

Efecto del déficit hídrico en el crecimiento y desarrollo de frutos de naranja Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) en el piedemonte del Meta, Colombia

Influence of water deficit on growth and development of fruits valencia orange (*Citrus sinensis* Osbeck) in the piedmont of Meta department, Colombia

Diana Lucía Garzón Correa¹, Javier Enrique Vélez-Sánchez^{1*}, y
Javier Orlando Orduz Rodríguez²

¹Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Ciudad Universitaria. Bogotá. Colombia.

²Centro de Investigación La Libertad, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Villavicencio (Colombia).

*Autor para correspondencia: jevelezs@unal.edu.co

Rec.: 05.12.12 Acep.: 21.08.13

Resumen

En Colombia el área sembrada con cítricos es marginal, si se compara con el área potencial de cultivo, debido a factores como déficit de agua, nutrición y eficiencia de la formación de frutos. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del déficit hídrico mediante la aplicación controlada de láminas de riego en el cultivo de naranja Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) en el piedemonte del Meta (departamento del Meta, Colombia). Los tratamientos (T) de riego fueron: T1 = 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc); T2 = 50% ETc; T3 = testigo = 0% ETc. El riego se aplicó desde el inicio de la floración en febrero hasta la formación del fruto en abril de 2011. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: humedad del suelo (θ_g), estado hídrico de la planta (Ψ_{tallo}), fenología, brotación, floración, formación, crecimiento y calidad del fruto. Los árboles en el T1 presentaron un mayor número y tamaño de fruto, pero no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en producción y calidad respecto al testigo; la θ_g y el Ψ_{tallo} fueron diferentes ($P < 0.05$) entre tratamientos y el testigo mostró los menores valores, 13.82% y -2.5 MPa, lo cual indica un estrés moderado.

Palabras clave: *Citrus sinensis* Osbeck, déficit de humedad en el suelo, fruto, Meta - Colombia producción vegetal.

Abstract

In Colombia the area planted with citrus is marginal when compared to the potential area for cultivation, due to factors such as water deficit, nutrition and efficiency of fruit formation.

The aim of this study was to evaluate the effect of water deficit by controlled application of water through soil profile in orange crop var. Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) in the foothills Meta department, Colombia. The irrigation treatments (T) were: T1 = 100% of crop evapotranspiration (ETc); T2 = 50% ETc; T3 = control = 0% ETc. Irrigation was applied from the beginning of flowering in February to fruit formation in April 2011. The experimental design was randomized complete blocks with three replicates per treatment. The variables evaluated were: soil moisture (θ_g), plant water status (Ψ_{tallo}), phenology, budding, flowering, formation, growth and fruit quality. The trees in the T1 had a higher number and size of fruit, but found no differences ($P > 0.05$) in yield and quality compared to the control, the θ_g and

Ψ tallo were different ($P < 0.05$) between treatments and the control showed reduced values 13.82% and -2.5 MPa, indicating moderate stress.

Key words: *Citrus sinensis* Osbeck, fruit, Meta - Colombia plant production, soil water deficit .

Introducción

En Colombia existen 62,409 ha cultivadas con cítricos, de las cuales 51,665 ha están en monocultivo y 10,743 ha en cultivos asociados; de ellas, la naranja ocupa 36,943 ha (59.2% del total) con una producción de 474,313 t y un rendimiento aproximado de 15 t/ha (ENA, 2010). Esta fruta se cultiva en zonas con diversas condiciones de clima, entre ellas el piedemonte del departamento del Meta donde abunda la variedad Valencia. Esta zona tiene algunas ventajas comparativas para la siembra comercial de cítricos, asociadas con el clima, el suelo y la ubicación cerca al principal centro de consumo del país. Los suelos son en un alto porcentaje de clase IV (265,000 ha) óptimos para este cultivo (Roman y Owen, 1991), bien drenados, ligeramente ácidos, con bajo contenido de materia orgánica, baja saturación de bases y saturación media de aluminio. En 2006 existían en la zona 4500 ha sembradas con cítricos, de las cuales 60% eran naranja, 20% mandarinas, 15% limas ácidas y 5% tangelo (Orduz *et al.*, 2009).

En condiciones tropicales, el principal factor inductor de la floración en cítricos es el estrés hídrico, ya que regula la época, la intensidad y la distribución de la floración (Cassin *et al.*, 1969; Reuther, 1973; Davenport, 1990). La floración, brotación y formación de frutos son los cambios más significativos en la fenología de los frutales, siendo éstas las etapas más críticas y sensibles a condiciones ambientales como la sequía, el exceso de humedad y las temperaturas extremas (Aubert y Lossois, 1972). Con el déficit hídrico cesa el crecimiento de los tallos y del sistema radical; además, dependiendo de la intensidad del estrés, se puede presentar marchitez de la hoja, disminución de la conductancia estomática, asimilación neta de CO_2 y conductividad radical (Davies y Albrigo, 1994). Durante este período, las yemas vegetativas desarrollan la capacidad para florecer y en el proceso de inducción se incluyen los eventos desde la transición del crecimiento vegetativo hasta

la producción de inflorescencias (Davenport, 1990).

El piedemonte del departamento del Meta (Colombia) presenta un régimen pluviométrico monomodal, en el cual la temporada de lluvias comprende desde marzo hasta noviembre y la época seca desde diciembre hasta finales de febrero con un alto déficit hídrico. La floración de los cítricos se inicia con las primeras lluvias de marzo. En estas condiciones la mandarina Arrayana presenta la principal floración después de un periodo de estrés hídrico de 90 días y un déficit acumulado de 247 mm (Orduz y Fisher, 2007).

El objetivo de la aplicación del riego en los cítricos es mantener el cultivo estabilizado para lograr mayores rendimientos y mejorar la calidad del fruto, así como minimizar los efectos negativos ocasionados por el estrés hídrico. Del total del área nacional cultivada con cítricos, 42.8% es tecnificada con un rendimiento máximo de 40 t/ha y el 57.2% restante corresponde a cultivo tradicional con un rendimiento de 15 t/ha. En los departamentos de Risaralda, Caldas, Quindío, Valle y el suroccidente de Antioquia se encuentra la mayor área tecnificada (MADR, 2010).

El agua presente y disponible en el suelo determina el estrés hídrico de la planta. Kramer (1989) encontró una relación directa entre los valores de potencial hídrico en las hojas (Ψ tallo) y el contenido de humedad volumétrica del suelo (θ_v); así, un descenso a largo plazo del potencial de la planta está influenciado por las condiciones hídricas del suelo. Lugo *et al.* (1996) encontraron valores mínimos de potencial de -2.42 MPa, equivalente a estrés moderado (Syvertsen, 1982; Southwick y Davenport, 1987). En varias especies de frutales se ha evaluado la intensidad del estrés midiendo el potencial hídrico en las hojas con la técnica desarrollada por Scholander *et al.* (1965), la cual presenta diferencias de acuerdo con el momento del día en que se realice la lectura, ya que ésta depende del déficit de presión de vapor (DPV). El ob-

jetivo del presente estudio fue determinar la intensidad del déficit hídrico y su efecto en el crecimiento y desarrollo del fruto de naranja Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) mediante la aplicación de láminas de riego en cultivos del departamento del Meta, Colombia.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en 2011 en el Centro de Investigación La Libertad de Corpoica, Villavicencio (departamento del Meta, Colombia), a 4° 03' N y 73° 29' O, a 336 m.s.n.m., en un cultivo de naranja variedad Valencia de 12 años de edad, injertado sobre mandarino Cleopatra, plantados a una distancia de 8 x 6 m en un área aproximada de 1 ha. El suelo corresponde a terraza alta (clase IV) considerado como óptimo para cultivo de cítricos del piedemonte del Meta, la topografía es plana, la pendiente varía entre 1% y 3%, la textura es franco arcillo-arenosa y los niveles de materia orgánica varían entre 2.5% y 3%. La densidad aparente promedio es de 1.49 g/cm³, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente son 27% y 12%, respectivamente, el pH es de 4.4, la saturación de aluminio de 71%, con buen drenaje interno y externo y buena profundidad efectiva.

Para calcular el balance hídrico se tuvo en cuenta la precipitación promedio mensual, la precipitación efectiva, la evaporación, la evapotranspiración y el coeficiente K_c del cultivo. Los datos climáticos se obtuvieron de la estación meteorológica del IDEAM ubicada en el centro de investigación La Libertad y la determinación de la lámina de riego se hizo con base en la evapotranspiración del cultivo (ET_c) calculada con la ecuación siguiente (FAO, 2006).

$$ET_c = ET_o \times k_c$$

donde, ET_c es evapotranspiración del cultivo, ET_o es evapotranspiración potencial de referencia, K_c es coeficiente del cultivo 0.75 para meses de lluvia y 0.80 para meses secos (FAO, 2006).

Los tratamientos (T) fueron: T1: riego con 100% ET_c ; T2 = riego con 50% ET_c ; T3 = testigo sin riego 0% ET_c . El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento y dos unidades

de muestreo por repetición, con un total de 18 árboles. El riego se aplicó en forma manual en cada árbol durante la fase floración-formación del fruto en un período de 56 días (18 de febrero - 15 de abril).

Estado hídrico en el suelo y en la planta

El contenido de humedad del suelo (θ_g) se determinó gravimétricamente después de cada aplicación de riego, para lo cual se tomaron nueve muestras alteradas a 10, 20 y 30 cm de profundidad, en un árbol representativo por tratamiento.

Para medir el estado hídrico de la planta se utilizó la cámara de presión (Soil Moisture Equipment mod. 3000, EE.UU.). Se midieron los potenciales al tallo (Ψ_{tallo}) en horas del medio día, en dos hojas cubiertas 1 h antes con bolsas de plástico de cierre hermético y recubiertas de papel aluminio, en seis árboles por tratamiento. Las mediciones se hicieron semanalmente durante la aplicación de riego.

Evaluación del comportamiento fenológico del cultivo

Para evaluar la influencia del riego en el comportamiento fenológico se realizaron mediciones basadas en la escala BBCH (Agustí *et al.*, 1995), la cual presenta específicamente cada estadio fenológico, tanto vegetativo como reproductivo, y permite evaluar cuantitativamente la respuesta al riego en cada planta. Para observar los nuevos estadios se seleccionaron cinco ramas por punto cardinal (20 ramas por árbol) en tres árboles por tratamiento.

Crecimiento del fruto

En mayo de 2011 se seleccionaron y marcaron cinco frutos por punto cardinal en tres árboles por tratamiento (180 frutos total) para medir el diámetro ecuatorial y la altura del fruto cada 15 días hasta la cosecha (diciembre del 2011). Las mediciones se realizaron con un calibrador electrónico digital con precisión de 0.01mm. Las gráficas de crecimiento del fruto se ajustaron mediante las ecuaciones logísticas siguientes:

$$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$$

donde, y es la variable de respuesta en función de x (tiempo en días); a es el máximo valor que puede tomar y , cuando x tiende a infinito; be^{-cx} un factor de amortiguamiento, donde b es un factor de amplitud, e es el número Euler y c es un factor de estabilidad.

Medición de la producción

Se midió contando y pesando la producción de cada árbol. Los análisis de calidad de la fruta, azúcares solubles totales °brix, acidez titulable, nivel de pH e índice de madurez se hicieron en muestras de cinco frutos por árbol, en tres árboles por tratamiento 2 meses antes de la cosecha (2-11-2011). Los análisis de crecimiento se hicieron en el momento de la cosecha en 180 frutos. El índice de madurez (IM) se definió como el cociente entre la cantidad de azúcares totales (°brix) y el porcentaje de ácido cítrico (%A).

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante coeficiente de variación, error estándar y las pruebas de Tukey y rango múltiple de Duncan ($P < 0.05$) utilizando el software SAS 9.2 (SAS Institute Inc., 1994).

Resultados y discusión

Balance hídrico

Entre enero y febrero de 2011 ocurrió déficit hídrico, pero con el comienzo de las lluvias

se presentó exceso de humedad. La precipitación menor (24.1 mm) ocurrió en enero y la mayor (440.4 mm) en abril (Figura 1), un comportamiento diferente al normal en esta zona caracterizada por 3 meses de déficit hídrico. Por otra parte, la precipitación previa en diciembre de 2010 (422.4 mm) fue una de las más altas registradas en los últimos 30 años, ya que el promedio para este mes es normalmente de 98 mm.

El riego se aplicó el 17.02.2011 y coincidió con la aparición de los primeros brotes después de una precipitación extemporánea hasta el inicio de las lluvias, en abril. Los volúmenes de agua aplicados semanalmente variaron entre 763 y 298 lt/semana, equivalentes a 223.5 y 111.8 mm para los tratamientos T1 y T2. Durante este período la lluvia contribuyó con 175.3 mm. En el Cuadro 1 se presenta la cantidad de agua aplicada, equivalente a una lámina diaria de 3.92 y 1.96 mm en los tratamientos T1 y T2 siendo la precipitación de 3.08 mm, lo que coincide con las láminas de agua propuestas en el experimento. Las reducciones de riego representaron un ahorro anual de 111.7 mm, equivalente a un ahorro relativo de 50%.

Relaciones hídricas

Como era de esperar, la humedad gravimétrica (θ_g) presentó diferencias ($P < 0.05$) entre el tratamiento T1 y el testigo con los valores más bajos (13.82%) durante los días de déficit

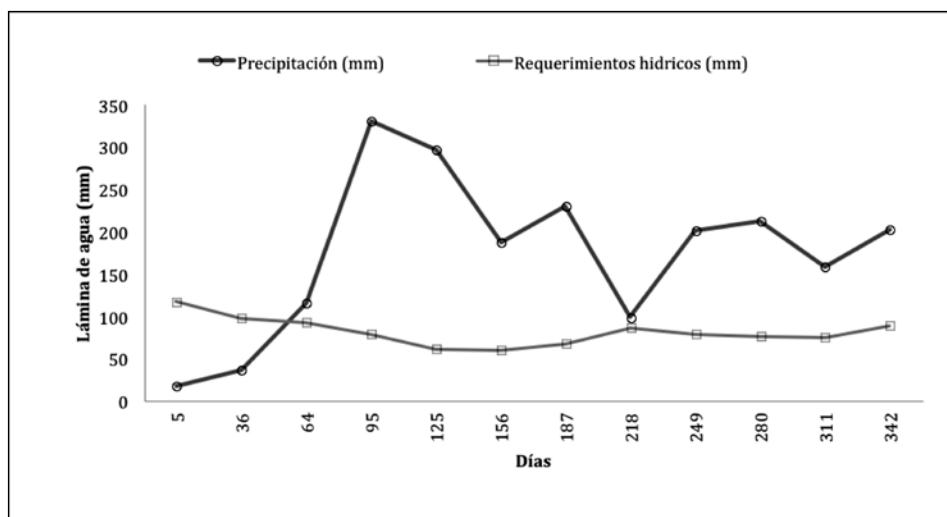


Figura 1. Balance hídrico del cultivo de naranja Valencia y volúmenes de agua aplicados. C.I. La Libertad. 2011. Departamento del Meta, Colombia

Cuadro 1. Precipitación (P), agua aplicada en los tratamientos T1 y T2 y evapotranspiración del cultivo (ETc) de naranja variedad Valencia. departamento del Meta, Colombia.

Período	P (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)	ETc (mm)
18-21 febrero	4.2	17.5	8.7	21.7
22-25 febrero	0.8	17.5	8.7	18.3
26-01 febrero-marzo	13.0	17.5	8.7	30.5
02-06 marzo	2.0	20.0	10.0	22.0
07-10 marzo	9.0	16.0	8.0	25.0
11-14 marzo	3.0	16.0	8.0	19.0
15-18 marzo	1.2	16.0	8.0	17.0
19-22 marzo	34.0	16.0	8.0	50.0
23-26 marzo	41.7	16.0	8.0	56.0
27-31 marzo	0.0	20.0	10.0	20.0
01-04 abril	0.0	13.6	6.8	14.0
05-09 abril	32.0	17.0	8.5	47.0
10-15 abril	34.4	20.5	10.2	55.0
Total	175.3	223.5	111.8	395.5

hidrico. En los tratamientos T1 y T2 el valor promedio de θ_g fue de 22.21% y 20.52% respectivamente, alcanzando los valores máximos el día 88 (25.98% y 22.76%), cercanos a la máxima capacidad de almacenamiento (27%) y similares al contenido de humedad encontrado por Vélez *et al.* (2007). Los árboles de naranja en el tratamiento testigo agotaron, en promedio, el 64% de la reserva de agua en el suelo, aunque ésta se recuperó con las lluvias.

El valor θ_g no varió entre T1 y T2 en las tres profundidades de suelo estudiadas, pero sí para el testigo a profundidades de 20 y 30 cm debido a que en esta última profundidad el contenido de arena es más alto, lo que permite una mayor infiltración (Cuadro 2). Después del día 90, cuando la precipitación fue de 79 mm, la humedad en el suelo para los tres tratamientos no mostró diferencias ($P > 0.05$) (Figura 2).

El valor Ψ_{tallo} para el tratamiento T1 varió entre -0.51 y -1.61 MPa, valores que son similares a los sugeridos por García *et al.* (2010) para árboles bien hidratados de naranjas variedad Navelina. Con la presencia del déficit hídrico, como era de esperar, el Ψ_{tallo} tendió a disminuir en el tratamiento testigo. El menor valor, -2.5 MPa, se presentó el día 76 (17-03-2011) cuando se registró la mayor temperatura (33.2°) y la menor humedad relativa (72.5%), lo que ocasionó diferencias ($P < 0.05$) entre los tratamientos. Los días 82 (23-03-2011) y 96 (06-04-2011) se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre el testigo y los tratamientos T1 y T2 (Figura 3).

El mayor valor Ψ_{tallo} se observó en el T1, lo que evidencia la influencia de la cantidad de agua aplicada para cada tratamiento y la precipitación, ya que en los días 68, 84 y 104, cuando ocurrieron precipitaciones de 8.5, 34.6,

Cuadro 2. Valores de humedad del suelo $-\theta_g$ en el día 84 y coeficientes de variación (CV) para cada tratamiento y profundidad. Departamento del Meta, Colombia.

Tratamiento (profundidad, cm)	T1 (θ_g %)	CV	T2 (θ_g %)	CV	Testigo (θ_g %)	CV
10	21.91a	4.77	19.86a	3.95	18.14 a*	5.32
20	20.66a	3.95	19.68a	1.95	16.93 b	3.56
30	22.08a	5.08	20.77a	3.80	16.5 b	3.53

*Valores en la misma columna con letras iguales, no difieren en forma significativa, según la prueba de Duncan ($P > 0.05$).

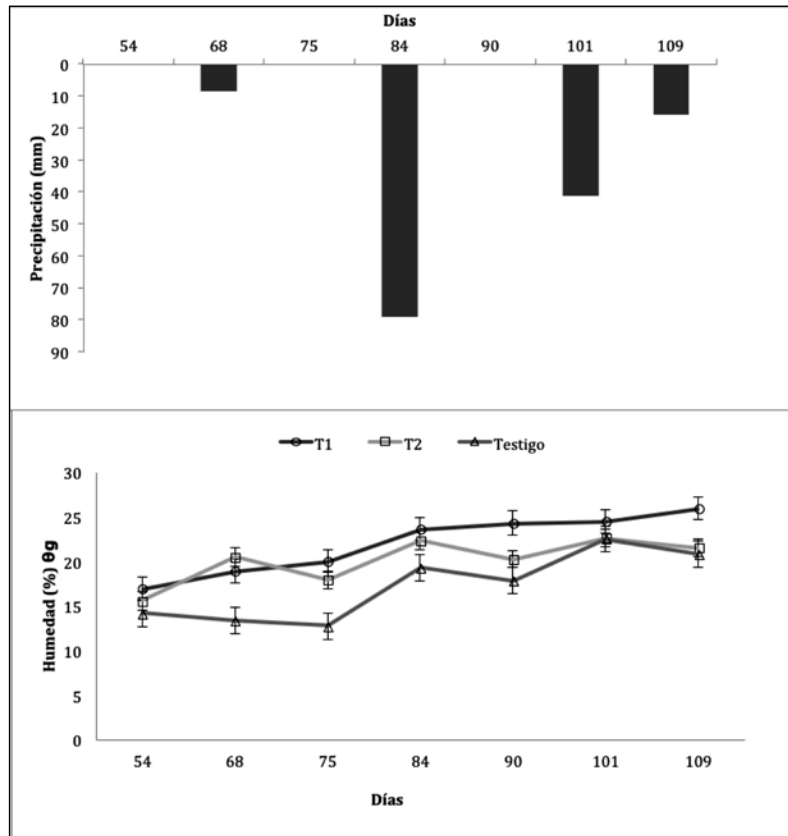


Figura 2. Precipitación y humedad del suelo ($\theta_g\%$), a 0.3 m de profundidad. Departamento del Meta, Colombia

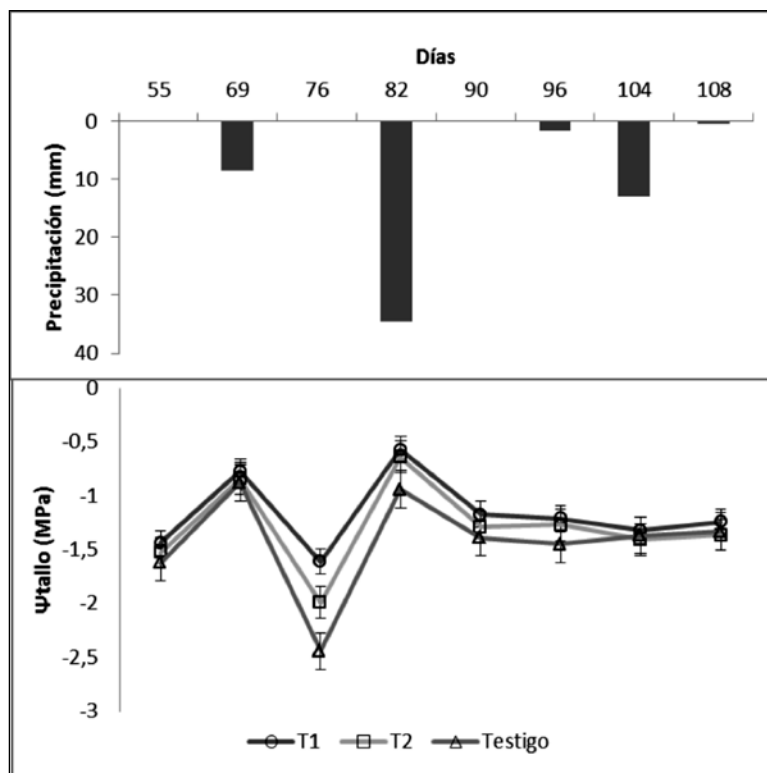


Figura 3. Cambios en el estado hidrico del tallo (Ψ_{tallo}) y precipitación en el sitio de estudio. Departamento del Meta, Colombia.

y 13 mm, respectivamente, los valores de Ψ_{tallo} prácticamente fueron iguales, mostrando la rápida rehidratación de los árboles después de la lluvia, aunque conservaron la diferencia en relación con el testigo. Dell'Amico *et al.* (2011) en el sureste de España, trabajando con plantas de mandarina cv. Fortune sometidas a un ciclo de sequía durante la fase de rápido crecimiento del fruto, hasta alcanzar un valor Ψ_{tallo} de -2,5 MPa al medio día, encontraron resultados similares a los del presente estudio, siendo este indicador donde primero se detectaron diferencias a favor de las plantas bien regadas.

Fenología de las plantas

La floración se inició entre el día 62 y 69, dos semanas después de una precipitación de 26 mm ocurrida el 17-02-2011, seguido por un periodo seco de 4 semanas, lo que

permitió una rápida respuesta de las plantas a la aplicación de agua, dando comienzo a la aparición de brotes vegetativos y a la floración (Cuadro 3). La aplicación de riego favoreció un mayor número de frutos en formación en los árboles (entre paréntesis) en los tratamientos T1 (114) y T2 (97) en comparación con el testigo (41), en el cual el estrés moderado incrementó la abscisión y provocó la caída de los frutos en comparación con los tratamientos T1 y T2 ($P < 0.05$) (Figura 4).

El desarrollo vegetativo de las plantas no fue diferente ($P > 0.05$) entre tratamientos. Davies y Albrigo (1994) señalan que en condiciones tropicales, donde se presentan ciclos de sequía, el riego puede mejorar los rendimientos incluso en regiones de altas precipitaciones. Un déficit hídrico afecta negativamente el crecimiento vegetativo (Quiño-

Cuadro 3. Prueba de rango múltiple de Duncan para las medias del número de observaciones de veinte ramas por árbol en seis árboles por tratamiento. Departamento del Meta, Colombia.

Tratamiento	Botón verde	Botón blanco	Flor abierta	Frutos pequeños
Testigo 1	388.67a	311a	280.67a	114 a*
Testigo 2	379.00a	320.7a	264.67a	97 a
Testigo 3	385.33a	316a	294.00a	41 b

*Valores en la misma columna con letras iguales, no difieren en forma significativa según la prueba de Duncan ($P > 0.05$).

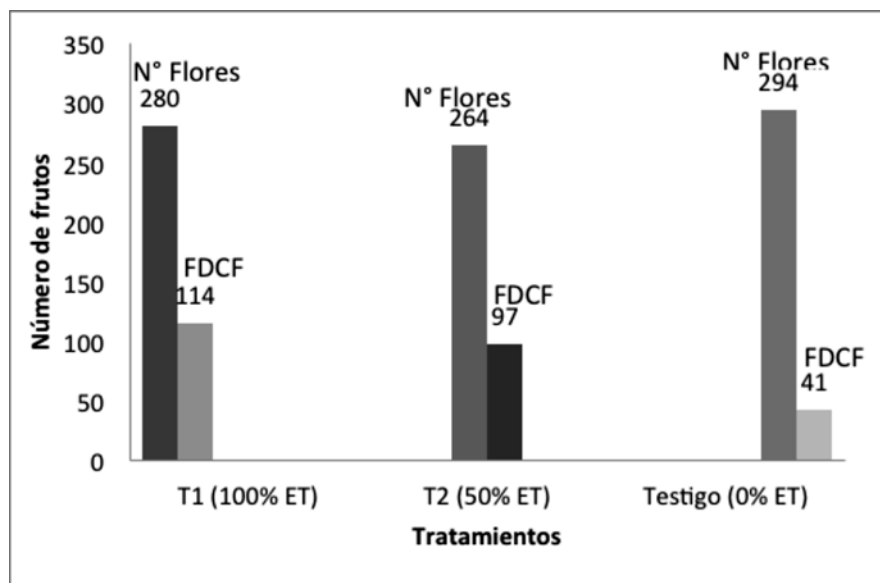


Figura 4. Número promedio de flores y frutos después del cuajado final (FDCF). Promedio de los frutos en 20 ramas por árbol en seis árboles por tratamiento. Departamento del Meta, Colombia.

nes *et al.*, 2007; García-Sánchez *et al.*, 2003; Ortuño *et al.*, 2004), este efecto depende de la intensidad y duración de la sequía y de la época en que ocurre dentro del ciclo del cultivo (Ballester *et al.*, 2011).

Producción y calidad del fruto

La producción de frutos no presentó diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos debido a que las plantas de naranja aún son capaces de mantener rendimientos aceptables cuando los niveles de estrés hídrico en la primera fase de crecimiento del fruto no son extremadamente severos antes de que ocurra un suministro de agua suficiente, tal como sucedió en el presente trabajo. En el tratamiento T1 se observó la mayor producción y el mayor número de frutos por árbol, aunque no fue

significativa ($P > 0.05$), lo que muestra el efecto de competencia entre el peso de fruto y el número de estos por árbol, independiente del estrés por agua (Agustí *et al.*, 2003) (Cuadro 4). La naranja Valencia, establecida en una densidad de 208 árboles/ha presentó una producción estable, siendo de 20.5 t/ha para el tratamiento testigo y de 27 t/ha para el tratamiento T1.

Crecimiento del fruto

Un mes después del inicio del cuajado, el diámetro de los frutos fue 29.43 mm en el tratamiento T1 y de 33.17 mm en el T2. En el momento de la cosecha los diámetros fueron de 66.98 mm (T1) y de 72.77 mm (T2) (Figura 5), valores similares a los hallados por Tejacal *et al.* (2009) para la misma

Cuadro 4. Número de frutos y producción promedio por árbol. Departamento del Meta, Colombia.

Tratamiento	Nº de frutos	CV (%)	Producción (kg)	CV (%)
T1	644a	27.84	128.81a	7.89
T2	435a	43.58	108.51a	13.48
Testigo	378a	18.78	98.29a	12.52

Promedios de seis árboles/tratamiento.

*Valores en la misma columna con letras iguales, no difieren en forma significativa ($P > 0.05$) según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

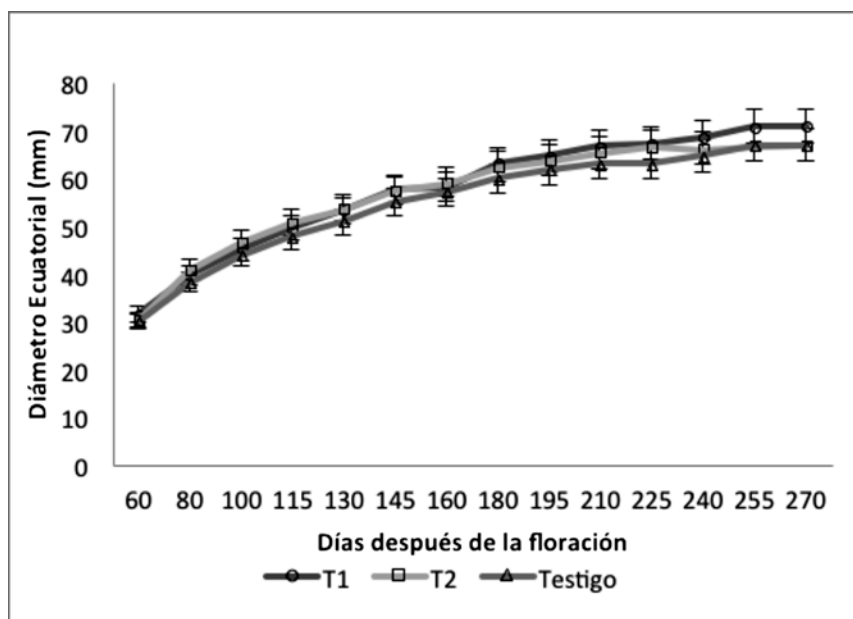


Figura 5. Diámetro ecuatorial del fruto durante el crecimiento, para los tratamientos T1, T2 y testigo. Departamento del Meta, Colombia.

variedad de naranja Valencia utilizada en este estudio.

Aunque no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) entre los diámetros de frutos, se observó que los más pequeños se presentaron en los tratamientos T2 y el testigo versus los frutos en el tratamiento T1 (Figura 5). Esto puede ser resultado del déficit hídrico que se presentó en febrero durante las fases iniciales de formación y crecimiento de frutos, que es un periodo crítico para la división celular, el aumento del grosor del pericarpio y la formación de los sacos de jugo. Según Vélez et al. (2007) los cítricos acumulan materia seca durante los periodos de estrés hídrico, la cual utilizan para crecimiento compensatorio en las épocas de riego o las lluvias.

El modelo que mejor describe el comportamiento del diámetro ecuatorial del fruto en función de los días después de la floración para el tratamiento T1 fue el siguiente:

$$Y = \frac{71.74}{1 + 4.37e^{-0.018x}} \quad R = 0.93$$

El promedio del peso del fruto en el momento de la cosecha en diciembre de 2011 fue de 227 g; el porcentaje de jugo fue de 54.4%, similar al 57% encontrado para naranja Valencia (Sánchez et al., 1987); el volumen fue de 259.7 cm³ ($P > 0.05$). En Carabobo, Venezuela, Laborem et al. (1993) encontraron

un peso promedio entre 237.3 g y 44.81% de jugo en frutos de naranja Valencia sobre patrón de mandarina Cleopatra, valores similares a los hallados en el presente estudio (Cuadro 5).

Calidad del fruto

La evolución de los sólidos solubles totales (SST), el porcentaje de ácido cítrico y el índice de madurez desde la semana 28 hasta la 40 (Cuadro 5) no presentaron diferencias ($P > 0.05$), debido posiblemente a que en las fases 2 y 3 del desarrollo de los frutos no se observó déficit hídrico. A partir de la semana 28 después de finalizar la antesis hasta el momento de la cosecha, los SST aumentaron y el porcentaje de ácido cítrico disminuyó para T1, T2 y el testigo. Los valores de porcentaje de ácido cítrico (0.99) fueron similares a los encontrados por Russian (2006) para naranja Valencia sobre mandarina Cleopatra (1.06) en el momento de la cosecha. El índice de madurez de los frutos en el T1 aumentó y en la semana 36 eran adecuados para consumo.

Los contenidos de ácidos y azúcares crecieron ligeramente en el testigo, ya que el exceso de agua en la etapa de maduración puede reducir el contenido de sólidos solubles totales y la acidez por dilución, reduciendo la calidad interna del fruto; por el contrario, un

Cuadro 5. Características físico-químicas del fruto de naranja Valencia con diferentes tratamientos. Departamento del Meta, Colombia.

Semana	Tratamiento	Jugo (%)	°Brix	pH	Volumen fruto (cm ³)	Ácido cítrico (%)	Índice de madurez
28	T1	45.74	7.80	2.81	197.17	1.74	4.48
	T2	48.55	7.97	2.88	191.19	1.65	5.05
	Testigo	47.99	8.30	2.89	181.79	1.53	5.44
32	T1	46.71	8.80	3.18	208.00	1.23	7.25
	T2	47.93	8.83	3.28	211.30	1.12	7.95
	Testigo	44.56	9.27	3.25	233.40	1.16	8.20
36	T1	52.00	8.80	3.21	244.54	1.17	9.67
	T2	48.38	9.13	3.25	235.58	1.11	8.33
	Testigo	49.22	9.07	3.18	244.82	1.17	8.01
40	T1	54.94	10.65	3.46	249.16	0.98	10.86
	T2	52.21	10.08	3.57	259.69	0.91	10.97
	Testigo	56.08	10.70	3.51	256.97	0.99	10.08

déficit hídrico moderado durante la maduración del fruto puede aumentar el contenido de sólidos solubles y de ácidos (Vélez et al., 2007). Estos resultados concuerdan con los hallados por Laborem et al. (1993) al estudiar la calidad del fruto de naranja Valencia sobre mandarina Cleopatra.

Consideraciones generales

El hecho de que las plantas en los tratamientos T1, T2 y el testigo mostraran diferencias claras de turgencia foliar en los primeros momentos del ensayo cuando fueron escasas las precipitaciones (Figura 3) indica que en periodos de sequía el agua disponible no llenó las exigencias del cultivo. La rápida recuperación del potencial hídrico de tallo registrada en los tratamientos T2 y Testigo, cuando aumentó el aporte de agua por niveles mayores de precipitación, ha sido observada con frecuencia en otros frutales leñosos también expuestos a estrés moderado y severo (Torrecillas et al., 1996; Ruiz-Sánchez et al., 1997; Ortuño et al., 2006). Torrecillas et al. (1995) consideran que el comportamiento de la conductancia estomática ante estrés moderado se controla directamente por un mecanismo hidroactivo. Por su parte, Ruiz-Sánchez et al. (1997) trabajando con estrés severo en el cultivo del limón concluyeron que dichos niveles afectan la recuperación y otros aspectos del metabolismo primario y secundario de la planta.

En este estudio, el comportamiento del rendimiento total de frutos muestra que el estado de estrés impuesto en el tratamiento T2 y el testigo no alcanzaron niveles suficientes para afectar este indicador. Por este motivo, se puede afirmar que las plantas en estos tratamientos alcanzaron un nivel de estrés moderado entre los días 69 y 82; por el contrario, con la precipitación intensa el día 82, todas las plantas, incluyendo aquellas sin riego (testigo), se recuperaron completamente. Esto indica que cuando las plantas están en condiciones de estrés moderado y se les aplica una cantidad de agua que satisfaga su demanda hídrica, pueden recuperarse sin afectar la productividad y la calidad de los frutos.

El hecho de que los frutos de naranja Valencia de las plantas con tratamientos de estrés mostraran características muy similares en la calidad interna y externa, respecto al tratamiento con riego abundante (T1), coincide con los resultados obtenidos en otras especies de frutales leñosos. Mellisho et al. (2012) en granado (*Punica granatum* L.) observaron un comportamiento similar al hallado en este estudio en condiciones de estrés hídrico moderado, mientras que en situaciones de estrés severo observaron que se afecta el rendimiento y la calidad de los frutos. Horner (1990) considera que un déficit hídrico moderado puede conducir a una reducción del crecimiento de la planta y la concentración creciente de metabolitos secundarios no nitrogenados; sin embargo cuando aumenta la tensión de agua en los estomas, ocurre una reducción de la asimilación de CO₂ y la planta prioriza la síntesis de metabolitos primarios y por tanto el crecimiento de la fruta. Estas consideraciones explican en parte los resultados observados en las plantas de los tratamientos T2 y Testigo de este experimento.

Es importante insistir que durante el estado de déficit hídrico la mayor parte de los frutos actúan como reserva de carbono (fotoasimilados) que están disponibles cuando se inicia nuevamente la aplicación de riego, promoviendo índices de crecimiento de fruta más altos (Cohen y Goell, 1984; Mills et al., 1996; Caspari et al., 1994). En este estudio el índice de crecimiento del fruto fue observado en los tratamientos T1 y T2 cuando las lluvias compensaron esta demanda.

Conclusiones

- Los resultados de este estudio muestran que durante las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del fruto de naranja Valencia en las condiciones de estudio, un estrés moderado en la primera fase de crecimiento del fruto puede suplirse con el aporte de las lluvias en las siguientes fases, sin que se afecten la calidad y la producción.
- El potencial hídrico del tallo indicó claramente el comportamiento de las plantas en los niveles de agua aplicados, mostrando en

el testigo que esta variedad presenta una rápida recuperación ante condiciones adecuadas de abastecimiento hídrico. Aunque la etapa de estrés (fase I) no afectó el diámetro ecuatorial de los frutos, sí se presentó repercusión sobre el desarrollo final.

- El estrés de agua no afectó significativamente la productividad de los árboles en los tratamientos estudiados, pero sí se observó un incremento en el aborto floral de las plantas que recibieron una menor lámina de agua.
- El promedio de los rendimientos obtenidos y la calidad de los frutos de naranja permiten considerar que la variedad Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) presenta niveles de producción aceptables en las condiciones del piedemonte del Meta, Colombia.

Referencias

- Agustí, M.; Martínez, A.; Masejo, C.; Juan, M.; y Almela, V.. 2003. Cuajado y desarrollo de los frutos cítricos. Generalitat Valenciana. Conselleria D' Agricultura, Peixca I Alimentacio. Serie de Divulgación Técnica no. 55. 80:23 - 25.
- Agustí, M.; Zaragoza, S.; Bleiholder, H.; Buhr, L.; Hack, H.; Klose, R.; y Staub, R. 1995. Escala BBCH para la descripción de los estadios fenológicos del desarrollo de los agrios (Gén. *Citrus*). Levante Agrícola 332:189 - 199.
- Aubert, B. y Lossois, P. 1972. Considerations sur la phenologie des especes fruitieres arbustives. Fruits 2 (4):269 - 286.
- Ballester, C.; Castel, J.; Intrigliolo, D. S.; y Castel, J. R. 2011. Response of clementinade nules citrus trees to summer deficit irrigation. Yield components and fruit composition. Agric. Water Manag. 98:1027 - 1032.
- Caspari, H. W.; Behboudian, M.H.; y Chalmers, D. J.. 1994. Water use, growth, and fruit yield of Hosui Asian pears under deficit irrigation. J. Am. Soc. Hort. Sci. 119:383 - 388.
- Cassin, J.; Bourdeaut, J.; Fougue, V.; Furan, J. P.; Galliard, J.; Lebourdelles Montagut, G.; y Moreuil, C. 1969. The influence of climate upon the blooming of citrus in tropical areas. Proc. Intl. Soc. Citricult. 1:315 - 399.
- Cohen, A. y Goell, A. 1984. Fruit development as an indicator of the irrigation needs of citrus trees. Proc. Int. Soc. Citric. 1:114 - 118.
- Davenport, T. L. 1990. Citrus flowering. Hort. Rev. 12:349 - 408.
- Davies, F. S. y Albrigo, L. G. 1994. Citrus. CAB International, Wallingford, Reino Unido. 254 p.
- Dell'Amico-Rodriguez, J. M.; Domingo-Miguel, R.; Pérez-Pastor, A.; García, M.; Peñalver, M.; Villanueva, F.; y Puerto, P. 2011. Relaciones hídricas y contenido iónico en plantas de mandarina cv. Fortune durante un ciclo de sequía y recuperación en la etapa de rápido crecimiento del fruto. Cultivos Tropicales. 32.1:30 - 41.
- ENA. 2010. Encuesta Nacional Agropecuaria. MADR, DANE y CCI. 145 p.
- FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma. No. 56. 298:15 - 86.
- García, I.; Romero, R.; Jiménez, J. A.; Martínez, G. V.; Duran, H.; y Muriel, J. L. 2010. Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. Agric. Water Manag Spain. 97:689 - 699.
- García-Sánchez, F.; Carvajal, M.; Porras, I.; Botía, P.; y Martínez, V. 2003. Effects of salinity and rate of irrigation on yield, fruit quality and mineral composition of 'Fino 49' lemon. Europ. J. Agron. 19:427 - 437.
- Horner, J. D. 1990. Non linear effects of water deficits on foliar tannin concentration. Bioch. Syst. Ecol. 18:211 - 213.
- Kramer, R. J. 1989. Relaciones hídricas de suelos y plantas: una síntesis moderna. XI reimpresión. Trad. por Leonor Tejada. Ed. Harla. México, Estados Unidos, Centroamérica. p: 87-89, 401-402, 439-441.
- Laborem E.; Reyes, F.; y Rangel, L. 1993. Calidad a la cosecha de la naranja Valencia sobre ocho patrones. Maracay, Ven. Fonaiap-Ceniap. Instituto de Investigaciones Agronómicas. Serie A. no. 10. 32 p.
- Lugo, L.; Araujo, F.; y Villalobos, R. 1996. Una metodología para la estimación del estrés hídrico en plantas de lima Tahiti (*Citrus x Tahiti*). Rev. Fac. Agron. (LUZ). 13:49 - 60.
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). 2010. Encuesta nacional Agropecuaria. Bogotá. Colombia.
- Mellisho, C. D.; Egea, I.; Galindo, A.; Rodríguez, P.; Rodríguez, J.; Conejero, W.; Romojaro, F.; y Torrecillas, A. 2012. Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit response to different deficit irrigation conditions. Agric. Water Manag. 114:30 - 36.
- Mills, T. M.; Behboudian, M. H.; y Clothier, B. E. 1996. Water relations, growth, and the composition of Braeburn apple fruit under deficit irrigation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 21:286 - 291.
- Orduz, J. y Fischer, G. 2007. Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la inducción y desarrollo floral de la mandarina Arrayana en

- el piedemonte llanero de Colombia. Agron. Col. 25(2):255 - 263.
- Orduz, J.; Arango, L.; y León, G. 2009. Patrones para cítricos en los Llanos orientales de Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Villavicencio, Meta, Colombia. Avances de Investigación. 16:4 - 7.
- Ortuño, M. F.; Alarcón, J.J.; Nicolás, E.; y Torrecilla, A. 2004. Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficit irrigation. Plant Sci. 167:275 - 280.
- Ortuño, M. F.; García-Orellana, Y.; Conejero, W.; Ruiz-Sánchez, M.C.; Alarcón, J. J.; y Torrecillas, A. 2006. Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. Trees 20:1 - 8.
- Quiñones, A.; Martínez-Alcántara, B.; y Legaz, F. 2007. Influence of irrigation system and fertilization management on seasonal distribution of N in the soil profile and on N-uptake by citrus trees. Agric. Ecosyst. Environ. 122:399 - 409.
- Reuther, W. 1973. Climate and citrus behavior. In the citrus industry. Ed. W. Reuther University of California. 3:280 - 337.
- Roman, C. y E. Owen. 1991. Zonificación de los principales frutales en el piedemonte del departamento del Meta. Rev. Siall 8(1):16 - 21.
- Ruiz-Sánchez, M.C.; Domingo, R.; Savé, R.; Biel, C.; y Torrecillas, A. 1997. Effects of water stress and rewatering on leaf water relations of lemon plants. Biol. Plantarum 39:623 - 631.
- Russián, L. 2006. Calidad del fruto en accesiones de naranja Criolla y Valencia en el sector Macanillas-Curimagua, Estado Falcón. Agron. Trop. 56(3):415 - 432.
- Sánchez, L. A.; Jaramillo, C. y Toro, J. C. 1987. Fruticultura colombiana - Cítricos. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Cali, Colombia. Manual de Asistencia Técnica no. 42. 97 p.
- SAS Institute. 1994. SAS/STAT user's guide. SAS Inst. Inc., Cary, N.c., USA.
- Scholander, P. F.; Hammel, H. T.; Bradstreet, E. D.; y Hemmingsen, E. A. 1965. Sap pressure in vascular plants. Science 148:339 - 346.
- Southwick, S. M. y Davenport, T. L. 1987. Modification of the water stress-induced floral response in Tahiti lime. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112(2):231 - 236.
- Syvetsen, J. P. 1982. Minimum leaf water potential and stomatal closure in citrus leaves of different ages. Ann. Bot. 49(6):827 - 834.
- Tejacal, I.; Beltrán, M.; Lugo, A.; y Ariza, R. 2009. Índice de cosecha en limón Persa y naranja Valencia en Morelos. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Inifap. México. Folleto Técnico no. 41. 32:12 - 25p.
- Torrecillas, A.; Guillaume, C.; Alarcón, J. J.; y Ruiz-Sánchez, M. C. 1995. Water relations of two tomato species under water stress and recovery. Plant Sci. 105:169 - 176.
- Torrecillas, A.; Alarcón, J. J.; Domingo, R.; Planes, J.; y Sánchez-Blanco, M. J. 1996. Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. Plant Sci. 118:135 - 143.
- Vélez, J. E.; Intrigliolo, D. S.; y Castel, J. R. 2007. Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. Agric. Water Manag. 90(3):197 - 204.