

EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO Y EFECTO DEL FERTIRRIEGO NITROGENADO EN UN HUERTO DE LECHOSA (*Carica papaya* L.)

Carmen Basso¹, Roberto Villafañe¹, Stalin Torres¹ y José Díaz¹

RESUMEN

En un huerto de lechosa cv. Cartagena Roja se estudió el desempeño del fertirriego nitrogenado y riego sobre el rendimiento del cultivo. Se evaluaron cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada y tres de riego, utilizando cintas de goteo, y se registró la humedad del suelo usando un TDR y mediante gravimetría. La cosecha se inició al final del período lluvioso y se prolongó durante veinte y un semanas del período seco. Se encontró que la descarga de los emisores resultó altamente uniforme en sus distintas modalidades de operación. Los tratamientos de fertilización nitrogenada no se vieron reflejados en el rendimiento de las plantas pero sí en el adelanto de la cosecha en los tratamientos con mayor dosis de fertilizante. Los tratamientos de riego tampoco afectaron los rendimientos, lo cual se atribuyó al efecto de la humedad almacenada en el perfil durante el período húmedo. **Palabras clave adicionales:** Riego localizado, frecuencia de riego, humedad del suelo, TDR, nitrógeno

ABSTRACT

Evaluation of irrigation uniformity and effect of nitrogen fertirrigation in a papaya orchard (*Carica papaya* L.)

Nitrogenous fertilization and watering performance on yield of a papaya orchard cv. Red Cartagena was studied. Four treatments of nitrogenous fertilization and three of watering were evaluated using drip lines. The soil moisture was registered by TDR and gravimetry. The harvest began at the end of the rainy period and it prolonged for twenty one weeks in the dry period. It was found that the emitter discharge was highly uniform in its different operation modalities. The nitrogenous fertilization did not affect the plant yield but permitted earlier maturity of fruits. Similarly, the watering treatments did not affect the yield which was attributed to the effect of the water stored in the soil profile during the rainy period.

Additional key words: Localized irrigation, irrigation frequency, soil moisture, TDR, nitrogen

INTRODUCCIÓN

La eficiencia de aplicación del agua puede ser muy alta en un sistema de riego por goteo si se logran controlar las fuentes de pérdida. Ello es posible cuando el sistema está bien diseñado, operado y mantenido (Bralts et al., 1987). La uniformidad en la descarga de los emisores está asociada a la variabilidad propia entre goteros, su obstrucción, la topografía del terreno y las pérdidas de carga en la red (Nakayama y Bucks, 1986; Lamm y Camp, 2007). La elevación de la uniformidad no sólo permite ahorrar agua, sino que también mejora la fertilización cuando se realiza vía fertirriego y aminora los impactos ambientales asociados con la contaminación de las aguas subterráneas (South, 1994). De allí la importancia de evaluar la uniformidad de manera

periódica en los sistemas; las evaluaciones iniciales son indicativas tanto de la calidad del diseño como de la instalación, y las siguientes lo son de las condiciones de mantenimiento y operación. Este estudio evaluativo se llevó a cabo en un huerto de lechosa con el propósito de conocer el desempeño de un sistema de riego por goteo en la fertirrigación nitrogenada y riego, considerando el efecto en el rendimiento del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, desde mayo 2005 hasta abril 2006, en un suelo en posición geomorfológica de napa de limos de desborde,

Recibido: Julio 18, 2007

Aceptado: Abril 6, 2008

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. e-mail: vr1905@cantv.net

clasificado Fluventic Haplustoll, francosa gruesa, mixta, isohipertérmica (Torres et al., 2006). El sistema de riego, consistente en cintas de goteo colocadas sobre el terreno, fue diseñado para aplicación de 4 tratamientos de fertilización nitrogenada y 3 tratamientos de riego. El sistema permitía además el riego y fertirriego de borduras.

Se utilizó un diseño experimental de bloques divididos, con el factor fertilización en franjas a lo largo de cada bloque y el factor riego en parcelas que dividían las franjas en cada bloque. Cada parcela de riego contenía cuatro unidades experimentales o subparcelas de fertirriego (Figura 1).

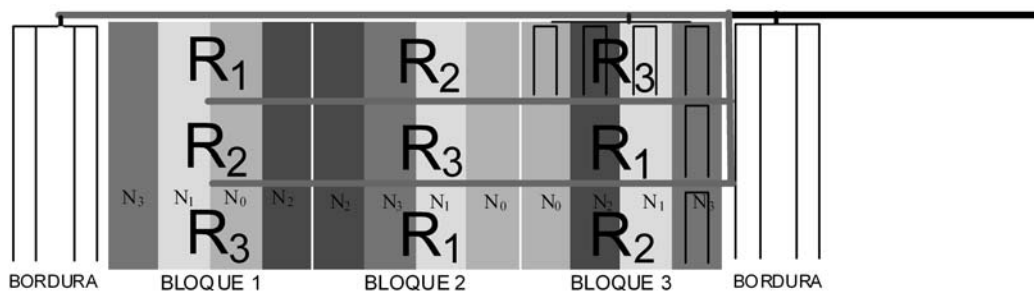


Figura 1. Sistema de riego ilustrando los tratamientos de fertirriego (N) y riego (R)

Para la operación del sistema se instalaron llaves de paso en las parcelas de riego y subparcelas de fertirriego. Cada bordura también tenía una llave de paso. Cuando se aplicaba un tratamiento de riego sólo se abrían las llaves de paso de las parcelas de ese tratamiento, manteniendo abiertas las llaves de las subparcelas de ese tratamiento. Cuando se realizaba fertirriego se abrían las llaves de paso de todas las parcelas de riego, y en cada una de ellas sólo las llaves de paso del tratamiento de fertirriego correspondiente.

Para considerar la configuración topográfica del terreno en el trazado y cálculo hidráulico de la red, el área fue levantada altimétricamente con una cuadrícula de 5 x 5 m. Después del cálculo hidráulico de las tuberías se seleccionaron diámetros superiores a los obtenidos en la condición de operación menos favorable, a fin de reducir al máximo el efecto de las pérdidas de carga en la uniformidad de distribución del agua. La cinta de goteo seleccionada fue la Naan Paz 25, con goteros separados cada 33 cm y descarga de 1,945 L·h⁻¹ para una presión de 0,12 MPa (17 psi). El largo de las cintas de goteo fue 12 m en los tratamientos de riego y fertirriego y 36 m en las borduras del ensayo.

La caracterización del suelo, realizada a partir de muestras compuestas (n = 36) a 0-20 y 20-40 cm de profundidad, indicó que el mismo varía entre franco arenoso y franco limoso. La fertilidad

natural es baja con bajos contenidos de nitrógeno y materia orgánica (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo cultivado con lechosa (*Carica papaya*) cv. Cartagena Roja (media ± SD)

Característica	Profundidad (cm)	
	0-20	20-40
Arcilla (%)	11,1 ± 2,06	10,0 ± 2,6
Arena (%)	43,3 ± 7,26	48,5 ± 9,5
Limo (%)	45,5 ± 6,8	40,7 ± 9,9
CE (dS·m ⁻¹)	0,2 ± 0,03	0,1 ± 0,04
CIC (cmol _c ·kg ⁻¹)	10,6 ± 2,06	9,5 ± 1,8
N total (%)	0,07 ± 0,01	0,05 ± 0,01
P (mg·kg ⁻¹)	94,05 ± 22,6	75,7 ± 14,0
K (mg·kg ⁻¹)	50,1 ± 28,7	38,5 ± 24,4
Ca (mg·kg ⁻¹)	949,7 ± 277,6	844,9 ± 268,9
Mg (mg·kg ⁻¹)	437,6 ± 44,2	447,3 ± 58,6
S (mg·kg ⁻¹)	25,6 ± 3,6	25,6 ± 3,6
MO (%)	1,7 ± 0,2	1,1 ± 0,3
pH	6,4 ± 0,3	6,6 ± 0,4

Determinación de arcilla, arena y limo por Bouyoucos; CE (conductividad eléctrica) en relación suelo agua 1:25; CIC (capacidad de intercambio catiónico), usando cloruro de bario, N total por Kjeldahl modificado, P por método colorimétrico, Ca, K y Mg por lectura directa en espectrofotómetro de absorción atómica, S por turbidimetría, MO (Materia orgánica) por Walkley-Black, pH en relación suelo agua 1:1

En distintos puntos del área experimental se

muestreó el suelo con barreno hasta 1,3 m de profundidad y se detectó un estrato con más arcilla a los 80-95 cm de profundidad.

Se dispusieron plantas de lechosa del cultivar Cartagena Roja en hileras dobles en tresbolillo, dejando callejones entre ellas de 3,5 m de ancho, con separación entre plantas de 2 m, correspondiendo a cada hilera simple una cinta de goteo. Cada subparcela estuvo constituida por 12 plantas, 6 en cada hilera con 4 plantas efectivas, es decir, 8 por unidad experimental.

Los tratamientos de fertilización nitrogenada se formularon a partir de úrea (46 % N) y consistieron en la aplicación de las siguientes dosis de nitrógeno total por planta durante el ensayo: N_0 = sin aplicación; N_1 = 175 g; N_2 = 350 g; N_3 = 525 g.

En todos los tratamientos se aplicaron dosis iguales de fósforo ($102 \text{ g-planta}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ de P_2O_5) y potasio ($327 \text{ g-planta}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ de K_2O) a partir de ácido fosfórico y sulfato de potasio, respectivamente. Todos los fertilizantes se suministraron por la red de riego y de manera fraccionada, cada tres semanas. Estos fertilizantes se aplicaron mezclados en las soluciones madres de nitrógeno. El plan de fertilización nitrogenada se resume en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Plan de fertilización por tratamiento de nitrógeno por planta de lechosa

SDDT	Trat.	Número de aplicaciones	N por aplicación (g)
2 y 5	N_0	2	0,0
	N_1		7,0
	N_2		14,0
	N_3		21,0
8 y 11	N_0	3	0,0
	N_1		8,8
	N_2		17,5
	N_3		26,3
14 a 51	N_0	13	0,0
	N_1		10,5
	N_2		21,0
	N_3		31,5

SDDT: Semanas después del trasplante

Los tratamientos de riego se establecieron cuando se inició la época seca, es decir, 32 semanas después del trasplante (SDDT), correspondiendo con la época de producción del

cultivo (crecimiento y maduración de frutos). En esta época la precipitación fue de sólo 23,8 mm hasta la semana previa a la cosecha. Se utilizó agua subterránea ligeramente ácida ($\text{pH} = 6,27$) y de baja salinidad ($\text{CE} = 0,14 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). En cada riego se aplicó una dosis de 40 litros por planta, la cual en relación a la densidad de plantación utilizada, correspondió a una lámina de riego neta de 7,63 mm.

Las frecuencias de riego fueron las siguientes: R_1 = dos riegos semanales; R_2 = un riego cada 10-11 días y R_3 = un riego cada tres semanas.

A partir de la información de la estación meteorológica del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), ubicada a menos de un kilómetro del área del ensayo, se calculó la evapotranspiración de referencia por el método de la tina tipo A, y luego la evapotranspiración del cultivo (Allen et al., 2006) durante la aplicación de los tratamientos de riego, haciendo uso de los coeficientes reportados por Montenegro et al. (2004) para lechosa.

En todos los tratamientos se realizaron aforos para determinar la uniformidad de la descarga, utilizando el coeficiente de uniformidad de Christiansen y el coeficiente de variación (Warrick, 1983; Barragán et al., 2006). Fueron aforados dos emisores por unidad experimental, uno a 3 m del inicio de una de las dos cintas de goteo y el otro a 9 m de la otra cinta, con el fin de que cada emisor aforado representara similar área (Bralts et al., 1987). Durante los aforos y en el transcurso del ensayo se observaron todas las cintas de goteo en operación para registrar y tratar de corregir emisores obstruidos.

Se llevó un registro de la humedad del suelo superficial con un reflectómetro de dominio temporal (TDR) Spectrum 300, tomando dos mediciones en cada unidad experimental (ocho por parcela de riego) y utilizando varillas de 20 cm de largo, lo cual permitió determinar la uniformidad de la humedad del suelo superficial mediante el coeficiente de Christiansen. Las mediciones fueron realizadas 39, 42, 45 y 48 SDDT, siempre antes de reponer agua en los tratamientos de riego. Cuatro semanas antes de finalizar el experimento (48 SDDT) se tomaron muestras de suelo en cada una de las unidades experimentales para determinar el contenido gravimétrico de humedad a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm y se evaluó el

efecto del riego sobre la humedad en el perfil, considerando como variables respuesta tanto la humedad volumétrica promedio, medida con el TDR, como la humedad gravimétrica obtenida en cada estrato del perfil.

Finalmente, se determinó el rendimiento acumulado en frutos a las 52 SDDT (final del ensayo). Por otra parte, en cada una de las plantas efectivas se determinó el número de semanas transcurridas desde el trasplante hasta el momento de la cosecha del primer fruto para calcular el valor promedio de inicio de cosecha. Como momento de cosecha se consideró una incipiente coloración amarilla observada en el epicarpio del fruto. Los resultados fueron evaluados mediante análisis de varianza y separación de medias según la prueba de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uniformidad de descarga en la red

Los valores de coeficiente de uniformidad (CU) y coeficiente de variación (CV) se muestran en el Cuadro 3. La uniformidad de descarga de los emisores resultó alta a decir por los valores elevados del CU ($> 0,85$) y bajos del CV ($< 0,15$) en cada tratamiento de riego y fertirriego. Esto permite inferir que la topografía, las variaciones propias entre emisores por manufactura y las pérdidas de carga en la red no afectaron de manera significativa la uniformidad de descarga. Por otra parte, de acuerdo con las observaciones realizadas al sistema de riego en cada operación, no ocurrió obstrucción de emisores durante el ensayo.

Cuadro 3. Uniformidad de descarga de los emisores en el sistema de riego y fertirriego

Modalidad de operación	Tratamiento	Número de emisores aforados	CU	CV
Fertirriego	N ₀ N ₁ N ₂ N ₃	18	$>0,986$	$<0,018$
Riego	R ₁ R ₂ R ₃	24	$>0,983$	$<0,019$
Riego y fertirriego de borduras	-	16	$>0,982$	$<0,024$

CU = coeficiente de uniformidad de Christiansen (el valor máximo es igual a 1); CV = coeficiente de variación

Efectos de la fertilización y el riego sobre la cosecha de frutos

La cosecha se adelantó significativamente en los tratamientos N₂ y N₃ respecto de N₀ ($P \leq 0,05$), es decir, con las mayores dosis del fertilizante los frutos requirieron menor tiempo para

alcanzar su maduración (Cuadro 4). Similarmente, se observó una tendencia al aumento del rendimiento del cultivo a medida que incrementaron las dosis del fertilizante nitrogenado aunque las diferencias no alcanzaron significancia estadística ($P > 0,05$).

Cuadro 4. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el tiempo transcurrido para el inicio de la cosecha y el rendimiento acumulado de frutos en lechosa cv. Cartagena Roja

Cosecha	Dosis de N			
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃
Tiempo transcurrido (SDDT)	41,1 a	38,6 ab	36,8 b	36,9 b
Rendimiento (kg·planta ⁻¹)	14,01	18,82	18,29	21,16

Medias seguidas de distintas letras, dentro de cada fila, son diferentes según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

Por su parte, el riego no mostró efecto sobre el rendimiento en frutos ($P > 0,05$), aun cuando su aplicación resultó altamente uniforme (Cuadro 5). La evapotranspiración calculada para el cultivo (según procedimiento señalado previamente) varió entre 15,80 y 33,71 con promedio de 25,08 mm semanales, lo que indica que los coeficientes de riego de este ensayo fueron 0,61; 0,20 y 0,10 para R₁, R₂ y R₃, respectivamente. En consecuencia, los tratamientos menos regados (con bajos coeficientes) muy probablemente no habrían

recibido suficiente agua para compensar las pérdidas por evapotranspiración. Sin embargo, no hubo diferencias entre los tratamientos de riego lo cual parece indicar que las plantas pudieron haber obtenido agua del suelo, aparte de la aplicada mediante el riego, es decir, habrían repuesto parte de sus necesidades con el agua almacenada en el suelo durante el período lluvioso previo. La presencia del estrato con más arcilla a los 80-95 cm de profundidad, previamente señalado, probablemente permitió mayor retención de agua

por encima de ese estrato y habría favorecido la obtención del líquido por las raíces del cultivo.

Cuadro 5. Efecto del riego sobre el rendimiento acumulado de frutos en lechosa cv. Cartagena Roja

Tratamiento de riego	Rendimiento (kg·planta ⁻¹)
R ₁	18,16 a
R ₂	17,71 a
R ₃	18,41 a

Medias seguidas de distintas letras son diferentes según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

Efectos del riego sobre la humedad del suelo

La humedad registrada en el primer estrato guardó relación con los tratamientos de riego (Cuadro 6), mostrando diferencias entre ellos ($P \leq 0,05$), pero no así la humedad registrada en el resto del perfil, lo que indica que los riegos aplicados en los distintos tratamientos sólo afectaron la humedad en el suelo superficial.

En el segundo estrato (20-40 cm) se observó una tendencia de disminución de la humedad hacia los tratamientos menos regados pero sin diferencias estadísticas ($P > 0,05$) entre ellos.

Cuadro 6. Humedad del suelo en los tratamientos de riego por estrato de suelo cuatro semanas antes de la cosecha (48 SDDT)

Estrato	Método de medición	Tratamiento de riego		
		R ₁	R ₂	R ₃
0-20 cm	TDR (% en volumen)	22,08 a	19,25 a	13,92 b
0-20 cm		11,64 a	8,37 ab	7,35 b
20-40 cm	Gravimétrico	8,59 a	8,13 a	7,53 a
40-60 cm	(% en peso)	8,74 a	7,14 a	8,05 a
60-80 cm		9,28 a	7,96 a	8,12 a

Medias seguidas de distintas letras, dentro de cada hilera, son diferentes según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

El Cuadro 7 muestra el comportamiento de la uniformidad de la humedad en el suelo superficial antes de aplicar agua a los tratamientos de riego. Los valores de CU resultaron en general menores a los de uniformidad de aplicación del sistema. Esto es atribuible a la redistribución del agua en el suelo superficial como consecuencia de la

presencia de grietas y micro-depresiones del terreno, el sellado y la propia variabilidad espacial del suelo (Moreno, 2007). De hecho, los menores valores se encontraron en R₃ donde los riegos poco frecuentes ocasionaban mayor secado del suelo, condición que aumentó la posibilidad de formación de pequeñas grietas superficiales.

Cuadro 7. Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) en la humedad en cada tratamiento de riego, registrada mediante TDR en los primeros 20 cm de suelo

Momento de la medición (SDDT)	Tratamiento de riego		
	R ₁	R ₂	R ₃
39	0,822	0,850	0,631
42	0,793	0,828	0,734
45	0,765	0,681	0,767
48	0,799	0,746	0,701

CU = el valor máximo es igual a 1

CONCLUSIONES

El sistema resultó altamente uniforme dentro de cada tratamiento de fertirriego y riego, lo que indica que la variación entre emisores por manufactura y por los otros factores que pueden influir en la uniformidad de descarga no afectó la

similitud de aplicación del agua en el sistema, aunque no garantizó la uniformidad en el almacenamiento del agua en el suelo.

La fertilización nitrogenada no favoreció el rendimiento en frutos pero permitió el adelanto de la cosecha en los tratamientos con mayor dosis de fertilización. Por su parte, no se detectó efecto de

los tratamientos de riego sobre el rendimiento del cultivo.

mameiro para a região litorânea do Cerá. Eng. Agríc., Jaboticabal 24: 464-472.

AGRADECIMIENTO

Al FONACIT por el financiamiento otorgado según proyecto UCV S1-2002000339.

LITERATURA CITADA

1. Allen, R., L. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma, Italia. 298 p.
2. Barragán, J., V. Bralts e I. Wu. 2006. Assessment of emission uniformity for micro-irrigation design. *Boisystems Engineering* 93: 89-97.
3. Bralts, V., D. Edwards e I. Wu. 1987. Drip irrigation design and evaluation based on statistical uniformity concept. *Adv. in Agron.* 4:67-117.
4. Lamm, F. y C. Camp. 2007. Subsurface drip irrigation. In: *Developments in Agricultural Engineering*. Cap. 13. Volume 13. Pages 473-551.
5. Montenegro, A., F. Becerra y R. Lima. 2004. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do mameiro para a região litorânea do Cerá. Eng. Agríc., Jaboticabal 24: 464-472.
6. Moreno, M. 2007. Evaluación de la distribución espacial y temporal de la humedad en un suelo cultivado con lechosa bajo riego por goteo y su relación con las propiedades físicas de los horizontes del perfil. Tesis. Postgrado en Ingeniería Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 52 p.
7. Nakayama, F. y D. Bucks. 1986. *Trickle irrigation for crop production-Design operation and management*. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam. 383 p.
8. South, D. 1994. Managing pesticides and nitrogen in southern pine nurseries and some ways to reduce the potential for groundwater contamination. *Ala. Agr. Exp. Sta. Forestry School Series No. 14*. 18 p.
9. Torres, S., L. Madero y C. Perdomo. 2006. Colección de suelos de Referencia del Centro de información y Referencia de Suelos del Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 120 p.
10. Warrick, A. 1983. Interrelationships of irrigation uniformity terms. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 109: 317-332.