

## Requerimiento hídrico del aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en los Montes de María, Sucre, norte de Colombia

*Water requirement of the avocado (Persea americana Miller) american variety, in the stage of nursery in the Montes de María, Sucre, north of Colombia*

Ronald Echeverría Pérez<sup>1\*</sup>, Teobaldis Mercado Fernández<sup>2</sup>

### RESUMEN

Para conocer los requerimientos hídricos del cultivo de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en la etapa de vivero, se evaluaron cuatro coeficientes de consumo Kc (0,5; 0,8; 1,2; 1,5) en una zona con evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) máxima de 4,5 mm día<sup>-1</sup>, durante el período de estudio, equivalentes a dosis de riego 2,3; 3,6; 5,4 y 6,8 mm día<sup>-1</sup>, respectivamente. Se encontró un efecto significativo de las dosis de riego sobre las variables de crecimiento y acumulación de biomasa, donde las mayores tasas de estos parámetros se obtuvieron con 3,6 mm día<sup>-1</sup> y las menores tasas bajo 2,3 y 6,8 mm día<sup>-1</sup>. Las mayores tasas de fotosíntesis (P<sub>n</sub>) se observaron con 3,6 y 5,4 mm día<sup>-1</sup>, mientras que para las variables conductancia estomática (g<sub>s</sub>), déficit de presión de vapor (DPV) y transpiración (E), los mayores valores se dieron con 5,4 mm.día<sup>-1</sup>. La eficiencia en el uso del agua (EUA) fue mayor con la menor dosis de riego. De acuerdo con los resultados de las variables de crecimiento y acumulación de biomasa, se determinó un Kc de 0,8.

**Palabras clave:** dosis de riego, evapotranspiración, crecimiento, biomasa, fotosíntesis

### ABSTRACT

To find out water requirements for the nursery stage of the American avocado variety cultivation (*Persea americana* Miller) were evaluated four consumption coefficients Kc (0,5; 0,8; 1,2; 1,5) in an area with 4,5 mm day<sup>-1</sup> as the maximum potential evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), during the study period, equivalent to irrigation doses 2,3; 3,6; 5,4 and 6,8 mm mm day<sup>-1</sup> respectively. A significant effect of the irrigation doses on the variables of growth and biomass accumulation was found, where the highest rates of these parameters were obtained with 3,6 mm.day<sup>-1</sup>, and lowest rates under 2,3 and 6,8 mm day<sup>-1</sup>. The highest photosynthesis rates (P<sub>n</sub>) were obtained with 3.6 and 5.4 mm day<sup>-1</sup>, while for stomatal conductance variables (g<sub>s</sub>), vapor pressure deficit (VPD), and transpiration (E), the highest values were given with 5.4 mm day<sup>-1</sup>. Higher water use efficiency (WUE) was obtained with the lowest irrigation dose. According to the results of the growth and biomass accumulation variables, a Kc of 0.8 was determined.

**Keywords:** irrigation doses, evapotranspiration, growth, biomass, photosynthesis.

### Introducción

El aguacate es una fruta tropical que ha venido escalando posiciones a lo largo de las dos últimas décadas. Esto le ha permitido ganar aceptación entre los consumidores, logrando que su consumo se incremente bajo diferentes presentaciones, no limitado únicamente al consumo en fresco, sino también procesado y en la industria cosmética.

Según información reportada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2018),

Colombia es el cuarto país productor de aguacate en el ranking mundial y el tercero en cuanto a área cosechada, con participación del 6% del área mundial. Cuando se da la producción más alta en el país, se compite en el mercado internacional con países como Egipto y Arabia Saudita, los cuales sacan ventaja con los menores costos de producción, para así dominar el mercado europeo. En cuanto a las importaciones de aguacate, estas han disminuido en un 96% en los últimos 4 años, pasando de 3.128 toneladas reportadas en

<sup>1</sup> Grupo de investigación cultivos tropicales de clima cálido, Universidad de Córdoba; Montería, Córdoba, Colombia.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agrícolas. Grupo de investigación cultivos tropicales de clima cálido. Universidad de Córdoba, Córdoba, Colombia.

\* Autor para correspondencia: recheverriaperez@correo.unicordoba.edu.co

el 2014 a 133 toneladas en el 2017. En cambio, las exportaciones han mostrado un incremento exponencial en el mismo periodo, pasando de 1.760 toneladas en el año 2014 a 28.487 para el 2017. La dinámica de producción en el país gira alrededor de 13.000 productores que manejan un aproximado de 18.113 unidades productivas, en las que tienen como principal actividad económica el cultivo de aguacate (MADR, 2018).

En la subregión Montes de María la producción de aguacate es liderada por El Carmen de Bolívar, San Jacinto, Barranco de Loba y El Peñón. Igualmente, en lo que corresponde al departamento de Sucre, los municipios que producen aguacate son Ovejas, Chalán y Colosó, en los cuales como en la mayoría de los Montes de María, la producción es de subsistencia y genera márgenes de rentabilidad bajos para los campesinos (Ramírez y Pérez, 2018).

En este sentido, es importante mencionar que el conocimiento en torno al manejo agronómico de este cultivo aún es limitado, situación que dificulta la utilización de herramientas tecnológicas tendientes a mejorar los resultados productivos. Uno de estos factores esenciales es el riego oportuno y eficiente, debido a que la falta de agua es una de las principales limitantes para el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas de aguacate. Un exceso de humedad afecta las relaciones hídricas de la planta como consecuencia de los bajos niveles de oxígeno en el suelo, mientras que un déficit hídrico puede provocar un bajo crecimiento y muerte de las plántulas (Steduto *et al.*, 2012).

Es de suma importancia técnica y económica para el productor de aguacate contar con información objetiva y veraz de la dosis de riego óptima en etapa de vivero. Esto permitirá un mejor crecimiento y desarrollo de las plantas, de modo que las plantaciones puedan obtener óptimas producciones y sanidad en el cultivo. Es por ello que se planteó como objetivo principal en esta investigación evaluar el efecto de cuatro dosis de riego sobre las variables de crecimiento e intercambio gaseoso del aguacate (*Persea americana* Miller.) variedad americana.

### Materiales y métodos

El trabajo experimental se realizó bajo condiciones controladas a nivel de vivero, en el municipio de Toluviejo, subregión Montes de María en el Departamento de Sucre, Colombia;

localizado a 09° 27' 07" latitud norte y 75° 26' 30" longitud oeste, con una elevación de 88 msnm. El área de estudio tiene una precipitación media anual de 1.159 mm, temperatura promedio de 27,3 °C, brillo solar de 5,9 horas luz/día, humedad relativa del 80% y ETo máxima de 4,5 mm día<sup>-1</sup>.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos y 4 repeticiones, para un total de 16 unidades experimentales, durante un periodo de 90 días después de trasplante (DDT). Cada unidad experimental con 50 plantas, con separación 0,2 m entre ellas y 0,95 m entre hileras. El área total del experimento fue de 59 m<sup>2</sup> y se utilizó una población de 800 plantas. Se evaluaron cuatro coeficientes de consumo Kc (0,5; 0,8; 1,2; 1,5), equivalentes de acuerdo con la ecuación 1, a dosis de 2,3; 3,6; 5,4 y 6,8 mm día<sup>-1</sup>, respectivamente, las cuales se aplicaron diariamente, mediante un sistema de riego por goteo.

$$UC = K_c (ET_o) \quad \text{Max} \left( \text{mm día}^{-1} \right) \quad (1)$$

donde:

UC es uso consuntivo, Kc el coeficiente del cultivo y  $(ET_o)_{\text{Max}}$  es la evapotranspiración de referencia máxima (mm día<sup>-1</sup>).

El ensayo se manejó bajo condiciones controladas, con cubierta plástica transparente y polisombra al 65%. Se utilizaron plantas de aguacate criollo o antillano (*Persea americana* Miller) var. Americana, las cuales fueron trasplantadas a los 23 días del semillero a bolsas de polietileno calibre 3 de 18 cm de diámetro y 35 cm de altura; con sustrato 1:1:1 (arena, cascarilla de arroz y materia orgánica), al que previamente se le realizaron los respectivos análisis fisicoquímicos, al igual que al agua de riego utilizada, en el laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Córdoba, Colombia.

Se efectuaron 6 muestreos destructivos durante 3 meses, uno cada 15 días a 12 plantas por tratamiento, para un total de 288 plantas bajo medición. Las variables de crecimiento y acumulación de biomasa evaluadas fueron área foliar (AF) en cm<sup>2</sup> planta que se calculó mediante el método gravimétrico con la relación peso/área, para lo cual se tomó el peso de 3 bocados, cortados con un sacabocado de área conocida de tres hojas por planta por unidad experimental; masa seca de raíz (MSR), masa seca de tallo (MST), masa seca de hojas (MSH) y masa seca total (MSTL),

medidas en gramos por planta, después de someter cada parte a secamiento con una mufla eléctrica MF-2006 de 20 litros de capacidad a 70 °C, durante 72 horas. La masa seca total (MSTL) es la suma de las masas secas de las partes de la planta. La fotosíntesis Pn ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), conductancia estomática gs ( $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), déficit de presión de vapor DVP (kpa), transpiración E ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) y uso eficiente del agua UEA (Pn/gs) se determinaron con un analizador de gases infrarrojo (IRGA) modelo CIRAS-3PP System, programado con una radiación fotosintéticamente activa (RFA) de 1000  $\mu\text{moles de fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$  y concentración de 400 ppm de  $\text{CO}_2$ .

## Resultados y discusión

### Efecto de las dosis de riego sobre el área foliar (AF)

De acuerdo a los resultados, el área foliar respondió a las dosis de riego a partir de los 45 DDT, mostrando tendencia de incremento hasta los 60 DDT. Luego comenzó a disminuir la tasa de desarrollo ajustándose a un modelo cuadrático. Entre los 45 y 90 DDT alcanzó un valor máximo (7.316  $\text{cm}^2$ ), con una dosis estimada de agua de 4,91  $\text{mm día}^{-1}$  (Figura 1). Las comparaciones de media de Tukey evidenciaron que los valores

medios más altos de AF se obtuvieron bajo las dosis de riego 3,6 y 5,4  $\text{mm día}^{-1}$ , con 7.669 y 7.221  $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ , respectivamente. Los menores valores se presentaron bajo las dosis de riego 2,3 y 6,8  $\text{mm día}^{-1}$  con valores al final del ensayo de 5.621 y 5.629  $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ , respectivamente.

Los resultados de AF con la dosis más alta de riego pueden estar asociados a una alteración del proceso de absorción y transporte de agua y sales minerales. Al respecto, Neuman (1993) sostiene que el desarrollo foliar puede verse afectado bajo condiciones de exceso de humedad, trayendo consigo alteraciones en la toma y transporte del agua. De este modo incidirá en la turgencia celular, el cual es uno de los factores determinantes en la tasa de expansión celular y, por consiguiente, del desarrollo del área foliar. Con la dosis 2,3  $\text{mm día}^{-1}$ , el AF fue creciente a lo largo de la fase de vivero, pero junto con 6,8  $\text{mm día}^{-1}$ , presentó las tasas más bajas de crecimiento de AF, comportamiento posiblemente asociado con la poca agua recibida y la escasa aireación en zonas cercanas al sistema radicular. Esto coincide con los resultados obtenidos por Schaffer *et al.* (1992), quienes sostienen que una poca difusión del oxígeno a nivel de raíces por exceso de humedad, puede reflejarse en una inhibición moderada a severa de la expansión foliar.

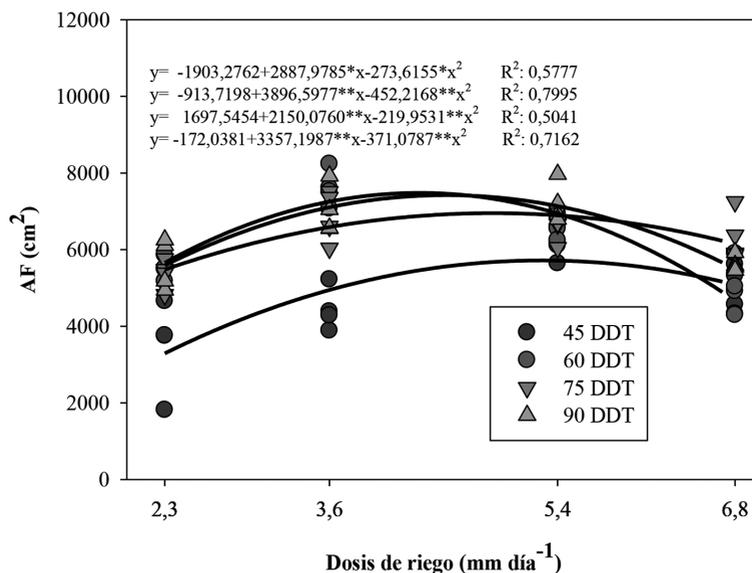


Figura 1. Área foliar (AF) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de las dosis de riego en etapa de vivero (15-90 DDT). \*: Diferencias significativas al 5%; \*\*: Diferencias significativas al 1%; R² = coeficiente de determinación.

## Efecto de las dosis de riego sobre las variables de acumulación de biomasa

### Masa seca de raíz (MSR)

La masa seca de raíz bajo las diferentes dosis de riego registró un desarrollo lineal durante la etapa de vivero. Asimismo, el análisis de varianza reportó que hubo diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) entre las dosis de riego para este mismo periodo (Tabla 1). Las comparaciones de media de Tukey mostraron los mayores valores de MSR, bajo las dosis de riego 3,6 mm día<sup>-1</sup> (20 g planta<sup>-1</sup>) y 5,4 mm día<sup>-1</sup> (18,4 g planta<sup>-1</sup>), mientras que los menores valores se presentaron con 2,3 mm día<sup>-1</sup> (13,6 g planta<sup>-1</sup>) y 6,8 mm día<sup>-1</sup> (13,5 g planta<sup>-1</sup>) (Tabla 2).

La dosis de riego más alta (6,8 mm día<sup>-1</sup>) probablemente no fue aprovechada en su totalidad, debido a estrés por falta de aireación, mientras que con la dosis mínima (2,3 mm día<sup>-1</sup>), los bajos valores de biomasa estuvieron asociados a un déficit hídrico. Estos resultados concuerdan con Steduto *et al.* (2012), quienes encontraron que en plantas de aguacate, bajos niveles de oxígeno en el suelo reducen el crecimiento radicular y humedades prolongadas pueden causar necrosis a nivel radicular, que a su vez se puede reflejar en abscisión foliar.

El punto crítico donde la raíz detiene su crecimiento 90 DDT puede ser un indicador del

momento óptimo en que las plantas deben ser llevadas a campo. Al respecto, Wencomo y Ortiz (2010), en estudios con *Leucaena* spp a nivel de vivero, sugieren como indicador del momento óptimo de trasplante, la masa seca de raíz y longitud de esta, por su estrecha relación con el desarrollo de la planta en esta etapa.

### Masa seca de tallo (MST)

El análisis de varianza reportó efecto de crecimiento con tendencia lineal de la dosis de riego; excepto 2,3 mm día<sup>-1</sup>, donde disminuyó después de registrar el máximo valor a los 60 DDT (Tabla 1). La prueba de comparaciones de media de Tukey indicó que las dosis 3,6 y 5,4 mm día<sup>-1</sup> durante todo el período de estudio presentaron los mayores valores con 25,30 y 23,32 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente, y los menores valores con 2,3 y 6,8 mm día<sup>-1</sup> (Tabla 2). Todas las dosis mostraron valores bajos de acumulación de masa seca en el tallo, lo cual se debe posiblemente a que bajo condiciones de déficit o exceso de humedad en el sustrato, se disminuye la capacidad fotosintética de la planta y por tal motivo hay una reducción de la masa seca de tallo. Esto concuerda con los resultados de Ouma (2007), al evaluar niveles de frecuencia de riego y capacidad de sustrato en los parámetros morfológicos de plántulas de

**Tabla 1.** Análisis de varianza de las variables de acumulación de biomasa: masa seca de raíz (MSR), masa seca de tallo (MST), masa seca de hojas (MSH) y masa seca total (MSTL) en plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de las dosis de riego en etapa de vivero (15-90 DDT).

Variable	Fuente	gl	Cuadrados medios					
			15	30	45	60	75	90
MSR	Dosis de riego	3	4,12**	6,30**	7,98**	5,75**	26,74**	44,06**
	Error	12	0,36	0,46	0,27	0,25	2,13	3,22
	CV (%)	–	9,89	7,73	5,23	4,60	10,69	10,97
MST	Dosis de riego	3	6,08**	2,97**	12,58*	23,21**	22,55**	70,69**
	Error	12	0,74	0,22	2,31	1,18	1,90	2,43
	CV (%)	–	14,22	4,82	13,03	7,45	8,02	7,42
MSH	Dosis de riego	3	3,68**	11,60**	19,42*	99,14**	79,69**	145,30**
	Error	12	0,37	0,58	3,26	4,11	4,36	16,05
	CV (%)	–	5,89	4,59	8,39	7,24	6,71	10,37
MSTL	Dosis de riego	3	34,72**	61,07**	139,94**	308,31**	227,69**	908,25**
	Error	12	1,65	2,51	15,31	15,15	28,47	51,54
	CV (%)	–	5,70	4,42	9,12	7,27	8,79	9,70

gl: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; \*\*: Diferencias significativas al 1%; \*: Diferencias significativas al 5%.

**Tabla 2.** Prueba de comparaciones de medias del efecto de cuatro dosis de riego para las variables de acumulación de biomasa masa seca de raíz (MSR), masa seca de tallo (MST) y masa seca de hojas (MSH), a los 90 días después del trasplante (DDT) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en Toluviéjo, Sucre.

Dosis de riego (mm.día <sup>-1</sup> )	MSR	MST	MSH
	(g)	(g)	(g)
2,3	13,58 B	15,75 C	32,58 C
3,6	20,00 A	25,30 A	42,80 AB
5,4	18,33 A	23,32 A	44,75 A
6,8	13,50 B	19,75 B	34,45 BC

Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey (p < 0,05).

portainjerto de aguacate (*Persea americana*), y Casierra y Gómez (2008), al determinar el estrés por encharcamiento en fique (*Furcraea castilla* y *Furcraea macrophylla*).

*Masa seca de hoja (MSH)*

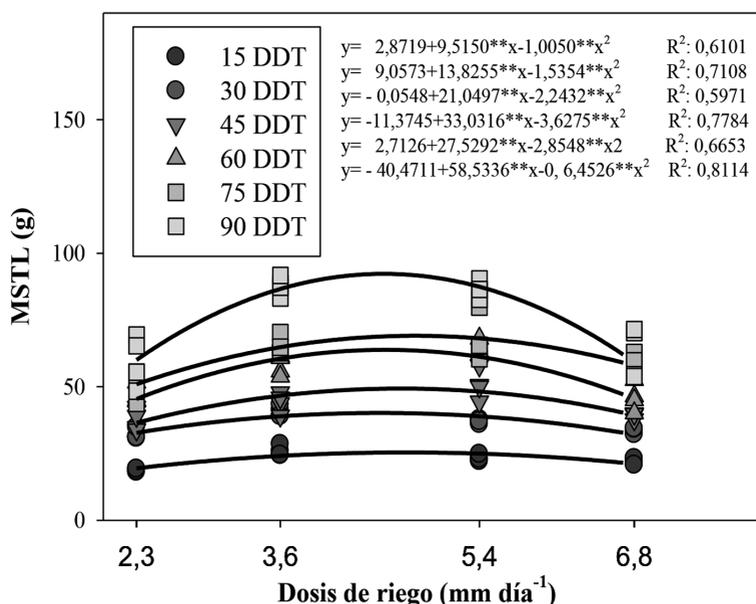
La MSH respondió bajo las diferentes dosis de riego y se incrementó linealmente entre los 15 y 90 DDT (Tabla 1). La prueba del rango estudentizado

de Tukey evidenció que los mayores valores de MSH se obtuvieron con las dosis de 3,6 y 5,4 mm día<sup>-1</sup> con 42,8 y 44,8 g planta<sup>-1</sup> respectivamente, mientras que los menores valores con 2,3 y 6,8 mm día<sup>-1</sup> con 32,6 y 34,5 g planta<sup>-1</sup> respectivamente (Tabla 2). La disminución en MSH con la dosis más alta se debe posiblemente al exceso de humedad en el sustrato, el cual afecta negativamente la expansión y formación de la hoja (Kozlowski y Pallardy, 1997).

*Masa seca total (MSTL)*

El análisis de varianza reportó diferencias significativas entre las dosis de riego sobre la MSTL (Tabla 1). Esta variable se incrementó hasta alcanzar un máximo bajo la dosis estimada de 4,57 mm día<sup>-1</sup>, de donde disminuyó la tasa de crecimiento, ajustándose a un modelo de regresión cuadrático (Figura 2).

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Vergara *et al.* (2017), quienes en un ensayo con plántulas de *G. melina arborea* bajo diferentes niveles de riego, observaron que al aumentar la lámina de riego se generaba un menor contenido de biomasa seca total.



**Figura 2.** Respuesta de la masa seca total (MSTL) durante etapa de vivero (15-90 DDT) en plantas de aguacate (*P. americana* Miller) variedad americana en función de las dosis de riego. \*: Diferencias significativas al 5%; \*\*: Diferencias significativas al 1%; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación.

En relación con el comportamiento de la menor dosis de riego ( $2,3 \text{ mm día}^{-1}$ ), concuerda con la respuesta obtenida por Freitas, *et al.* (2006), en *Eucalyptus Seedlings*, donde observaron una reducción de la masa seca total con estrés hídrico, por baja dosis de riego. Osorio *et al.* (1998), en investigación con *Eucalyptus globulus*, atribuyen la baja producción de biomasa seca total a una disminución en el área foliar, provocada por déficit hídrico. Es importante resaltar que, de acuerdo a los modelos cuadráticos a los que se ajustó la MSTL con las dosis de riego, el máximo valor se encontró entre los 75 y 90 DDT, siendo este tiempo un indicador del momento óptimo para llevar las plantas al sitio definitivo.

### Efecto de las dosis de riego sobre las variables de intercambio gaseoso

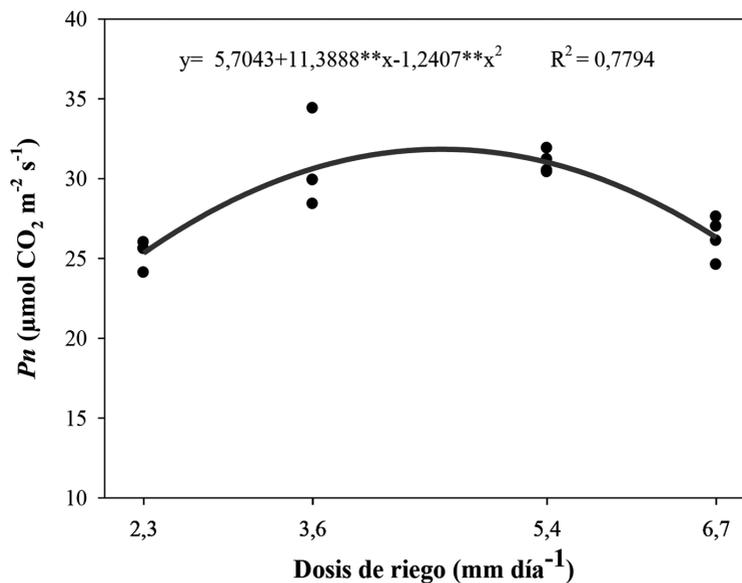
#### Fotosíntesis neta ( $P_n$ )

Los resultados mostraron que la fotosíntesis fue influenciada por las dosis de riego, incrementándose hasta registrar un valor de  $31,83 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  con una dosis estimada de  $4,67 \text{ mm día}^{-1}$ , a partir de la cual comenzó a decrecer, ajustándose al modelo cuadrático (Tabla 3) (Figura 3). A través de las comparaciones de media de Tukey, se encontró que la dosis de  $5,4 \text{ mm día}^{-1}$  presentó el valor medio más alto de  $P_n$ , con  $31,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , el cual fue estadísticamente igual a los conseguidos con

**Tabla 3.** Análisis de varianza de los parámetros de intercambio gaseoso: fotosíntesis neta ( $P_n$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ), transpiración (E), déficit de presión de vapor (DPV) y Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de las dosis de riego a los 90 DDT.

Fuente	gl	Cuadrados medios				
		$P_n$	$g_s$	E	DPV	EUA
Dosis de riego	3	34,08**	843,33**	0,82**	2,65**	5465,66**
Error	12	2,41	6,17	0,002	0,05	46,25
CV (%)	–	5,48	8,71	5,97	4,95	11,92

gl: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; \*\*: Diferencias significativas al 1%



**Figura 3.** Respuesta de la fotosíntesis ( $P_n$ ) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de las dosis de riego a los 90 DDT. \*: Diferencias significativas al 5%; \*\*: Diferencias significativas al 1%;  $R^2$  = coeficiente de determinación.

la dosis 3,6 mm día<sup>-1</sup>. No se encontró diferencia estadística alguna entre aplicar la máxima y la mínima dosis de riego (Tabla 4). En relación con este comportamiento, Azcón *et al.* (2013) afirman que cuando el suministro de agua es suficiente y la radiación incidente es la adecuada, se favorece la alta actividad fotosintética de la planta, dado que se incrementa la demanda de CO<sub>2</sub> dentro de la hoja. Esto concuerda con el estudio de variación estacional de la fotosíntesis en varios cultivares de aguacate (*Persea americana*), donde encontraron un incremento en la tasa de fotosíntesis neta hasta 30,05 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> con un adecuado suministro de agua.

#### Conductancia estomática ( $g_s$ )

Esta variable respondió significativamente a los efectos de las dosis de riego ( $D_R$ ), donde el máximo valor se obtuvo con una dosis de riego estimada de 5,05 mm día<sup>-1</sup> (ecuación 2) con 42,08  $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Tabla 3).

$$g_s = -68,6116 + 43,8474 \times D_R - 4,3424 \times (D_R)^2 \quad (2)$$

$(R^2 = 0,8646)$

donde:

$g_s$  es la conductancia estomática,  $D_R$  la dosis de riego y  $R^2$  el coeficiente de determinación.

Las comparaciones de media de Tukey mostraron que la dosis de riego 5,4 mm día<sup>-1</sup> presentó el valor más alto de  $g_s$  con 47,0  $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mientras que el menor con 2,3 mm día<sup>-1</sup> registró 11,50  $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Tabla 4), con disminución de la tasa de crecimiento de la planta, lo cual coincide con Paiva *et al.* (2005), en su trabajo Conductancia estomática de hojas

de frijol (*Vigna unguiculata*) sometidas a diferentes regímenes de riego.

En este ensayo la fotosíntesis neta ( $P_n$ ) y la conductancia estomática ( $g_s$ ) presentaron las mismas tendencias de crecimiento, posiblemente por la disponibilidad de agua suficiente, lo cual permitió una apertura estomática más amplia, disminuyendo la resistencia estomática a la difusión de CO<sub>2</sub> y aumentando la actividad fotosintética. En este sentido, también Díaz (2000) en sus estudios con olivo, *Olea europaea* L, sostiene que el rango de apertura está relacionado con el contenido de agua en el suelo, de tal manera que a mayor disponibilidad de agua en el suelo o sustrato, mayor será la conductancia estomática ( $g_s$ ).

#### Déficit de presión de vapor (DPV)

El análisis de varianza mostró efecto de las dosis de riego ( $D_R$ ) sobre DPV, con similar respuesta a las registradas por la  $P_n$  y  $g_s$  (Tabla 3). El máximo valor de 5,29 mb se encontró con una dosis estimada de 5,29 mm día<sup>-1</sup> (ecuación 3).

$$\text{DPV} = 0,4474 + 1,7700 \times D_R - 0,1675 \times (D_R)^2 \quad (3)$$

$(R^2 = 0,5764)$

donde:

DPV es déficit de presión de vapor,  $D_R$  es la dosis de riego y  $R^2$  es el coeficiente de determinación.

Las comparaciones de media de Tukey mostraron que la dosis de 5,4 mm día<sup>-1</sup> presentó el mayor valor medio de DPV con 5,69 kpa, mientras que la dosis de 2,3 mm día<sup>-1</sup> el más bajo con 3,87 kpa (Tabla 4). Estos resultados no coinciden con la investigación de Turner *et al.* (1984), quienes

**Tabla 4.** Comparaciones de media del efecto de cuatro dosis de agua sobre las variables fotosíntesis ( $P_n$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ), déficit de presión de vapor (DPV), transpiración (E) y Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana a los 90 DDT.

Dosis de riego (mm día <sup>-1</sup> )	$P_n$	$g_s$	DPV	E	EUA
	( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$\mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	(kpa)	$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$	
2,3	25,33 B	11,50 C	3,87 C	0,23 C	109,14 A
3,6	30,65 A	27,50 B	4,08 C	0,57 B	54,56 B
5,4	31,00 A	47,00 A	5,69 A	1,32 A	23,58 C
6,8	26,33 B	28,00 B	4,56 B	0,65 B	40,95 B

Letras mayúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

encontraron que un aumento del DPV genera disminución de la conductancia estomática, transpiración y tasa fotosintética. Pero es evidente que la apertura y cierre de los estomas no depende únicamente del déficit de presión de vapor, sino también de otros factores como luz, temperatura y concentración intercelular de CO<sub>2</sub>.

### Transpiración (E)

La prueba de Tukey mostró que el valor más alto de E (1,32 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) se obtuvo con la dosis 5,4 mm día<sup>-1</sup>, mientras que el menor (0,23 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) se dio bajo 2,3 mm día<sup>-1</sup> (Tabla 4). El modelo al que se ajustó esta variable se determinó mediante la ecuación 4.

$$E = 2,1121 + 1,2623 \times D_R - 0,1247 \times (D_R)^2 \quad (4)$$

$$(R^2 = 0,7636)$$

donde:

E es la transpiración, D<sub>R</sub> la dosis de riego y R<sup>2</sup> el coeficiente de determinación.

Los resultados evidenciaron un efecto significativo ( $p < 0,01$ ) de las dosis de riego sobre este parámetro, en el que las dosis más altas incidieron directamente sobre mayores valores de E como consecuencia de

una amplia apertura estomática, producto de una disponibilidad de agua suficiente (Tabla 3). En este sentido, Azcón-Bieto y Talón (2013) sostienen que la conductancia estomática ( $g_s$ ) tiene un efecto directo sobre la tasa de transpiración, ya que el flujo de CO<sub>2</sub> durante la fijación por rubisco implica una pérdida sustancial de agua por transpiración. De igual manera, a menor conductancia estomática disminuye la transpiración (Filgueiras *et al.*, 2015). También esta variable está relacionada con el DPV, ya que mayores valores de DPV generan una mayor intensidad de E (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

### Eficiencia en el uso del agua (EUA)

Esta variable respondió significativamente ( $p < 0,01$ ) a los efectos de las dosis de riego (Tabla 3). El comportamiento de la EUA se ajustó a una regresión cuadrática, donde inicialmente disminuyó con el aumento de las dosis de riego (Figura 4). De igual forma, la prueba del rango estudentizado de Tukey presentó el mayor valor de EUA cuando se aplicó la menor dosis de riego, mostrando una tendencia a disminuir cuando se incrementaron las dosis (Tabla 4).

Los resultados de esta investigación indican que las plantas son más eficientes en el uso del agua conforme exista una menor disponibilidad de esta en el suelo. Sin embargo, esta respuesta estuvo

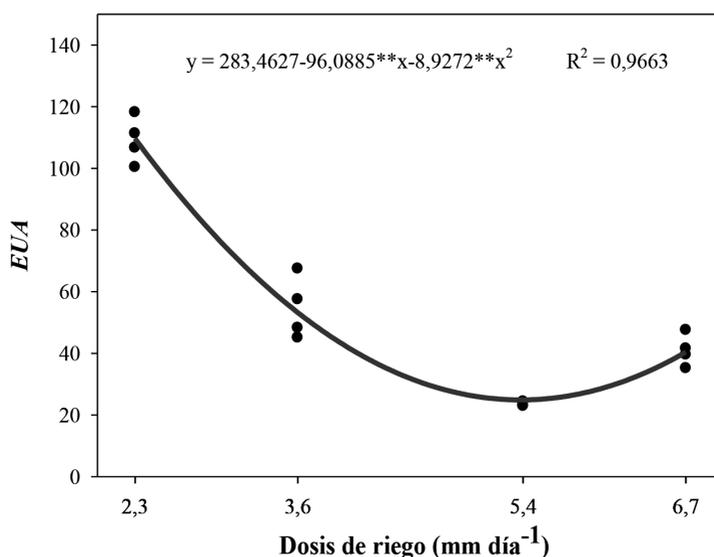


Figura 4. Respuesta de la conductancia estomática ( $g_s$ ) en aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en función de las dosis de riego a los 90 DDT. \*: Diferencias significativas al 5%; \*\*: Diferencias significativas al 1%; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación.

acompañada de una menor actividad fotosintética, concordando con lo argumentado por Flexas *et al.* (2013), quienes atribuyen el aumento de la eficiencia en el uso del agua a reducciones de la conductancia estomática y las tasas de fotosíntesis. Para Azcón-Bieto y Talón (2013), los altos valores en EUA con dosis bajas de riego se explican por el cierre estomático, mientras que con una mayor disponibilidad de agua, el DPV aumenta la transpiración sin incremento simultáneo de la fotosíntesis, provocando una disminución de EUA.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Colciencias por la financiación del estudio. También agradecen a la Gobernación de Sucre, Colombia; Cecar y Universidad de Córdoba, Colombia, por la disponibilidad en el alistamiento y acompañamiento del trabajo de campo.

### Conclusiones

La dosis de riego que presentó los mayores valores en las variables de crecimiento y acumulación de biomasa fue 3,6 mm día<sup>-1</sup> (Kc: 0,8), mientras que los menores valores se dieron bajo las dosis 2,3 y 6,8 mm día<sup>-1</sup>.

La máxima acumulación de biomasa se produjo a los 90 DDT, y constituye el momento óptimo en que las plantas deben ser llevadas a campo.

Las variables Pn, gs y E fueron influenciadas directamente por el contenido de agua en el sustrato.

Las mayores tasas de Pn, gs, DPV y E se evidenciaron con la dosis 5,4 mm día<sup>-1</sup>, mientras que los menores valores se dieron bajo la dosis 2,3 mm día<sup>-1</sup>.

Las plantas de aguacate (*P americana* Miller) variedad americana fueron más eficientes en el uso del agua (UEA), cuando hubo menor disponibilidad de esta.

### Literatura citada

- Azcón-Bieto, J.; Fleck, I.; Aranda, X.; Gómez-Casanovas, N. 2013. Fotosíntesis, factores ambientales y cambio climático. En: Azcón-Bieto, J.; Talón, M. (Eds.). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2da Edición, McGraw-Hill. Barcelona. España. pp. 247-263.
- Casierra, F.; Gómez, N. 2008. Crecimiento foliar y radical en plantas de fique (*Furcraea castilla* y *F. macrophylla*) bajo estrés por encharcamiento. *Revista Agronomía Colombiana*, 26 (3): 381-388.
- Filgueiras, A.; Soares, A.; Beserra, L.; Ferreira, A.; Menezes, I.; Barbosa, M. 2015. Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de 68 feijãoocupi cultivado sob deficiência hídrica. *Revista Brasileira Ciências Agrárias*. 10 (2): 189-197.
- Flexas, J.; Niinemets, Ü.; Gallé, A.; Barbour, M.; Centritto, M.; Díaz, A.; Medrano, H. 2013. Diffusional conductances to CO<sub>2</sub> as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency. *Photosynthesis Research*, 117: 45-59.
- Ferreira, R.; Selles, G.; Fereres, E. 2012. Respuesta del rendimiento de árboles frutales y vides al agua: guías (aguacate). En: Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E.; Raes, D. (Eds.). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Estudio FAO: Riego Y Drenaje. Roma, Italia. pp. 251-494.
- Freitas, T.; Barroso, D.; Carneiro, J.; Penchel, R.; Figueiredo, F. 2006. Mudras de eucalipto produzidas a partir de miniestacas em diferentes recipientes e substratos. *Revista Arvore*, 30 (4): 519-528.
- Kozłowski, T.; Pallardy, S. 1997. Physiology of woody plants. *Biologia Plantarum*, 40, 168. DOI: 10.1023/A:1001045426068
- MADR. 2019. Ya somos el cuarto productor de aguacate del mundo y tenemos todo para convertirnos en grandes exportadores: ministro Valencia Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible. en: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Ya-somos-el-cuarto-productor-de-aguacate-del-mundo-y-tenemos-todo-para-convertirnos-en-grandes-exportadores-ministro-Valenc.aspx> Consultado: 15/10/2020.
- Neuman, D. 1993. Shoot responses to root stress - a resource gathering point of view. *Journal of Arboriculture*, 19 (2): 118-123.
- Ouma, G. 2007. Morphological and physiological parameters of avocado (*Persea americana*) rootstock seedlings as affected by different container sizes and different levels of irrigation frequency. *Journal of Biological Sciences*, 7: 833-840.
- Osorio, J., Osorio, M.; Chaves, M.; Pereira, J. 1998. Water deficits are more important in delaying growth than in changing patterns of carbon allocation in *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*, 18 (6): 363-373.
- Paiva, A., Fernandes, E., Rodrigues, T.; Turco, J. 2005. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetidos a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*, 25 (1): 161-169.
- Ramírez, A.; Pérez, C. 2018. Competitividad en las organizaciones de productores de aguacate en Sucre, Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 15 (81): 80-92.
- Sánchez-Díaz, M.; Aguirreolea, J. 2013. Transpiración y control estomático. En: Azcón-Bieto, J.; Talón, M. (Eds.). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2da Edición, McGraw-Hill. Barcelona. España. pp. 41-56.

Schaffer, B., Andersen, P.; Ploetz, R.

1992. *Responses of fruit crops to fooding. Horticultural Reviews, Chapter, 7 (13): 257-313.*

Turner, N., Schulze E.; Gollan, T.

1984. The response of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. *Oecologia* 65: 348-355.

Vergara, A., Mercado, T., Jarma, A.; Gatti, K.

2017. Requerimiento hídrico de *Gmelina arborea* en etapa de vivero bajo condiciones controladas. *Floresta e Ambiente*, 24: 6-8.

Wencomo, H.; Ortiz, R.

2010. Comportamiento de 23 accesiones de *Leucaena* spp. en condiciones de vivero. *Revista Pastos y Forrajes*, 33 (2) :4-5.