

# Efecto del régimen de humedad del suelo sobre la producción del zapallo *Cucurbita moschata* Duchesne

## Effect of soil moisture regime on the production of butternut squash *Cucurbita moschata* Duchesne

Robert Augusto Rodríguez-Restrepo<sup>1\*</sup> ; Harold Tafur-Hermann<sup>2</sup> ; Sanin Ortiz-Grisales<sup>2</sup> ; Magda Piedad Valdés-Restrepo<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Palmira - Valle del Cauca, Colombia; e-mail robert.rodriguez@unad.edu.co; magda.valdes@unad.edu.co

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Palmira - Valle del Cauca, Colombia; e-mail: htafurh@unal.edu.co; sortizg@unal.edu.co.

\*autor para correspondencia: robert.rodriguez@unad.edu.co

**Cómo citar:** Rodríguez-Restrepo, R.A.; Tafur-Hermann, H.; Ortiz-Grisales, S.; Valdés-Restrepo, M.P. 2024. Efecto del régimen de humedad del suelo sobre la producción y calidad del zapallo *Cucurbita moschata* Duchesne. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(2):e2477. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n2.2024.2477>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional

**Recibido:** junio 17 de 2023

**Aceptado:** agosto 30 de 2024

**Editado por:** Helber Adrián Arévalo Maldonado

### RESUMEN

El cultivo de zapallo *Cucurbita moschata* Duchesne ha cobrado interés por el alto valor nutricional del fruto; sin embargo, en las regiones productoras de Colombia, el riego para el zapallo es una labor empírica, dado que en el país no existen estudios que asocien el efecto del riego sobre la producción del fruto. Por lo tanto, se estudió el efecto del régimen de riego sobre la producción de tres cultivares de zapallo. Se aplicaron cinco láminas de riego con base en: Kc del cultivo (0,4; 0,6; 0,8; 1,0 y 1,2) a tres cultivares de Zapallo: UnapaL-Abanico-75 (A75), Unapal-Bolo Verde (Bv) y Unapal-Dorado (Dr), con ocho repeticiones, para un total de 96 plantas. El diseño experimental fue parcelas divididas, donde la parcela principal fue el tratamiento de riego y la subparcela, los cultivares. Los caracteres frutos por planta (FPP), peso promedio del fruto (PPF), producción por planta (PPP), materia seca (MS) y espesor de pared de pulpa (EP) presentaron diferencias altamente significativas, de acuerdo con el régimen de riego, asociadas, en modo positivo, con nivel de Kc más alto (1,2).

Palabras clave: Ahuyama; Coeficiente de Cultivo (Kc); Humedad del suelo; Riego por goteo; Textura del suelo.

### ABSTRACT

The crop of *Cucurbita moschata* Duchesne has gained interest due to the high nutritional value of the fruit; however, in the producing regions of Colombia, irrigation for squash is an empirical task given that in the country, there are no studies that associate the effect of irrigation on fruit production. Therefore, the effect of the irrigation regime on the production of three pumpkin cultivars was studied. Five irrigation sheets were applied based on: Kc of the crop (0.4; 0.6; 0.8; 1.0 and 1.2) to three Zapallo cultivars: UnapaL-Abanico-75 (A75); Unapal-Bolo Verde (Bv) and Unapal-Dorado (Dr) with eight repetitions for a total of 96 plants. The experimental design was divided plots, where the main plot was the irrigation treatment, and the subplot was the cultivars. The characteristics of fruits per plant (FPP), average fruit weight (PPF), production per plant (PPP), dry matter (DM), and pulp wall thickness (EP) presented highly significant differences according to the irrigation regime, positively associated with higher Kc level (1.2).

Keywords: Crop coefficient; Drip irrigation; Pumpkin; Soil moisture; Soil texture.

## INTRODUCCIÓN

El zapallo *Cucurbita moschata* Duchesne juega un papel importante en la economía y la seguridad alimentaria en América Latina, por su plasticidad agronómica y versatilidad culinaria. En el sector agroindustrial destaca por el alto contenido de proteína cruda (14,5 %), alta presencia de minerales, como calcio, hierro, fósforo y de vitamina A, en forma de carotenos totales (535 µg/g) (Rodríguez *et al.* 2018). Su relevancia en la agroindustria se refleja en el área cultivada en el mundo, donde las cifras más recientes indican que se ha incrementado significativamente, pasando de 1'746.293 ha, en 2010, a 2'004.058 ha, en 2020, siendo el continente asiático el principal productor, seguido de África y las Américas (FAOSTAT, 2024).

En Colombia, la mayor producción de zapallo se registra en el departamento de Santander, seguido de Cesar y Valle del Cauca, regiones donde los suelos predominantes son del orden molisol, inceptisol, entisol y vertisol, cuya variabilidad en características físicas y químicas condiciona la disponibilidad de agua para los cultivos (Agronet, 2024).

La agricultura en Colombia es uno de los principales pilares de la economía del país, actividad cuya demanda hídrica se estima como el 46,6 % del total nacional; sin embargo, los agricultores no solo compiten por el agua con los centros urbanos y las industrias, sino, también, con el ambiente, ya que el cambio climático modifica el régimen de precipitación anual y la temperatura, generando estrés térmico e hídrico, con una consecuente reducción significativa en el rendimiento de los cultivos, dado que las plantas presentan respuestas de evitación y de tolerancia al estrés abiótico, características que guardan una relación inversa con la producción de biomasa, por lo cual, uno de los enfoques de la investigación agrícola es determinar los requerimientos hídricos del cultivo, incrementando la eficiencia del riego, obteniéndose mejores producciones a menor costo (Zhang *et al.* 2023).

La bibliografía actualizada sobre los requerimientos hídricos del zapallo es escasa y la que se encuentra disponible, corresponde a investigaciones realizadas en otras cucurbitáceas, principalmente, pepino y melón, en regiones del planeta, cuyas condiciones climáticas no se ajustan a las encontradas en el trópico colombiano, lo cual, genera incertidumbre en los productores locales respecto a cuándo y cuánto regar, lo que deriva en sobrecostos de producción.

Investigaciones relacionadas evidencian el efecto benéfico del incremento de la lámina de riego, sobre las variables de rendimiento, como número de frutos, peso del fruto y rendimiento por planta, en plantas de pepino (Hashem *et al.* 2011; Zhang *et al.* 2023; Ding *et al.* 2023). La respuesta es similar en plantas de melón; Visconti *et al.* (2019) y Yavuz *et al.* (2021) plantearon que mantener un régimen de humedad del suelo por debajo de capacidad de campo maximizaría la acumulación de azúcar en frutos de melón. Encontraron que el estrés hídrico provocado disminuyó la acumulación de azúcar en fruto y, a su vez, todas las variables de rendimiento. Por lo tanto, es imperativo mantener las plantas sin estrés hídrico desde la floración

hasta el final de la cosecha, para maximizar el rendimiento y la calidad del fruto.

Considerando lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto del régimen de humedad del suelo sobre la producción de tres cultivares de zapallo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** La investigación se realizó en la granja Mario González Aranda (GMGA), de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Valle del Cauca, N 3°30'26,8"; O 76°18'47,6" y 998 m s.n.m., 24 °C, 72 % (HR) y precipitación pluvial anual de 1.000 mm, que corresponde a una zona de bosque seco tropical.

Se desarrollaron dos ensayos de campo consecutivos, en los semestres 2019-II y 2020-I. El área experimental se trabajó bajo una cubierta plástica de diseño cenital, sin paredes laterales, que ocupó una superficie de 900 m<sup>2</sup>.

El orden taxonómico de los suelos de la GMGA es Pachic-Haplustoll, cuyas principales características fisicoquímicas son: densidad aparente (DA) 1,2 g/cm<sup>3</sup>; textura franco-arcillo-limosa, materia orgánica (M.O.) 3,2 %, fósforo (P) 215 mg/kg y potasio (K) 0,45 cmol/kg.

**Caracterización climática.** La información climática para las variables, temperaturas máximas y mínimas (°C), humedad relativa (%), radiación solar (kW h m<sup>2</sup>) y velocidad del viento (km/hora), se midieron diariamente, consultando una estación climatológica portátil DAVIS, Vantage pro-2. Esta información fue contrastada con una base de datos climatológicos de 30 años atrás, provenientes de la estación agroclimatológica PALMIRA ICA con código 26075010, descargados del portal del IDEAM (2020).

**Material biológico.** Las semillas de los cultivares de zapallo Unapal Abanico-75 (A75), Unapal Dorado (Dr) y Unapal Bolo verde (Bv) provienen del grupo de investigación mejoramiento genético, agronomía y producción de semillas de hortalizas (PMGAPSH) de la Universidad Nacional de Colombia. Se realizó un semillero en vasos de 12 onzas, con dos semillas por vaso, usando suelo de la GMGA como sustrato; 15 días después se trasplantó a campo la plántula con mayor vigor.

**Descripción de las unidades experimentales.** La unidad experimental consistió en una planta de zapallo por tratamiento de riego (Kc) y cultivar, con 8 repeticiones. La distancia de siembra fue 2,5 x 2,5 m, para una densidad de 1.600 plantas ha<sup>-1</sup>.

**Tratamientos de riego.** Se evaluaron cuatro tratamientos de riego por semestre, considerados como coeficientes del cultivo Kc, a saber: 0,4, 0,6, 0,8 y 1,0, en el semestre 2019-II y 0,6, 0,8, 1,0 y 1,2, para el semestre 2020-I.

La frecuencia de riego estuvo condicionada por el balance hídrico del suelo ( $\Delta HS$ ) (Ecuación 1), sin efecto de la precipitación

por acción de la cubierta plástica. Se descartó el aporte freático mediante muestreos, a 1,5 y 2 m de profundidad con barrenos de extensión. Se empleó riego por goteo, con emisores con caudal de 2 l/h (Ecuación 2).

La evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) se estimó como el producto entre la evaporación del tanque clase A y el coeficiente de ajuste ( $K_p$ ) (Ecuación 3), el cual, se determinó acorde con la velocidad del viento y la humedad relativa de la zona de estudio; la lectura del tanque se registró diariamente a las 7:00 a.m. Se estimó la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), multiplicando cada  $K_c$  por la  $ET_0$  (Ecuación 4). El volumen de agua a regar se calculó mediante el producto entre  $ET_c$  y la franja a humedecer (2,5 m ancho del surco x 45 m largo del surco) (Ecuación 5). El tiempo de riego se controló mediante válvulas de cortina accionadas manualmente. Éste se determinó como la relación entre el volumen de riego y el caudal del gotero (2l/h) (Ecuación.6). El contenido de humedad del suelo se estandarizó, mediante un riego abundante 48 horas antes de iniciar el experimento.

$$\Delta HS = (P + R + NF) - (E_v + T + P) \quad \text{ecuación 1}$$

$$\Delta HS = R - ET_c \quad \text{ecuación 2}$$

$$ET_0 = K_p \cdot Ev_A \quad \text{ecuación 3}$$

$$ET_c = (K_p \cdot Ev_A) \cdot K_c \quad \text{ecuación 4}$$

$$\text{Volumen} = ((K_p \cdot Ev_A) \cdot K_c) \cdot \text{franja humedecida} \quad \text{ecuación 5}$$

$$\text{Tiempo de riego} = \frac{((K_p \cdot Ev_A) \cdot K_c) \cdot \text{franja humedecida}}{\text{Caudal de los goteros } (2\frac{l}{h})} \quad \text{ecuación 6}$$

Dada la fisiología de crecimiento de la planta de zapallo, así como la distribución de raíces (pivotante y tallos decumbentes), cada planta contó con manguera de 16 mm dispuesta en forma espiral de hasta 5 anillos, espaciados a 15 cm, activados mediante válvulas de cortina, acorde con la etapa fenológica.

**Aplicación de fertilizantes.** La aplicación de los fertilizantes se realizó por drench, con base en el análisis de suelo y el plan de fertilidad del PMGAPSH para zapallo (N 225;  $P_2O_5$  125;  $K_2O$  250 kg/ha), fraccionados en tres eventos, según las etapas fenológicas de la planta: germinación-floración; floración-fructificación y fructificación-cosecha.

**Variables de respuesta.** Las variables de respuesta evaluadas fueron: frutos por planta (FPP) (kg), peso promedio del fruto (PPF) (kg), producción por planta, espesor de pulpa (EP) (cm), color de la pulpa (CP), número de semillas por fruto (NSF) (gramos) y peso unitario PUS (peso de 100 semillas en gramos).

**Análisis estadístico.** Se evaluaron un total de 12 tratamientos, resultantes de la interacción entre 3 cultivares de zapallo y 4 tratamientos de riego por ciclo evaluado, con 8 repeticiones, para un total de 96 plantas por ciclo; el diseño experimental fue parcelas divididas. Para la comparación de medias se empleó la prueba de Duncan, con un nivel de significancia del 5 %. La información se analizó mediante el paquete estadístico R.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos climatológicos, condensados en la tabla 1, muestran que las temperaturas diarias, radiación solar y evaporación del tanque clase A, registradas durante la prueba II, fueron más altas que las registradas durante la prueba I. En contraste, la humedad relativa promedio durante la prueba I fue más alta que la registrada en la prueba II, lo que supone una demanda hídrica atmosférica mayor durante el periodo enero-abril, dadas las altas temperaturas, la acción del viento y la consecuente menor saturación de vapor del aire (HR), condiciones que afectan el poder evaporante de la atmósfera, por lo que el suelo se seca más rápido entre aplicaciones de agua, necesiándose mayor frecuencia del riego.

Tabla 1. Promedios mensuales para las variables climatológicas consideradas en el estudio.

Mes	Tmin	Tmax	Tprom	HR	Rs	Vv	EtA
Julio	18,9	30,4	24,65	78	5907	1,2	4,2
Agosto	20,0	29,8	24,90	73	5651,1	3,6	4,6
Septiembre	20,6	34,5	27,55	75	4821,0	1,1	4,0
Octubre	20,1	33,6	26,85	73	5430,8	1,4	4,3
Enero	19,7	35,6	27,65	71	6502,8	1,8	4,3
Febrero	21,1	33,7	27,40	71	5969,7	1,5	4,7
Marzo	17,8	34,3	26,05	69	5607,1	1,5	4,5
Abril	16,5	32,8	24,65	72	5956,2	2,6	4,6

Donde: prueba I (julio-octubre) y prueba II (enero-abril). Tmin: temperatura mínima ( $^{\circ}C$ ), Tmax: temperatura máxima ( $^{\circ}C$ ), Tprom: temperatura promedio ( $^{\circ}C$ ), HR: Humedad relativa (%), Rs: Radiación solar ( $KWh/m^2$ ), Vv: Velocidad del viento ( $Km/día^{-1}$ ), EtA: Evapotranspiración medida en el tanque clase A ( $mm.d^{-1}$ ).

**Contenido de humedad del suelo.** El contenido de humedad del suelo para todos los tratamientos de riego, en principio, mostró valores lógicos por encima de capacidad de campo (CC), inmediatamente después del riego y en la medida que el suelo drenó, se alcanzó el contenido de humedad a CC. El poder evaporante de la atmosfera hizo que la humedad disminuyera en los primeros centímetros hasta los valores presentados en la tabla 2, que corresponden al contenido de humedad del suelo por tratamiento antes del riego. En los primeros diez centímetros, los tratamientos Kc: 1,0 y 1,2, llegan a CC (30,60 % a 0,3 bar), sosteniéndose este nivel de humedad hasta los 30 centímetros, lo cual, es un hallazgo importante, dado que abarca la profundidad efectiva de raíces para el cultivo, generando condiciones adecuadas para la toma de nutrientes. En contraste, los tratamientos de Kc: 0,4 y 0,6, se consolidan como deficitarios, dado que antes del riego o hasta 30 cm de profundidad, la humedad en el suelo bajó ostensiblemente del valor referencial de CC. Bajo esta condición, el agua se encuentra retenida a una tensión muy alta, lo que representa mayor estrés para la planta. Esta condición deficitaria de humedad hace activar mecanismos de adaptación a la planta, comprometiendo la producción (Tablas 4 y 5).

**Efecto del riego sobre la producción por planta.** Respecto al riego (Kc) se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en ambas pruebas, en los componentes principales de la producción por planta. Los cultivares de zapallo (Cul) respondieron significativamente ( $p < 0,05$ ) en ambas pruebas, para las variables FPP y PPF; no obstante, la PPP respondió significativamente en la prueba II. La interacción entre el riego y los cultivares de zapallo (KcxCul) solo evidenció respuesta significativa ( $p < 0,05$ ), en las variables FPP y PPF de la prueba I (Tabla 3).

Las variables de la producción por planta se beneficiaron con el incremento en el contenido de humedad del suelo de la prueba II, encontrándose el mayor número de FPP y PPF, para el cultivar Bv. El mejor EP lo obtuvo en A75, seguido de Dr y Bv, con valores de 5,18, 4,6 y 4,56 cm, respectivamente (Tablas 4 y 5).

El Kc: 1,2, supuso la mejoría en la producción de los cultivares estudiados; Bv mostró el mayor número de FPP y, en consecuencia, la mayor PPP, con 30,35 kg, superior en 53 % a Baena *et al.* (2010). Dr mejoró un 36,2 % su PPP respecto a Estrada *et al.* (2010).

Tabla 2. Contenido de humedad del suelo a tres profundidades antes de riego para cada tratamiento de riego.

Prof.(cm)	Humedad (%)				
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
0-10	20,30	21,10	22,40	24,60	26,18
10-20.	21,20	22,40	24,30	27,70	30,70
20-30	23,30	25,12	26,30	29,20	30,50

Tabla 3. Cuadros medios para componentes de la producción en zapallo en las pruebas I y II.

Prueba	Fuentes de variación	GL	FPP	PPF (Kg)	PPP (Kg)	EP (cm)	NSPF	PUS
I	Kc	3	7,42**	23,88**	119,16*	0,34*	1320,06**	2,73 ns
	Cul	2	0,19**	1,71**	17,30 ns	0,09 ns	457,32 ns	3,01 ns
	Kc x Cul	12	0,39**	0,32**	3,63 ns	0,11 ns	185,73 ns	5,51 ns
	CV		26,34	38,84	53,26	17,49	19,4	14,68
II	Kc	3	11,76*	16,03**	119,16*	4,87*	32831,84*	0,59 ns
	Cul	2	17,63*	1,49*	410,11**	1,13 ns	1576,88 ns	2,04 ns
	Kc x Cul	12	0,79 ns	0,47 ns	19,93 ns	0,31 ns	4049,05 ns	3,63 ns
	CV		41,39	28,08	53,69	16,02	25,12	17,48

FPP: Frutos por planta; PPF: Peso promedio del fruto (Kg); PPP: Producción promedio por planta (Kg); EP: Espesor de pulpa(cm); NSPF: Número de semillas por fruto; PUS: Peso unitario de semilla (o peso de 100 semillas).

Tabla 4. Componentes de la producción del fruto en UNAPAL; Abanico-75; Bolo verde y Dorado, para la prueba I.

Cultivar	Variables de respuesta							
	KC	EUA	FPP	PPF	PPP	EP	NSPF	PUS
Ab-75	0,4	22,503	2,25d	1,78d	3,96d	2,52c	534,75a	9,25c
	0,6	24,414	3,12c	1,96c	6,44c	2,61c	416,37b	11,62b
	0,8	30,745	3,5b	3,10b	10,82b	3,2b	380,2c	11,62b
	1.0	34,97	4,12a	3,79a	15,38a	3,6a	390,25c	12,37a
Bv	0,4	32,393	2,87d	1,85d	5,70c	2,76c	576,25a	8,67c
	0,6	30,967	3,25c	2,54c	8,17c	2,97c	462,37b	11,75b
	0,8	35,169	3,37b	3,65b	12,37b	3,28b	394,62c	11,12b
	1.0	36,446	3,87a	4,19a	16,03a	3,75a	385,12c	13,00a
Dr	0,4	25,234	2,75c	1,58d	4,44d	2,67d	531,5a	9,21c
	0,6	31,03	2,62c	3,03c	8,19c	2,96c	471,37b	11,25b
	0,8	39,37	3,35b	3,68b	13,85b	3,16b	399,87c	11,5b
	1.0	32,495	3,92a	3,94a	14,29a	3,7a	378,00c	12,5a

Donde: Ab-75: Abanico- 75; Bv: Bolo verde; Dr: Dorado; EUA: Eficiencia en el uso del agua (Kg/m<sup>3</sup>); FPP: Frutos por planta; PPF: Peso promedio del fruto (Kg); PPP: Producción promedio por planta (Kg); EP: Espesor de pulpa(cm); NSPF: Número de semillas por fruto; PUS: Peso unitario de semilla (o peso de 100 semillas).

Tabla 5. Componentes de la producción y calidad del fruto en UNAPAL; Abanico-75; Bolo verde y Dorado, para la prueba II.

Cultivares	Variables de respuesta							
	KC	EUA(Kg/m <sup>3</sup> )	FPP	PPF(Kg)	PPP(Kg)	EP(cm)	NSPF	PUS(g)
Ab-75	0,6	37,03	4,5b	2,62d	11,88c	3,56b	446,87a	10,37c
	0,8	28,54	3,87c	3,12c	12,21c	4,2a	350,5b	11,62b
	1.0	38,92	5,25a	3,95b	20,82b	4,5a	330,75b	11,5b
	1,2	40,96	5,87a	4, 93 <sup>a</sup>	28,93a	5,18a	388,01c	14,5a
Bv	0,6	60,6	4,25d	3,06c	19,45c	3,12c	450,87a	10,00c
	0,8	44,44	5,04c	3,95b	19,0c	3,52b	345,75b	11,75b
	1.0	46,52	6,25b	4,07b	24,88b	3,612b	374,87a	11,62b
	1,2	47,43	6,87a	5,33a	30,45a	4,56a	323,5b	13,87a
Dr	0,6	22,81	3,87c	1,93d	7,32d	3,87b	405,5a	10,37c
	0,8	34,88	4,5b	3,20c	14,93c	3,5b	364,25b	11,12b
	1.0	40,21	5,37a	4,01b	21,51b	4,00b	376,00b	11,37b
	1,2	36,62	5,25a	4,50 <sup>a</sup>	23,51a	4,6a	404,87a	13,12a

Donde: Ab-75: Abanico- 75; Bv: Bolo verde; Dr: Dorado; EUA: Eficiencia en el uso del agua (Kg/m<sup>3</sup>); FPP: Frutos por planta; PPF: Peso promedio del fruto (Kg); PPP: Producción promedio por planta (Kg); EP: Espesor de pulpa(cm); NSPF: Número de semillas por fruto; PUS: Peso unitario de semilla (o peso de 100 semillas).

La mejoría en las variables de producción en respuesta a dosis óptimas de riego ha sido ampliamente documentada en investigaciones similares con cucurbitáceas; Çakir *et al.* (2017) combinaron dos frecuencias de riego (2 días y 4 días), con cuatro coeficientes de cultivo (Kc 0,75, Kc 1,0, Kc 1,25 y Kc 1,5), en plantas de pepino de tipo mini, encontrando que el mayor rendimiento se produjo regando con una frecuencia de 2 días y el Kc de 1,5.

En el presente estudio, los volúmenes acumulados de evapotranspiración para cada tratamiento de riego, variaron de 195,52; 293,28; 391,04 y 488,8 m<sup>3</sup>/ha durante la prueba I, a

356,64, 475,52, 594,4 y 713,28 m<sup>3</sup>/ha. Los volúmenes para los Kc de 0,8 y 1,2 (Prueba II) superan los 400 m<sup>3</sup>/ha por ciclo de riego para zapallo, recomendado por Estrada *et al.* (2004), en condiciones de Palmira, Valle del Cauca; sin embargo, esta recomendación carece de fundamento experimental derivado de una prueba de necesidades hídricas; a su vez, este incremento en la oferta hídrica en la prueba II favoreció ampliamente las variables de rendimiento, como FPP, PPF, PPP y EP (Tabla 5). Por tal motivo, se puede considerar que las necesidades hídricas del cultivo de zapallo para condiciones de suelo y clima similares a las empleadas en el presente experimento, corresponden a 713,28 mm/ha, fraccionados de la

siguiente manera: en la fase de establecimiento del cultivo, que dura 0 a 30 días, se aplica una lámina de 124,8mm; la segunda etapa (30 a 60 DDS), 147,84 mm y la tercera, cuya duración es de 90 días, se aplican en total 440,64mm (Figura 1).

La Kc 0,4 derivó en un estrés hídrico evidente en la pérdida de turgencia en las hojas. En particular, las plantas de zapallo son sensibles al déficit de agua, escenario que provoca la caída de flores y frutos (Alsaedi *et al.* 2019), dado que cuando se presenta estrés hídrico, se reduce la apertura estomática, lo que disminuye la cantidad de fotoasimilados, disponibles para llenar todos los frutos en desarrollo; por ende, los frutos más jóvenes son los que

tienen más probabilidad de ser abortados y solamente los frutos de mayor edad maduran, pero, quizá, no están suficientemente llenos (Alomran & Luki, 2012).

La textura del suelo es franco arcillo limoso, lo que indicó buenas condiciones de drenaje y de retención de humedad, dada la alta presencia de microporos, lo que pudo favorecer la toma de nutrientes y, por ende, mostrar el mejor efecto de los tratamientos de riego, conjetura a la que llegaron Li *et al.* (2018), cuando evaluaron distintas láminas de riego en sandía, bajo condiciones de suelo similares.

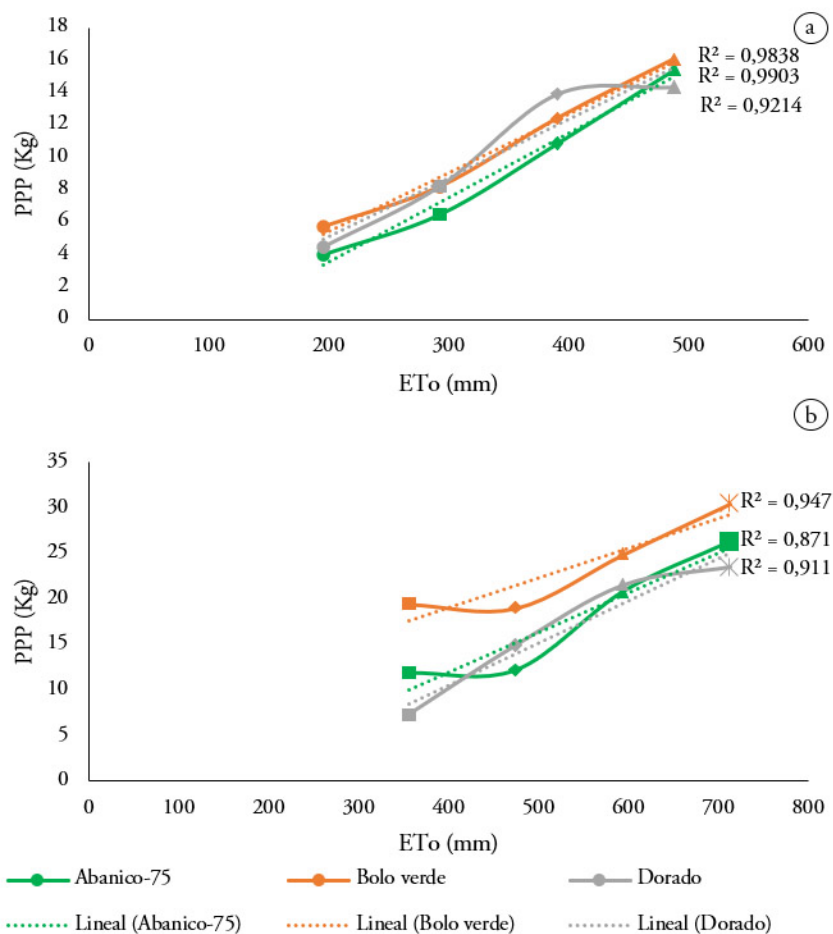


Figura 1. Correlación entre la producción promedio por planta y la evapotranspiración del cultivo, de tres cultivares de zapallo, en dos pruebas: a) Prueba I; b) Prueba II.

El buen desempeño de las variables de rendimiento, probablemente, esté asociado al sistema de riego por goteo, adaptado a la fisionomía del zapallo, lo cual, redujo la lixiviación de nitratos, promovida por excesivas láminas de riego, tal como lo propone Amer (2011), que tras comparar el riego por goteo y por gravedad en *Cucurbita pepo*, concluyó que el riego por gravedad no solo incrementa el volumen de riego a reponer al suelo, sino, también, favorece la pérdida de nutrientes en la zona efectiva de raíces, que disminuyen el rendimiento.

**Efecto del riego sobre la producción de semillas.** El mayor NSF se produjo con el riego deficitario. Esto supone una posible nueva vocación para los cultivares de *C. moschata*, como productor de semillas a bajo costo de riego, dado su alto consumo como snack, en países del continente asiático (FAOSTAT, 2024).

En contraste al NSF, el PUS expresó mejor resultado con el incremento en el contenido de humedad del suelo; A-75, con 14,5g, fue el mejor cultivar. Otras investigaciones sobre riego en

Cucurbitaceas muestran contrastes para esta variable; Seymen *et al.* (2019), 246g, para *Cucurbita pepo*; 178 g y 239 g, por Türkmen *et al.* (2016), lo que sugiere, que ante condiciones de humedad del suelo adecuadas para la fotosíntesis, la planta tiene oportunidad de acumular mayor cantidad de almidón en la semilla, que representa una parte importante del peso seco.

**Eficiencia del uso del agua (EUA).** La EUA representa la productividad del agua relacionada con el rendimiento. La EUA se vio significativamente afectada por el riego, creciendo a la par del tratamiento Kc (Tablas 4 y 5). Los mayores registros se presentaron en la prueba II, donde el cultivar Bv, se destacó con 60,6 kg/m<sup>3</sup>, bajo Kc 0,4. En contraste, los cultivares A-75 y Dr presentaron su mejor valor de EUA, con el Kc de 1,2 (40,9 y 36,6 rkg/m<sup>3</sup>).

El tratamiento 0,4 (Deficitario) tuvo una EUA más alta que la de los demás tratamientos; sin embargo, su rendimiento fue el más bajo en comparación con los demás. Con base en los resultados, se puede relacionar la EUA y la PPP de manera lineal durante ambas pruebas (I y II), similar al comportamiento del rendimiento de sandía y la EUA encontrado por Wang *et al.* (2014). Esta alta EUA, probablemente, esté asociada al sistema de riego por goteo que se adaptó a la fisiología del zapallo y permitió entregar, de manera más eficiente, el agua a las guías o ramas, provistas de raíces decumbentes, que nutren al mayor número de flores pistiladas, que dan origen a los frutos. La anterior hipótesis encuentra asidero en Mao *et al.* (2013), quienes plantean lo siguiente: “después de la aparición de la fruta del pepino en los tallos, florecieron más plantas de pepino y aparecieron más frutos. Las plantas necesitaron más agua para satisfacer las necesidades de frutas más suculentas y una mayor evaporación del suelo, como resultado de una temperatura más alta, de modo que el requerimiento de agua aumentó dramáticamente”. Rahil & Qanadillo, (2015) mencionan que la EUA más baja se puede atribuir al hecho de que se aplicó una gran cantidad de agua de riego bajo el criterio de la observación y del estado fisiológico de la planta.

Hashem *et al.* (2011) mencionan que, pese a que la eficiencia en el uso del agua es un indicador importante, también se debe considerar que el rendimiento es la principal variable penalizada ante el riego deficitario, por lo tanto, debe ser considerada como una guía real del manejo del agua para el cultivo.

Se concluye que para los tres cultivares de zapallo en prueba, los componentes de rendimiento se incrementaron positivamente con el aumento de la oferta hídrica, a excepción del número de semillas por planta, que expresó su mayor potencial con el tratamiento de riego deficitario.

La producción de semillas por planta expresó una relación positiva con el aumento de la oferta hídrica, en orden de superioridad Abanico-74, Dorado y Bolo Verde, respectivamente.

El régimen de riego deficitario arrojó más eficiencia en el uso del agua; sin embargo, el desempeño de los componentes del rendimiento fue el más bajo.

**Conflictos de interés:** Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses financieros conocidos, ni relaciones personales que pudieran influir en el desarrollo de este artículo. **Financiación:** Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de agencias de financiación de los sectores público, comercial o sin fines de lucro. **Contribución de los autores:** Robert Augusto Rodríguez-Restrepo contribuyó a la planificación de la investigación, realizó el experimento, contribuyó al análisis de datos y escribió el manuscrito. Harold Tafur-Hermann, Sanin Ortiz-Grisales y Magda Piedad Valdés-Restrepo contribuyeron a la planificación de la investigación y al análisis de datos.

## REFERENCIAS

- AGRONET 2024. Estadísticas agrícolas nacionales. Disponible desde Internet en: [www.agronet.gov.co](http://www.agronet.gov.co)
- ALOMRAN, A.; LUKI, I. 2012. Effects of deficit irrigation on yield and water use of grown cucumbers in Saudi Arabia. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 168:353-358. <https://doi.org/10.2495/SI120301>
- ALSAEEDI, A.; EL-RAMADY, H.; ALSHAAL, T.; EL-GARAWANY M.; ELHAWAT, N.; AL-OTAIBI A. 2019. Silica nanoparticles boost growth and productivity of cucumber under water deficit and salinity stresses by balancing nutrients uptake. *Plant Physiology and Biochemistry*. 139:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.008>
- AMER, K. 2011. Effect of irrigation method and quantity on squash yield and quality, *Agricultural Water Management*. 98(8):1197-1206. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.03.003>
- BAENA GARCÍA, D.; ORTIZ GRISALES, S.; VALDÉS RESTREPO, M.; ESTRADA SALAZAR, E.; VALLEJO CABRERA, F. 2010. UNAPAL –Abanico 75: Nuevo cultivar de zapallo con alto contenido de materia seca en el fruto para fines agroindustriales. *Acta Agronómica*. 59(3):285-292.
- ÇAKIR, R.; KANBUROGLU-ÇEBI, U.; ALTINTAS, S.; OZDEMIR, A. 2017. Irrigation scheduling and water use efficiency of cucumber grown as a spring-summer cycle crop in solar greenhouse. *Agricultural Water Management*. 180:78-87. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.023>
- DING, W.; ZHANG, G.; YI, X.; KANG, J.; ZHANG, J.; LI, G.; ZHANG, J.; CHANG, N.; LI, H. 2023. Improving potential of reactive nitrogen and carbon footprint of intensified greenhouse cucumber-tomato production with optimized drip irrigation with nitrogen reduction strategies. *Journal of Cleaner Production*. 424:138898. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138898>

- ESTRADA, E.I.; GARCÍA, M.A.; GUTIÉRREZ, A.; CARDOZO, C.I.; SÁNCHEZ, M.S.; BAENA, D.; VALLEJO, F.A. 2004. Cultivo de Zapallo variedad UNAPAL Bolo verde y UNAPAL Mandarino. Segunda Edición. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. p.18. Disponible en internet: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51962/9588095239.PDF?sequence=2&isAllowed=y>
- ESTRADA SALAZAR, E.; VALLEJO CABRERA, F.; BAENA GARCÍA, D.; ORTIZ GRISALES, S.; ZAMBRANO BLANCO, E. 2010. Unapal-Llanogrande, nuevo cultivar de zapallo adaptado a las condiciones del valle geográfico del río Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*. 59(2):135-143.
- FAOSTAT. 2024. Food and agriculture Organization of the United Nations. Disponible desde Internet en: [http://faostat3.fao.org/home/index\\_es.html?locale=es#DOWNLOAD](http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD)
- HASHEM, F.A.; MEDANY, M.A.; EL-MONIEM, E.M.; ABDALLAH, M.M.F. 2011. Influence of green-house cover on potential evapotranspiration and cucumber water requirements, *Annals of Agricultural Sciences*. 56(1):49-55. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2011.05.001>
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES-IDEAM. 2020. Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos. Disponible desde Internet en: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- LI, H.; YANG, X.; CHEN, H.; CUI, Q.; YUAN, G.; HAN, X.; WEI, C.; ZHANG, Y.; MA, J.; ZHANG, X., 2018. Water requirement characteristics and the optimal irrigation schedule for the growth, yield, and fruit quality of watermelon under plastic film mulching. *Scientia Horticulturae*. 241:74-82. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.067>
- MAO, X.; LIU, M.; WANG, X.; LIU, C.; HOU, Z.; SHI, J. 2013. Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China Plain, *Agricultural Water Management*. 61(3):219-228. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00022-2)
- RAHIL, M.H.; QANADILLO, A. 2015. Effects of different irrigation regimes on yield and water use efficiency of cucumber crop. *Agricultural Water Management*. 148:10-15. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.09.005>
- RODRÍGUEZ, R.R.; VALDÉS, R.M.; ORTIZ, G.S. 2018. Características agronómicas y calidad nutricional de los frutos y semillas de zapallo *Cucurbita* sp. *Revista Colombiana De Ciencia Animal – RECIA*. 10(1):86-97. <https://doi.org/10.24188/recia.v10.n1.2018.636>
- SEYMEN, M.; YAVUZ, D.; DURSUN, A.; SAIT KURTAR, E.; TÜRKMEN, Ö. 2019. Identification of drought-tolerant pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) genotypes associated with certain fruit characteristics, seed yield, and quality. *Agricultural Water Management*. 221:150-159. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.009>
- TÜRKMEN, Ö.; SEYMEN, M.; FIDAN, S.; PAKSOY, M. 2016. Morphological parameters and selection of Turkish edible seed pumpkins (*Cucurbita pepo* L.) germplasm. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*. 10 (5):232-239.
- VISCONTI, F.; SALVADOR, A.; NAVARRO, P.; DE PAZ, J.M. 2019. Effects of three irrigation systems on 'Piel de sapo' melon yield and quality under salinity conditions. *Agricultural Water Management*. 226:105829. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105829>
- WANG, Y.; XIE, Z.; MALHI, S.; VERA, C.; ZHANG, Y. 2014. Gravel-sand mulch thickness effects on soil temperature, evaporation, water use efficiency and yield of watermelon in semi-arid Loess Plateau, China. *Acta Ecologica Sinica*. 34:261-265. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2014.05.007>
- YAVUZ, D.; SEYMEN, M.; YAVUZ, N.; ÇOKLAR, H.; ERCAN, M. 2021. Effects of water stress applied at various phenological stages on yield, quality, and water use efficiency of melon. *Agricultural Water Management*. 246:106673. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106673>
- ZHANG, Y.; WU, Z.; SINGH, V.; LIN, Q.; NING, S.; ZHOU, Y.; JIN, J.; ZHOU, R.; MA, Q. 2023. Agricultural drought characteristics in a typical plain region considering irrigation, crop growth, and water demand impacts. *Agricultural Water Management*. 282:108266. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108266>
- ZHANG, W.; LI, Y.; XU, Y.; ZHENG, Y.; LIU, B.; LI, Q. 2023. Alternate drip irrigation with moderate nitrogen fertilization improved photosynthetic performance and fruit quality of cucumber in solar greenhouse. *Scientia Horticulturae*. 308:111579. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111579>