riego por aspersión, los sistemas presentes en las plantaciones comerciales del estado Monagas tienen una eficiencia muy baja, lo cual se atribuye a fallas en el diseño y operación de los mismos.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Fondo para la Investigación en Palma Aceitera (FONINPAL) y a la empresa PALMONAGAS por el apoyo logístico y financiero brindado durante el desarrollo de esta investigación.

## LITERATURA CITADA

- American Society Of Civil Engineers (ASCE). 1978. Describing irrigation efficiency and uniformity. On- farm Irrigation Committee of the Irrigation and Drainage Division of the ASCE. Proceedings of the ASCE 104, IR1: 35-41.
- Barrios, R. y A., Florentino. 2001. Evaluación del patrón de humedecimiento de los suelos subirrigados cultivados con palma aceitera. *Agron. Trop.* Vol. 51(3): 371 – 386.
- Barrios, R. 1998. Evaluación de las propiedades de 2 suelos irrigados cultivados con palma aceitera en el Estado Monagas. Tesis de Maestría. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay, Aragua. 113 p.
- Christiansen, J. 1942. Hydraulics of sprinkling systems of irrigation. *Trans. Am. Soc. Civil Eng.* 107: 221 – 239.
- García, I. y G., Briones. 1997. Sistemas de riego por aspersión y goteo. Trillas. México. p. 11-15.
- González, D. 2000. Evaluación de tres sistemas de riego por aspersión en palma aceitera (*Elaeis guineensis*, Jacq.) en las Agropecuarias “El Zamuro” y “El Águila”, estado Monagas. Trabajo de Grado. Ing. Agrónomo. Universidad de Oriente. Maturín, Monagas. 167 p.

- Granada, J. 2001. Riego en palma de aceite. En Actualización en la producción de palma aceitera. Maturín (Venezuela). Mayo, 2-4. 2001. Lecturas selectas. Maturín. p. 219-224.
- Jourdan, C. y H., Rey. 1997. Architecture and development of the oil palm (*Elaeis guineensis*, Jacq.) root system. Plant and Soil 189: 33-48.
- Lascano, R. y F., Munevar. 2000. Criterios técnicos para la selección de sistemas de riego: Aplicación al cultivo de la palma de aceite en Colombia. Revista Palmas (Colombia) 21, Vol. Especial, tomo 2: 270-279.
- Pérez, R. 1996. Estudio Agrológico Semidetallado Agropecuarias El Zamuro, El Águila y Viboral. PALMONAGAS. Mimeografiado. Maturín, Monagas. 268 pp.
- 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. 93 p.
- Prioux, G.; J., Jacquemard; H. De Franqueville y J., Caliman. 1992. Oil palm irrigation. Initial results obtained by PHCI (Ivory Coast). Oleagineux. 47 (8-9): 497-509.
- Purvis, G. 1956. The root system of the oil palm: its distribution, morphology and anatomy. J. of W. A. I. F. O. R., 4 : 60-82.
- Ruer, P. 1969. Système racinaire du palmier à huile et alimentation hydrique. Oleagineux 6: 327-330