

Distribución de agua en un sistema de microaspersión sobre un ultisol cultivado con Lima Tahití en el estado Monagas, Venezuela

Distribution of the water for a microsprinkler system on an ultisol cultivated with Tahití Lime in the Monagas State, Venezuela.

Francisco Salcedo¹, Renny Barrios^{1*}, Moraima García¹ y Tomás Váldez²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). San Agustín de La Pica, Vía Laguna Grande. Telefax: 0291-6413349. Maturín, Monagas. rbarrios@inia.gov.ve; fsalcedo@inia.gov.ve y ²Finca "Las Piñas de Oritupano C. A.". Oritupano, estado Monagas * Autor para correspondencia

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar el comportamiento de un sistema de microaspersión en la distribución espacial de la lámina de agua aplicada y su distribución sobre el suelo, se realizaron determinaciones en cinco lotes de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) sembrado sobre suelos ultisoles en la zona de Oritupano, Municipio Maturín del estado Monagas. Para captar la lámina de agua aplicada se colocaron 45 pluviómetros a ambos lados de la línea de distribución ubicados dentro del área correspondiente a tres plantas sobre una cuadrícula de 1 m x 1 m. Sobre los mismos puntos se determinó el contenido de humedad *in situ* a una profundidad entre 5 y 10 cm a través de un medidor digital de humedad. Igualmente, se determinó la densidad aparente y la porosidad a través de muestras no alteradas. Se observó un comportamiento diferencial en los lotes evaluados, tanto de la lámina de agua aplicada como de la humedad del suelo, lo cual se atribuyó a pérdidas de carga debidas a fallas de diseño del sistema. El solapamiento entre emisores y la distribución más uniforme del agua aplicada por el sistema de riego se obtuvo en los lotes más cercanos a la fuente de agua, mientras que en los lotes más alejados no se observó solapamiento y se encontraron deficiencias en la distribución del agua en el suelo. No se encontraron diferencias en cuanto a densidad aparente, porosidad y macroporosidad en los lotes evaluados.

Palabras Clave: Uniformidad, lámina de agua, humedad, suelo, densidad aparente, porosidad.

ABSTRACT

With the purpose of evaluate the behaviour of a microsprinkler system in the spatial distribution of the depth of applied water and their space distribution in the soil, determinations in five lots Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka) were carried out field on Ultisol soils in the area of Oritupano, municipality of Maturín, of the Monagas state. To collect the volume of applied water 45 pluviometers at both sides of the distribution pipelines were placed inside the area corresponding to three plants on a grid of 1 m x 1 m. On the same points the content of humidity was determined *in situ* to a depth between 5 and 10 cm with a digital meter of humidity. It was determined the bulk density and the porosity through non altered samples. A differential behaviour was observed in the evaluated lots, so much of the depth of water applied as of the humidity of the soil that which was attributed to head losses of charge due to fails on system design. The overlapping among emitters and the most uniform distribution in the water applied by the microirrigation system was obtained in the nearest lots to the source of water, while in the far away lots overlapping was not observed and they were deficiencies in the distribution of the water in the soil. They were not differences as for apparent density, porosity and macroporosity in the valued lots.

Key Words: Uniformity, water depth, humidity, soil, bulk density, porosity.

INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental de un sistema de riego es garantizar las mejores condiciones de utilización del agua y el óptimo aprovechamiento por parte de la planta, lo cual se logra a través de la aplicación del agua en las cantidades necesarias, de una manera oportuna y homogénea en el suelo, de acuerdo a los requerimientos de la planta.

En los sistemas de microaspersión, el agua es aplicada sobre una superficie limitada del terreno en forma pulverizada y se desplaza en el suelo en función de tres factores fundamentales: a) las propiedades y características del perfil físico del suelo; b) el volumen de agua aplicado y c) el caudal del emisor (Gispert y García, 1994).

Los sistemas de riego presurizados se caracterizan por algún grado de desuniformidad en la

aplicación de agua. Potencialmente, esta falta de uniformidad en la aplicación puede afectar el rendimiento de la cosecha y eficiencia de uso de agua, lo que ha sido demostrado por diferentes investigadores (Warrick y Gardner, 1983; Letey *et al.*, 1984; Montovani *et al.*, 1995; Li, 1998).

La mayoría de los sistemas de riego por aspersión requieren un valor mínimo de uniformidad de distribución de agua de 80% (Keller y Bliesner, 1990). La uniformidad de irrigación por microaspersión normalmente es cuantificada por el coeficiente de uniformidad propuesto por Christiansen (Christiansen, 1942):

$$\text{CUC} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N\bar{x}}\right) \times 100$$

Donde:

CUC = Coeficiente de uniformidad de Christiansen

Xi = Cada uno de las observaciones desde i=1 hasta N

X = Promedio de las observaciones

N = Número de observaciones

Haman *et al* (1997) señalan que los bajos coeficientes de uniformidad en sistemas de microirrigación se deben a numerosos factores, tales como:

- La selección inadecuada de diámetros de tubería de entrega (tubería principal, secundaria y/o laterales).
- La selección inadecuada de emisores para la microirrigación.
- El traslape inadecuado de emisores.
- Los efectos del viento en los emisores.
- Los cambios en los componentes del sistema con tiempo (disminución de eficiencia de la bomba, fallas en la regulación de presión, desgaste de boquillas, entre otros).
- Obstrucción de boquilla del emisor.
- Alteraciones en la presión de operación.

La forma y dimensiones del volumen de suelo húmedo dependen de las propiedades y características del perfil físico del suelo (Gispert y García, 1994) y del volumen de agua aplicado, caudal del emisor, contenido de agua presente en el suelo al inicio de la irrigación y topografía del terreno (Roth, 1974; Goldberg, *et al.*, 1976; Farshi, 1979). A medida que aumenta el caudal del emisor el desplazamiento

horizontal y vertical del frente de humedad crecen de forma más rápida al inicio del riego y de forma más atenuada a medida que aumenta el tiempo de aplicación (Gispert y García, 1999).

Las raíces del cultivo, en un sistema de micro-irrigación, ocupan una disposición tridimensional más o menos densa que, generalmente, coincide con la distribución volumétrica de la humedad generada por un emisor en el suelo (Goode *et al.*, 1978; Levin *et al.*, 1979; Willoughb y Cockroft, 1974), de allí se deriva la importancia que a nivel fisiológico y de nutrición hídrica puede ejercer el volumen húmedo del suelo.

El coeficiente de Uniformidad de Chistiansen (Christiansen, 1942) es un buen indicador para expresar la distribución del agua aplicada por emisores sobre una superficie, pero resulta insuficiente para hacer inferencias acerca de la distribución en el perfil del suelo y para cuantificar la influencia en el rendimiento de la cosecha. En tal sentido, el estudio de la distribución espacial del agua aplicada puede brindar mejores aportes para entender las relaciones suelo – planta en la nutrición hídrica, sobre todo en cultivos permanentes, donde el efecto de las condiciones de estrés se manifiestan de manera posterior al evento (Barrios *et al.*, 2003).

El presente trabajo tuvo como objetivos estudiar la uniformidad de aplicación y la distribución espacial del agua aplicada por un sistema de microaspersión en una plantación de lima Tahití (*Citrus latifolia*, Tanaka), tomando en consideración las características de diseño del sistema de riego y las propiedades físicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó durante la época seca (meses de enero a mayo) del año 2004 en la finca “Las Piñas de Oritupano” ubicada al oeste del estado Monagas en los límites con el estado Anzoátegui, con coordenadas: LN 09°33’23” y LW 63°35’02” y una altitud de 145 m.s.n.m. En esta región el clima está clasificado como Bosque Seco Tropical, con una precipitación promedio de 940 mm anuales y temperaturas promedio de 27° C. Los suelos son Ultisoles, arenosos a franco arenosos, ácidos, de baja fertilidad y con bajos tenores de materia orgánica.

El sistema de microaspersión cubre un área de 110 hectáreas, con una distancia entre laterales de 7 m

y distancia entre emisores de 4 m. El emisor fue un microaspersor Naan 7110 boquilla gris, con una presión de operación de 20 metros columna de agua (mca), lo cual origina una descarga nominal de 40 litros/hora y un diámetro de mojado nominal de 4 m. Para la evaluación del sistema de microaspersión se seleccionaron cinco (5) lotes de riego distribuidos en diferentes áreas a fin de establecer el comportamiento diferencial de los mismos en función de las pérdidas de carga. En general, estos lotes presentaron suelos con condiciones similares, por lo que las diferencias encontradas entre los lotes fueron atribuidos al funcionamiento del sistema de riego. Los lotes considerados fueron los siguientes:

Lote	A8	B7	A6	A2	A2
Hidrante	4	4	4	4	1

Luego de determinar las longitudes y diámetros de tuberías conductoras de agua hasta los hidrantes de las tuberías portaemisores, se calcularon las pérdidas de carga nominales de acuerdo a la fórmula de Darcy-Weisbach (Darcy, 1857) descrita a continuación:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Donde: h_f = Pérdida de carga
 L = Longitud del tramo de tubería
 D = Diámetro del tramo de tubería
 V = Velocidad del flujo
 g = Aceleración de la gravedad

Uniformidad de riego y distribución espacial de la lámina de agua de riego aplicada

La uniformidad del sistema de microaspersión fue calculado a través del coeficiente de Uniformidad de Christiansen (Christiansen, 1942) a partir de la recolección del agua en pluviómetros.

Se seleccionó el área correspondiente a tres (3) plantas de lima (8 x 4 m²) que debería ser cubierta por el sistema de riego. Se utilizaron 45 pluviómetros ubicados en cuadrículas de 1 metro x 1 metro de separación, y enterrados ligeramente sobre la superficie del suelo, de manera que permanecieran en posición vertical. Los emisores se cubrieron antes de la evaluación para evitar entrada de agua a la red de pluviómetros.

Una vez iniciado el período 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 la evaluación y se corrigieron las lecturas según la evaporación medida. Los datos fueron organizados de acuerdo a su distribución espacial en coordenadas este – norte y se procedió a la creación de mapas de contorno a través de programa *Surfer*® (Golden Software Inc., 1994) utilizando el sistema de interpolación de kriging.

Uniformidad de distribución y distribución espacial de la humedad del suelo

La uniformidad de distribución se determinó a través del coeficiente de uniformidad de distribución (DU) desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los EE.UU. a partir del contenido de humedad del suelo, para lo cual se tomaron 45 puntos de muestreo ubicados en cuadrículas de 1 metro x 1 metro, correspondiente al área entre tres (3) plantas de lima (8 x 4 m²) cubierta por el sistema de riego. Se determinó la humedad *in situ* a una profundidad entre 0 y 10 cm, a través de un medidor digital de humedad marca *Aquaterr*® Modelo 200.

Los datos fueron organizados de acuerdo a su distribución espacial en coordenadas este – norte y se procedió a la creación de mapas de contorno a través de programa *Surfer*® (Golden Software Inc., 1994) utilizando el sistema de interpolación de kriging.

Determinación de propiedades físicas del suelo

Dentro del área de evaluación se tomaron 4 muestras por cada lote evaluado, con el fin de determinar en el laboratorio la densidad aparente y la porosidad del suelo a través de muestras inalteradas tomadas con un barreno tipo Uhland, con cilindros alrededor de 100 cm³ de volumen a una profundidad entre 0 y 10 cm. Asimismo, para conocer la porosidad del suelo, las muestras colectadas se saturaron con agua por 24 horas para obtener el espacio poroso total, calculando posteriormente la macroporosidad (poros con diámetros mayores de 30 micras) a través de la aplicación de una succión de 10

Kpa en la mesa de tensión aplicando el método descrito por Pla (1983).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdidas de carga

El cálculo de las pérdidas de carga nominales arrojó valores diferentes para cada uno de los lotes analizados, con un rango de variación entre 23,0 mca y 47,3 mca de pérdida de carga desde el cabezal del sistema hasta el hidrante de distribución. En el cuadro 1 se presenta la distribución de tuberías de acuerdo al diámetro y las pérdidas de carga nominales asociadas, según la longitud y el caudal que fluye a través del tramo de riego.

Las mayores pérdidas de carga correspondieron a los hidrantes del lote A2, los cuales se encuentran más alejados del cabezal de riego. Cabe destacar que los hidrantes de distribución no cuentan con una válvula reguladora de presión para uniformizar la carga en las tuberías portaemisores, por lo cual existe una fuente de variación importante al momento de evaluar el comportamiento de los diferentes lotes en estudio, ya que la descarga de los emisores depende de la presión de operación, siendo más afectados los dos hidrantes mencionados anteriormente. Esta situación refleja fallas en el diseño del sistema de riego de acuerdo a los criterios señalados por Haman *et al.* (1997), ya que las mayores pérdidas de carga se produjeron debido a la gran longitud de la tubería de conducción de 75 mm, donde se produjo una pérdida de casi 20 mca.

Uniformidad de Riego

La uniformidad del sistema de microaspersión se ubicó por debajo de los límites aceptables, según

los parámetros de Keller y Bliesner (1990) para sistemas de aspersión, lo cual es un reflejo de la situación descrita anteriormente. En el cuadro 2 se señala la uniformidad del sistema de microaspersión de acuerdo al coeficiente de Christiansen, evidenciando que en todos los casos los valores estuvieron por debajo de 6%, lo cual refleja una gran desuniformidad en la distribución del agua.

Cuadro 2. Uniformidad del riego en cinco lotes de lima Tahití regados por microaspersión en la finca "Las Piñas de Oritupano". 2004.

Lote	Coficiente de Uniformidad	Uniformidad de Distribución
A8 – H4	5,7	23,4
B7 – H4	4,4	13,2
A6 – H4	5,3	10,6
A2 – H4	3,8	10,7
A2 – H1	4,3	11,4

La uniformidad de distribución del agua en el suelo también se encuentra por debajo de los límites aceptables, pero es ligeramente superior al coeficiente de uniformidad, lo cual se justifica por la redistribución del agua a través del perfil, tanto en el sentido horizontal como en el sentido vertical, por efecto de la acción ejercida por la matriz del suelo y por la gravedad. Diversos trabajos han señalado la influencia de la cobertura vegetal del suelo sobre la redistribución del agua tanto en la superficie como a través del perfil (Hart, 1972; Li and Kawano, 1996; Li and Rao, 2000; Barrios *et al.* 2003).

Cuadro 1. Tuberías de distribución y pérdidas de carga nominales de cinco lotes de lima Tahití regados por microaspersión en la finca "Las Piñas de Oritupano". 2004.

Lote	Hidrante	Tubería 160 mm		Tubería 110 mm		Tubería 90 mm		Tubería 75 mm		Pérdida de carga total (mca)
		Longitud (m)	Pérdida de carga (mca)	Longitud (m)	Pérdida de carga (mca)	Longitud (m)	Pérdida de carga (mca)	Longitud (m)	Pérdida de carga (mca)	
A8	4	40	3,2	0	0	154	2,0	580	17,8	23,0
B7	4	1100	24,5	0	0	0	0	70	2,2	26,7
A6	4	1206	26,7	108	0,6	0	0	200	6,1	33,4
A2	4	1058	23,6	0	0	0	0	640	19,6	43,2
A2	1	1206	26,7	108	0,6	116	0,4	640	19,6	47,3

* Pérdidas de carga calculadas de acuerdo a la fórmula de Darcy – Weisbach

Barrios *et al.* (2003) señalan que existen limitaciones para utilizar las evaluaciones tradicionales de uniformidad de riego en cultivos permanentes y proponen la evaluación de la distribución espacial como una manera de estimar la forma y dimensiones del volumen de suelo humedecido, lo cual puede resultar de mayor utilidad en función de la distribución de raíces del cultivo.

Distribución espacial de la lámina aplicada y de la humedad del suelo

La figura 1 muestra la distribución espacial lámina aplicada y de la humedad del suelo en cada uno de los lotes evaluados. En ellas se evidencia un comportamiento diferencial de la distribución de humedad por parte del sistema de riego, donde los lotes B7 y A8 son las que muestran la mejor distribución, tanto de la lámina de agua aplicada como de la humedad en el suelo, mientras que el lote A2 fue el que mostró el comportamiento más pobre. En el caso de los lotes B7 y A8 se observó la sobreposición entre el agua aplicada por los emisores de 1 a 20 mm entre una planta y otra, mientras que la sobreposición en el contenido de humedad del suelo ocurrió entre 20 y 30%.

Este comportamiento guarda estrecha relación con las pérdidas de carga señaladas anteriormente y ratifican las deficiencias de diseño del sistema de microaspersión. La falta de regulación en las presiones de entradas en las tuberías portaemisores afectó significativamente las descargas de los microaspersores, con lo cual no se cumple con el principio básico de diseño, de una máxima variación permisible de pérdida de carga del 10% en la tubería portaemisores.

En los lotes A6 y A2 no se observó un

solapamiento claro entre el agua aplicada por los emisores, siendo el caso más crítico el correspondiente al hidrante 4 del lote A2 donde no ocurrió ningún solapamiento y el agua fue concentrada en un diámetro inferior a tres metros. Estos resultados corroboran la baja eficiencia del sistema de riego en el aporte de agua a la planta, lo cual implica deficiencias en la nutrición hídrica en las etapas críticas del cultivo.

Propiedades Físicas de Suelos

Las determinaciones de las propiedades físicas del suelo dentro de los diferentes lotes mostraron valores similares y dentro de los rangos aceptables de acuerdo al tipo de suelo (Cuadro 3). Los valores de densidad aparente variaron entre 1,35 y 1,41 Mg/ha, con diferencias atribuidas a ligeras variaciones en la distribución de tamaño de partículas donde los valores más bajos corresponde a los suelos más arcillosos.

En lo referente a la porosidad del suelo, los valores también se ubicaron dentro de rangos normales, lo cual indica que no existen limitantes en el suelo para la distribución del agua de riego y que la forma de distribución del agua en la superficie y en la subsuperficie dependió exclusivamente de las características de aplicación del agua por parte de sistema de microaspersión.

CONCLUSIONES

- Existe un comportamiento diferencial de los lotes de riego dependiendo de su ubicación con respecto al cabezal de riego, observándose grandes variaciones en las pérdidas de carga nominales que resultaron ser el principal factor de desuniformidad del sistema de microaspersión.

Cuadro 3. Propiedades físicas del suelo en cinco lotes de lima Tahití regados por microaspersión en la finca "Las Piñas de Oritupano". 2004.

Lote - Hidrante	Densidad aparente (Mg/ha)	Porosidad total (%)	Macroporosidad (%)
B7 - H4	1,41	52,0	10,7
A8 - H4	1,41	40,0	9,5
A6 - H4	1,40	42,3	11,6
A2 - H4	1,35	45,9	12,4
A2 - H1	1,38	41,0	9,7

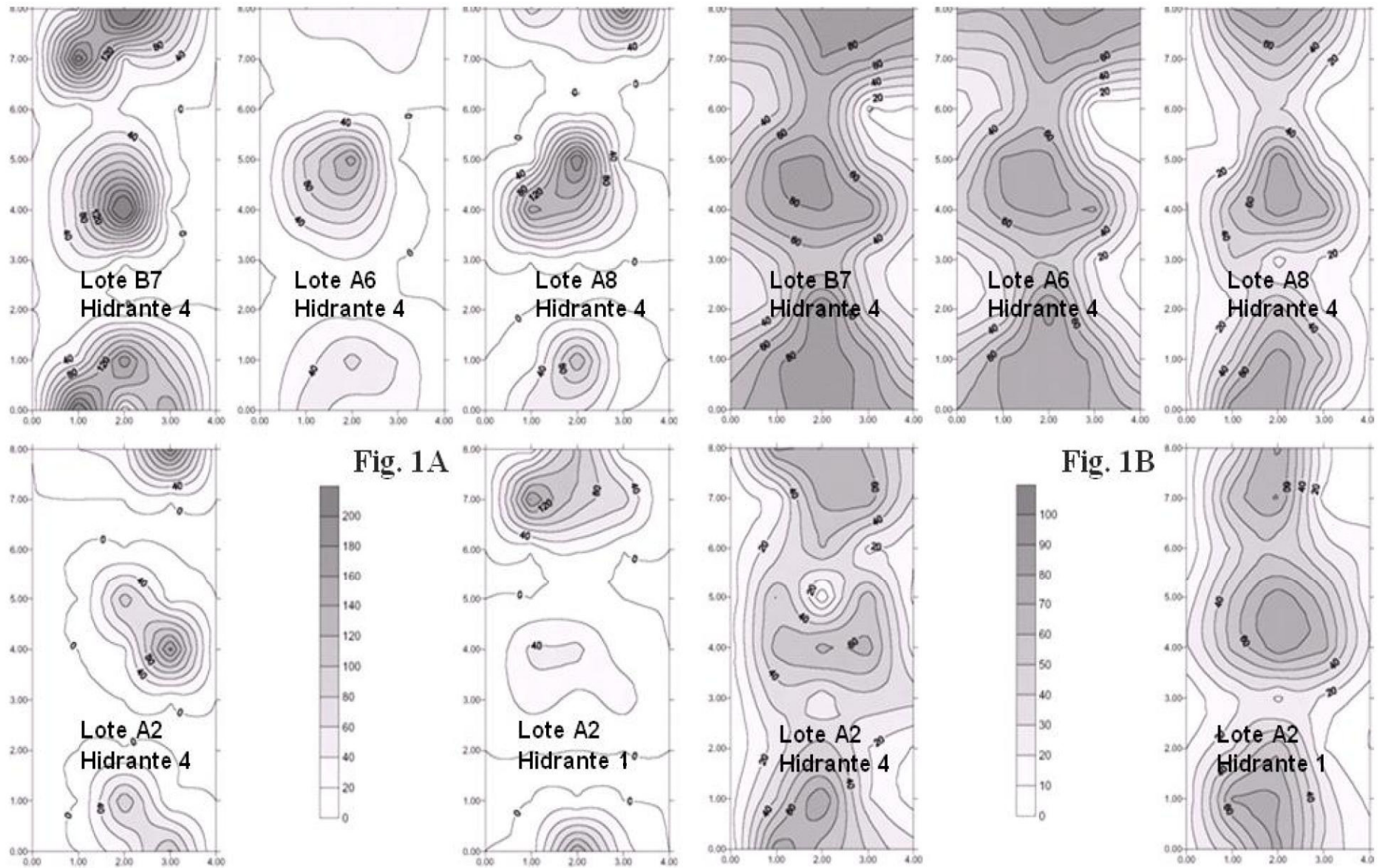


Figura 1. Distribución espacial lámina aplicada (1A) y de la humedad del suelo (1B) en cinco lotes de lima Tahití regados por microaspersión en la finca “Las Piñas de Oritupano”. 2004.

- La uniformidad de aplicación y de distribución del agua de riego estuvo por debajo de los límites aceptables, reflejando una baja eficiencia del sistema de microaspersión, la cual no fue afectada por las propiedades del suelo.
- El estudio de la distribución espacial del agua aplicada por el sistema de riego y de su distribución en el suelo resulta de gran utilidad y de fácil entendimiento en el manejo de sistemas de riego localizado, ya que permite asociar a localización de los emisores, la ubicación de la planta regada y el volumen de suelo humedecido.

LITERATURA CITADA

- Barrios R., A. Arteaga, A. Florentino y G. Amaya. 2003. Evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersión en suelos cultivados con palma aceitera. *Revista UDO Agrícola*. Vol. 3 (1): 39-46.
- Christiansen, J. E. 1942. The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering* 22: 89-92.
- Darcy, H. 1857. *Recherches Experimentales Relatives au Mouvement de L'Eau dans les Tuyaux*. Experimental Research Relating to the Movement of Water in Pipes. 2 volumes, Mallet-Bachelier, Paris. 268 pages and atlas.
- Farshi, A. A. S. 1979. Soil moisture pattern from point source. *Symposium on water Supply and Irrigation*. *Acta Horticulturae*. USA. 89. 33-35.
- Gispert, J. R. y J. A. García. 1994. El volumen húmedo del suelo. Aspectos agronómicos relacionados con la microirrigación (b). *Riegos y Drenajes XXI/77*, 16-28.
- Gispert, J. R. Y J. A. García. 1999. El volumen húmedo del suelo en el riego localizado. Importancia y evaluación. *IV Jornadas de Investigación en la Zona No Saturada*. ICIA.
- Goldberg, D., B. Gornad and D. Rimon. 1976. *Drip Irrigation*. Scientific Publications. Israel. 296 p.
- Golden Software Incorporated. 1994. *SURFER*. Surface Mapping System. Colorado. USA.
- Goode, J. E., K. H. Higgs and K. J. Hyricz. 1978. Trickle irrigation of apple tree and the effects of liquid feeding with NO₃ and K⁺ compared with normal manuring. *J. Hort. Sci.* 53. USA. 307-316.
- Haman, D. Z., A. G. Smajstrla and D. J. Pitts. 1997. Uniformity of Sprinkler and Microirrigation Systems for Nurseries. *Bulletin 321*, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Hart, W. E. 1972. Subsurface distribution of nonuniformly applied surface waters. *Transactions of the ASAE* 15: 656-661, 666.
- Keller, J. and R. D. Bliesner. 1990. *Sprinkle and Trickle Irrigation*. AVI Book. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Letey, J., H. J. Vaux and E. Feinerman. 1984. Optimum crop water application as affected by uniformity of water infiltration. *Agronomy Journal* 76: 435-441.
- Levin, I., R. Assaf and B. Bravdo. 1979. Soil moisture and root distribution in an apple orchard irrigated by tricklers. *Plant and Soil*, 52. USA. 31-40.
- Li, J. 1998. Modelling crop yield as affected by uniformity of sprinkler irrigation system. *Agricultural Water Management* 38: 135-146.
- Li, J. and H. Kawano. 1996. The aerial distribution of soil moisture under sprinkler irrigation. *Agricultural Water Management* 32: 29-36.
- Li, J. and M. Rao. 2000. Sprinkler water distributions as affected by winter wheat canopy. *Irrigation Science* 20: 29-35.
- Montovani, E. C., F. J. Villalobos, F. Orgaz and E. Fereres. 1995. Modeling the effects of sprinkler irrigation uniformity on crop yield. *Agricultural Water Management* 27: 243-257.
- 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.
- Roth, R. L. 1974. Soil moisture distribution and wetting pattern from a point source. *II Internat.*

Drip Irrigation Congress Proceeding. California, USA. 246- 251.

Warrick, A. W. and W. R. Gardner. 1983. Crop yield as affected by spatial variation of soil and irrigation. *Water Resources Research* 19: 181-186.

Willoughb, Y. B. and B. Cockroft. 1974. Change in root patterns of peach trees under trickle irrigation. II International Drip Irrigation Congress Proceeding. California. USA. 439-442.