

## COMPORTAMIENTO MORFOFISIOLÓGICO Y PRODUCTIVO DE CHILE DULCE HIDROPÓNICO EN INVERNADERO CON DIFERENTES ESTRATEGIAS DE MANEJO DEL FERTIRIEGO

Freddy Soto-Bravo<sup>1/\*</sup>, Josué Isaac Monge-Palma<sup>2</sup>

**Palabras clave:** Morfofisiología vegetal; rendimiento chile dulce; cultivo sin suelo; manejo del fertiriego.

**Keywords:** Plant morphophysiology; sweet pepper yield; soilless crop; fertigation management.

**Recibido:** 12/06/22

**Aceptado:** 22/08/22


### RESUMEN

**Introducción.** El manejo del agua y de los nutrientes afecta el balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo de los cultivos de fruto y consecuentemente el potencial de rendimiento. Conocer los patrones morfofisiológicos y productivos de un cultivo aporta indicadores de un adecuado balance fuente/sumidero para obtener óptimos rendimientos. **Objetivo.** Evaluar el efecto diferentes estrategias de manejo del riego y la nutrición sobre el comportamiento morfofisiológico y productivo del híbrido de chile dulce “Dulcítico” bajo condiciones hidropónicas en invernadero. **Materiales y métodos.** El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Universidad de Costa Rica, con un diseño irrestricto al azar bifactorial (3 X 2), con 6 tratamientos con 3 repeticiones, que combinaron 3 niveles de nutrición: baja ( $B_C$ ), media ( $M_C$ ) y alta ( $A_C$ ) concentración de nutrientes y 2 estrategias de riego, con  $E_1$ : menor volumen y mayor frecuencia y  $E_2$ : mayor volumen y menor frecuencia.


Se evaluó el área foliar (AF), número de hojas (NH), longitud (LT) y diámetro del tallo (DT), pesos secos de tallos (PsT), hojas (PsH) y flor-fruto verde (PsF), radiación fotosintéticamente activa interceptada (PARi), número de botones florales (BF), número de frutos cuajados (FC) y rendimiento de frutos total (RT), comercial (RC) según calidad: primera (I), segunda (II) y tercera (III) y desecho (D). **Resultados.** Únicamente hubo efecto de los distintos niveles de nutrición, sin interacción entre factores. Las plantas del tratamiento  $B_C$  presentaron el menor crecimiento (AF, NH, PsT, PsH) y consecuentemente menos producción (5,4 kg.m<sup>-2</sup>). Las plantas del tratamiento  $A_C$  tuvieron un crecimiento superior que  $M_C$ , y consecuentemente más BF, FC y RT. No obstante, el tratamiento  $M_C$  obtuvo el mayor RC (9,2 kg.m<sup>-2</sup>) debido a una mayor producción de frutos de I y II calidad, y menor producción de tercera y desecho. **Conclusión.** El tratamiento  $M_C$  evidenció el mejor balance entre crecimiento vegetativo y productivo, que se reflejó en mayor producción de frutos comerciales de mejor calidad y menos desecho.

\* Autor para correspondencia. Correo electrónico: freddy.sotobravo@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Costa Rica.

 0000-0003-1959-9597.

2 Instituto Nacional de Aprendizaje, Costa Rica.

 0000-0002-7079-2547.

## ABSTRACT

### Morphophysiological and productive behavior of hydroponic sweet pepper in greenhouse with different fertigation management strategies. Introduction.

Water and nutrient management affects the balance between vegetative and reproductive growth of fruit crops and consequently yield potential. Knowing the morphophysiological and productive patterns of a crop provides indicators of an adequate source/sink balance to obtain optimal yields.

**Objective.** To evaluate the effect of different irrigation and nutrition management strategies on the morphophysiological and productive behavior of the hybrid sweet pepper “Dulcítico” under hydroponic conditions in greenhouse. **Materials and methods.** The research was carried out at the Fabio Baudrit Moreno Agricultural Experiment Station, University of Costa Rica, with an unrestricted random bifactorial design (3 X 2), with 6 treatments with 3 repetitions, that combined 3 levels of nutrition: low ( $B_C$ ), medium ( $M_C$ ) and high ( $A_C$ ) concentration of nutrients

and 2 irrigation strategies, with  $E_1$ : lower volume and higher frequency and  $E_2$ : higher volume and lower frequency. Leaf area (AF), number of leaves (NH), length (LT) and diameter of the stem (DT), dry weight of stems (PsT), leaves (PsH) and flower-green fruit (PsF), radiation photosynthetically active intercepted (PARi), number of flower buds (BF), number of fruit set (FC) and total fruit yield (RT) and commercial (RC) according to quality of first (I), second (II), third (III) and waste (R), were evaluated. **Results.** There was only an effect of the different levels of nutrition, without interaction between factors. The  $B_C$  treatment plants showed the lowest growth (BF, FC y RT) and consequently less production ( $5.4 \text{ kg.m}^{-2}$ ). The  $A_C$  treatment plants had a higher growth than  $M_C$ , and consequently more BF, FC, and RT. However, the  $M_C$  treatment obtained the highest RC ( $9.2 \text{ kg.m}^{-2}$ ) due to a higher production of fruits of I and II quality and lower production of third and waste. **Conclusion.**  $M_C$  treatment showed the best balance between vegetative and productive growth, which was reflected in a higher production of commercial fruits of better quality and less waste.

## INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, el chile dulce (*Capsicum annum*) es la sexta hortaliza más cultivada, con un área de cultivo aproximada de 500 ha, una producción de 8533 t y un consumo per cápita anual de 3,5 kg (SEPSA 2018). A nivel nacional se han reportado rendimientos de 8,2 a 43  $\text{t.ha}^{-1}$  en cultivo a campo abierto (MAG 2007) y hasta 128  $\text{ton.ha}^{-1}$  en invernadero (Soto-Bravo *et al.* 2020). En los últimos años el mercado de exportación ha tomado relevancia, por ejemplo, en el 2014 se exportó aproximadamente 1,3 millones de kg a Estados Unidos (Mora *et al.* 2018).

La agricultura emplea una alta cantidad de recursos hídricos y fertilizantes. En el 2018, cerca del 70% del agua dulce disponible se utilizó en actividades agrícolas a nivel mundial y

en algunos países en desarrollo incluso hasta el 95% del agua local (FAO 2017). Se prevé, que con el aumento de la población mundial también aumente la necesidad por este recurso, a un ritmo tan acelerado que para el 2025 más del 50% de la población mundial podría estar viviendo en territorios afectados por déficit hídrico (FAO 2013), lo cual podría agravarse con la escasez de lluvias producto del cambio climático (WWAP 2016).

La ONU (2015) estimó que a nivel mundial el consumo de fertilizantes alcanzaría los 200 millones de t durante el 2018, mientras que en América Latina pronosticó que el uso de fertilizantes a base de nitrógeno, fósforo y potasio aumentaría un 3,3%. El alto consumo de agua y fertilizantes en la agricultura se relaciona principalmente con su uso excesivo (FAO 2017), tal es

el caso de los fertilizantes nitrogenados donde el 80% se desperdicia (United Nations 2019).

El comportamiento morfofisiológico y productivo de cultivos de fruto está determinado por su genética, condiciones ambientales y la disponibilidad de agua y nutrientes (González-Real *et al.* 2008, Qian *et al.* 2012, Li *et al.* 2017), factores que influyen en la partición de asimilados y consecuentemente en el balance fuente/sumidero (Wubs *et al.* 2009, Iqbal *et al.* 2015). Dicho balance es un concepto muy utilizado en especies que presentan ciclos de producción de frutos y cosechas sucesivos, lo que lleva a alternar períodos de baja y alta carga de frutos (González-Real *et al.* 2009). La estrategia de manejo del agua y los fertilizantes determina su disponibilidad para el cultivo y consecuentemente el patrón de crecimiento vegetativo y reproductivo. Por tanto, determinar los requerimientos frente a la disponibilidad de agua y nutrientes del cultivo, favorece la implementación de mejores prácticas de manejo que permitan aprovechar al máximo el potencial genético productivo de un cultivar (Mardaninejad *et al.* 2017) con una mejor eficiencia de uso de dichos recursos.

Actualmente, la escasez y el aumento en el precio de los fertilizantes junto a un manejo deficiente del riego limita la productividad de los cultivos, ya que el exceso de agua y fertilizantes favorece un crecimiento vegetativo excesivo que promueve el desbalance entre fuente y sumidero, lo que afecta la calidad y el rendimiento de frutos. Adicionalmente, hay un incremento del área foliar lo que favorece el incremento de la transpiración del cultivo (Qiu *et al.* 2013) junto a una reducción en la eficiencia del uso de agua fertilizantes. Además, un exceso de agua y fertilizantes promueve la contaminación ambiental y aumenta los costos reduciendo la rentabilidad.

Por otra parte, las deficiencias nutricionales combinadas con el estrés hídrico inducen el aborto floral y un bajo cuaje de frutos (Arroyo-Vargas *et al.* 2013, Dorji *et al.* 2005), retarda el crecimiento y favorece la malformación de frutos (Quesada 2015, Akinci y Losel 2015, Mardaninejad *et al.* 2017), lo cual reduce consecuentemente la calidad

y el rendimiento de los cultivos. Además, el estrés hídrico disminuye el área foliar y la conductancia estomática ( $g_s$ ) como una respuesta de las plantas para reducir las pérdidas de agua por transpiración (Taiz y Zeiger 2002, Mundree *et al.* 2002, Mustafa *et al.* 2014).

Por tanto, identificar y cuantificar el comportamiento de las variables morfológicas, fisiológicas y reproductivas en función del manejo del riego y la nutrición, la genética y el clima, permite identificar estrategias de manejo que permitan promover un proporcionado equilibrio entre crecimiento vegetativo y productivo, con el propósito de obtener el máximo rendimiento y calidad de los frutos (Taiz y Zeiger 2002), haciendo un uso eficiente de dichos recursos. Una mayor eficiencia del agua y de los fertilizantes implica obtener un mayor rendimiento por cantidad utilizada de dichos recursos (Gleick *et al.* 2011), sin limitar el crecimiento y la producción de los cultivos.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes estrategias de manejo del riego y la nutrición sobre el comportamiento morfofisiológico y productivo del híbrido de chile dulce “Dulcítico” hidropónico en invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Sitio experimental.** La investigación fue realizada entre junio y noviembre del 2019, en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno (EEFBM), ubicada en San José de Alajuela, Costa Rica (10° 01' N y 84° 16' O, 840 msnm), con valores promedio anual de temperatura y humedad relativa y precipitación acumulada de 22°C, 78% y 1940 mm, respectivamente.

Se utilizó un invernadero multitúnel de hierro galvanizado, con cubierta de polietileno transparente (200  $\mu$ m) y malla anti-insectos (50 mesh) en las paredes, formado por 4 módulos de 9,75 m de ancho y 50 m de largo, altura de 6 m al centro del túnel y 4 m a la canoa, orientado en dirección este-oeste. La ventilación fue pasiva en paredes laterales combinada con apertura automatizada de ventanas cenitales según la velocidad del viento e intensidad de lluvia.

**Condiciones climáticas.** Durante el experimento se monitoreó la evolución semanal de la radiación solar global (Piranómetro LI-COR Mod. LI-200SA), la temperatura y la humedad relativa (VAISALA Modelo HMP-35C). Los valores de la integral de radiación solar (Figura 1a) variaron

entre 4,8 y 16,8 MJ m<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup> con un promedio global de 10,8 m<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>. Los promedios globales de máximas, mínimas y promedios, en el mismo orden, fueron 32,8; 19,7 y 24,7°C para temperatura (Figura 1b) y de 98,2; 46,5 y 81,2% para humedad relativa (Figura 1c).

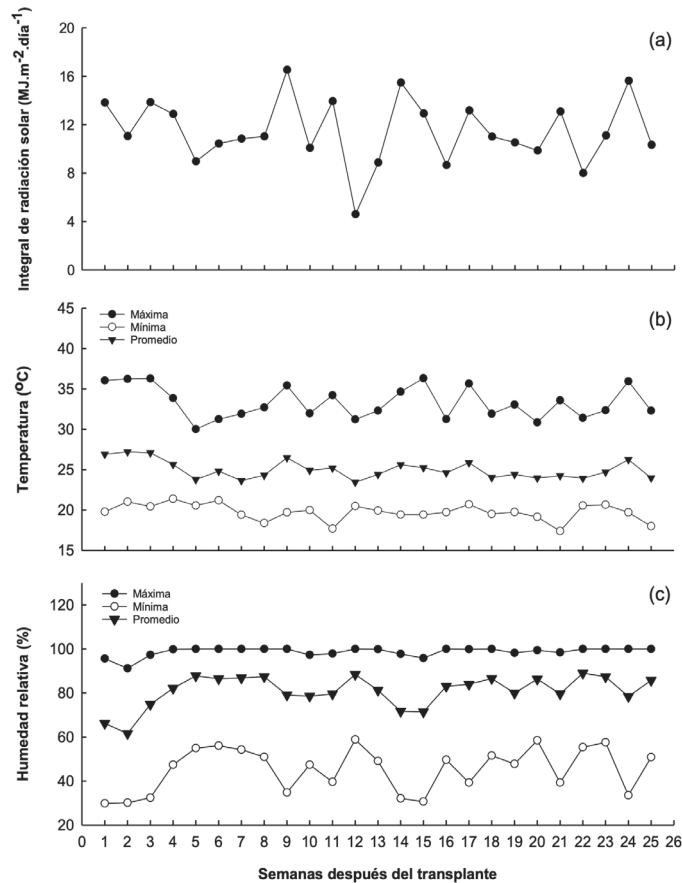


Figura 1. Evolución del promedio semanal durante el ciclo experimental, de las condiciones climáticas de (a) integral de radiación solar (b), valores máximos, mínimos y promedios de temperaturas y (c) humedad relativa, dentro del invernadero. Alajuela, Costa Rica. 2019.

**Sistema de cultivo.** El cultivo se estableció en hidroponía a drenaje libre para lo cual se utilizó como sustrato, fibra de coco en sacos comprimidos (100 x 14 x 2,5 cm) con cobertura plástica color blanco. Pevio a la siembra, estos fueron hidratados mediante riegos cortos y frecuentes hasta alcanzar un volumen aproximado

de 28,8 L (100 x 18 x 16 cm). Finalmente, se realizaron 3 cortes equidistantes en el plástico cobertor en el borde inferior, para drenar el exceso de agua. Las características físicas del sustrato (Tabla 1) fueron determinadas en laboratorio siguiendo la normativa UNE-EN-13041-2007 (AENOR 2007).

Tabla 1. Características físicas de la fibra de coco hidratada utilizada como sustrato para el cultivo de chile dulce hidropónico en invernadero.

Característica física	Valor óptimo <sup>1</sup>	Valor medido
Partículas < 1 mm = índice de grosor (%)		83,0
Partículas entre 1 y 4 mm (% p.p <sup>-1</sup> )	--	58,0
Partículas > 4 mm (% p.p <sup>-1</sup> )	--	25,0
Densidad aparente (gr.cm <sup>-3</sup> )	>0,15	0,075
Densidad real (gr.cm <sup>-3</sup> )	<1,0	0,65
Porosidad total (% v.v <sup>-1</sup> )	> 85%	88,5
Partículas sólidas (% v.v <sup>-1</sup> )	< 15%	11,5

<sup>1</sup> Adaptado de Ansorena (1994).

Previo a definir los tratamientos de agotamiento hídrico se determinó la curva de retención de humedad de la fibra de coco (Figura 2) según la norma (UNE-EN-13041 2007). Para ello, se determinó el porcentaje de humedad volumétrica ( $\theta$ ) en muestras sometidas a valores de potencial mátrico ( $\psi_m$ ) de 1,0; 2,5; 5,0; 7,5 y 10

kPa, mediante un equipo de caja de arena (Eikelkamp, mod. 08.01). Para cada  $\psi_m$  se utilizaron 4 repeticiones y se asumió que la  $\theta$  a 1 kPa y a 10 kPa correspondieron a la capacidad de contenedor ( $\theta_{CC}$ ) y al punto de marchitez permanente ( $\theta_{PMP}$ ), respectivamente.

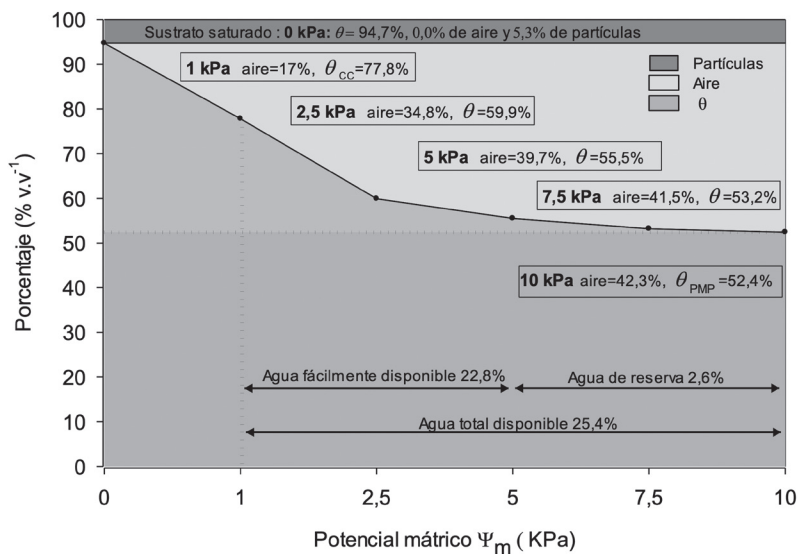


Figura 2. Contenido de partículas sólidas y curva de desorción de agua:aire que muestra los porcentajes de humedad volumétrica ( $\theta$ ) y de capacidad de aireación a diferentes valores de potencial mátrico (kPa); y contenidos de agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua total disponible (ATD), en el sustrato de fibra de coco. Alajuela Costa Rica. 2019.

A partir de los porcentajes de  $\theta$  obtenidos, se estimó el agua fácilmente disponible (AFD=22,8%) como la diferencia entre  $\theta_{CC}$  (77,8%) y  $\theta_{5kPa}$  (52,5%) y el agua de reserva (AR=2,61%) como la resta entre  $\theta_{5kPa}$  (55%) y  $\theta_{PMP}$  (52,5%). El agua total disponible (ATD=25,3%) se obtuvo de la suma de AFD más el AR (Figura 2). Según los porcentajes de AR y AFD, y el volumen de sustrato por saco (28,8 L) se estimaron los volúmenes de AFD (6,6 L), AR (0,75 L) y el ATD (7,3 L) por saco de cultivo. Finalmente, la capacidad de aireación (%) del sustrato en cada  $\psi_m$ , se obtuvo como la diferencia entre porosidad total (94,7%) y el respectivo porcentaje de  $\theta$ .

Para el suministro de agua y nutrientes se utilizó un sistema de riego por goteo superficial, compuesto por tanques (2500 L), bombas eléctricas (1 HP), manómetros de glicerina (0-100 PSI), tubería principal de polietileno (25 mm), tuberías laterales de polietileno (19 mm) para cada hilera de cultivo con goteros (3 L.h<sup>-1</sup>) antidrenantes y autocompensados conectados a un microtubo (5,5 mm) de 60 cm de largo con un gotero estaca como anclaje al sustrato. Cada unidad experimental correspondió a un sector de riego independiente con su respectiva válvula solenoide. El sistema de riego se desinfectó con cloro y seguidamente fue lavado con ácido fosfórico para eliminar precipitados y residuos de sales.

**Material genético.** Se utilizó el híbrido de chile dulce Dulcítico, desarrollado en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno de la Universidad de Costa Rica. Este se caracteriza por ser una planta de crecimiento indeterminado, con el inicio de la cosecha entre los 75 y 90 días después de siembra, frutos de forma cónica color verde-rojizo, alto grado brix (Echandi 2012) y un rendimiento de hasta 12,8 kg.m<sup>-2</sup> (Soto-Bravo *et al.* 2020).

**Manejo agronómico del cultivo.** Para la siembra se utilizaron plántulas producidas en bandejas plásticas (98 celdas) con turba (peat moss), con 35 días de edad y con 5 a 6 hojas verdaderas. Antes del trasplante, se evaluó la calidad fitosanitaria y agronómica del almácigo (20 plántulas), que incluyó pesos secos (g.planta<sup>-1</sup>)

de tallo, hoja, raíz y total, grosor del tallo (mm), longitud de raíz y de tallo (cm), número de hojas, área foliar (cm<sup>2</sup>.planta<sup>-1</sup>).

Antes de la siembra, se realizó una desinfección del cobertor de suelo y las paredes del invernadero con cloro al 5% y se aplicó un insecticida de amplio espectro para eliminar algunos insectos presentes en otros cultivos. Previo al trasplante, antes de ingresar las plántulas al invernadero, estas se sumergieron, hasta el nivel del sustrato, en una solución de *Trichoderma* sp más un enraizador que contenía auxinas, vitaminas, citoquininas y fósforo. Se sembraron 3 plantas por tabla de fibra de coco con distancias de 33,3 cm entre plantas y de 1,5 m entre hileras para una densidad de 2 plantas.m<sup>-2</sup>.

El manejo de plagas y enfermedades se realizó de forma preventiva, a través de prácticas culturales y aplicaciones semanales con productos biológicos o de etiqueta verde. Adicionalmente, se realizaron muestreos semanales durante el ciclo del cultivo, para determinar la necesidad de aplicaciones fitosanitarias.

El tutorado de las plantas se realizó con mecate de nylon y anillos plásticos que se colocaron en la primera y segunda bifurcación de la planta. Posteriormente, todas las ramas emergentes se sujetaron con cuerda de nylon a un alambre metálico colocado horizontalmente a 2,5 m en la parte superior del cultivo. Todos los brotes vegetativos ubicados por debajo de la primera bifurcación de la planta fueron eliminados, mientras que por encima de este se permitió el libre crecimiento de tallos. Como prácticas culturales se realizaron podas sanitarias de hojas y tallos senescentes y/o dañados y eliminación de frutos dañados.

**Descripción de los tratamientos.** Se evaluaron 6 tratamientos que combinaron 3 niveles de nutrición con 2 estrategias de manejo del riego (Tabla 2). Los niveles de nutrición correspondieron a 3 concentraciones de nutrientes en solución nutritiva: baja (B<sub>C</sub>), media (M<sub>C</sub>) y alta (A<sub>C</sub>). Las 2 estrategias de manejo del riego variaron en el volumen de riego aplicado (el cuánto) y la frecuencia entre riegos (el cuándo), con E<sub>1</sub>: riegos



Tabla 2. Tratamientos combinados de 3 niveles de concentración de nutrientes en solución nutritiva con 2 estrategias de manejo del riego en el cultivo de chile dulce en fibra de coco bajo invernadero.

Concentración en solución nutritiva	Estrategia de manejo del riego	Tratamiento
Baja concentración ( $B_C$ )	Menor volumen y mayor frecuencia (E1)	$B_C E_1$
	Mayor volumen y menor frecuencia (E2)	$B_C E_2$
Media concentración ( $M_C$ )	Menor volumen y mayor frecuencia (E1)	$M_C E_1$
	Mayor volumen y menor frecuencia (E2)	$M_C E_2$
Alta concentración ( $A_C$ )	Menor volumen y mayor frecuencia (E1)	$A_C E_1$
	Mayor volumen y menor frecuencia (E2)	$A_C E_2$

con menor volumen y mayor frecuencia y  $E_2$ : riegos con mayor volumen y menor frecuencia.

Para definir el volumen de riego se estableció un agotamiento del ATD de 10% para  $E_1$  y de 30% para  $E_2$ , equivalentes a valores de  $\theta$  de 70% y 57%, respectivamente. Estos valores de  $\theta$  se utilizaron como consigna para la activación del riego, por medio de una bandeja de riego a la demanda (BRD) del cultivo, según condiciones climáticas y etapa fenológica. La BRD consistió en una canoa de madera impermeabilizada con plástico color negro, sobre la cual se colocó una tabla de fibra de coco sembrada con 3 plantas del cultivo. Esta estuvo conformada por un caudalímetro para cuantificar el volumen de riego aplicado, un tensiómetro (Irrometer Model LT y Model MLT) instalado en el sustrato de cultivo y un pluviómetro (ECRN-100) ubicado en la salida para monitorear el volumen de drenaje.

La BRD incluyó un algoritmo que integraba los valores de potencial mátrico del sustrato y el porcentaje de drenaje monitoreados en tiempo real. Durante el día, conforme incrementaba la  $ET_c$  y consecuentemente disminuía el contenido de  $\theta$  en el sustrato hasta los valores de consigna según agotamiento hídrico establecido; el algoritmo abría la válvula solenoide y activaba la bomba por un tiempo de riego previamente calculado para reponer los volúmenes de agua.  $saco^{-1}$  correspondientes a los agotamientos de

10% y 30%. Durante el riego, una vez que se alcanzaba la  $\theta$  a CC, el algoritmo permitía aplicar un volumen de agua extra para obtener un 15% de drenaje con respecto al volumen de riego aportado por saco de cultivo. El volumen de drenaje se monitoreó en tiempo real con el pluviómetro y el algoritmo calculaba el porcentaje de drenaje hasta ajustarlo al valor de consigna establecido (15%). En el experimento, cada unidad experimental contó con una BRD para activar el riego de forma independiente.

A partir del número de goteros por tabla (3 goteros) y del caudal por gotero (2  $L \cdot h^{-1}$ ) se estimó el tiempo de riego necesario para reponer los volúmenes de agua cuando el agotamiento alcanzaba 10% y 30% del ATD, correspondientes a los valores de  $\theta$  de consigna de 70% y 57%, respectivamente. Al final del experimento, conforme a lo propuesto, la  $E_1$  tuvo mayor número de riegos (Figura 3a) con menor volumen (Figura 3b) y mayor frecuencia (Figura 3c); mientras que la  $E_2$  presentó menor número de riegos con mayor volumen y menor frecuencia. En la  $E_1$  en promedio se realizaron 6,34 riegos por día con un volumen promedio de 527,64 ml cada uno y una frecuencia de cada 2:58 hh:mm (Figura 3). En la  $E_2$  el número de riegos disminuyó a 3,1 riegos.  $día^{-1}$  con mayor volumen por riego (1734,36 ml) y una mayor frecuencia de cada 3:38 hh:mm (Figura 3).

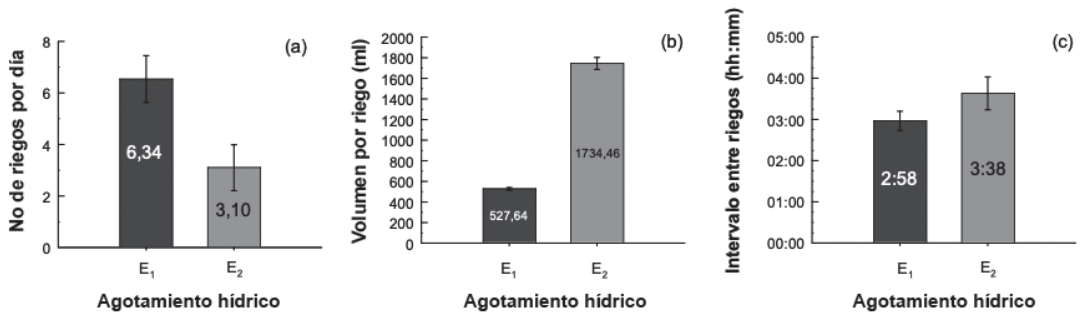


Figura 3. Valores promedio de (a) número (No) de riegos por día, (b) volumen por riego y (c) frecuencia entre riegos según estrategia de riego en el cultivo de chile dulce hidropónico en invernadero. Alajuela, Costa Rica. 2019.

Para definir el nivel de nutrición en la  $M_C$ , se utilizó un valor promedio de diferentes concentraciones de nutrientes en soluciones nutritivas reportadas para el cultivo de chile dulce (Soto-Bravo *et al.* 2020, AkzoNobel *et al.* 2016, Castellanos 2008, de O Charlo *et al.* 2012, González-Real *et al.* 2008, Jara 2016, Prieto *et al.* 2007, Trejo-Téllez y Gómez-Merino 2012, Wamser *et al.* 2017). Los niveles en  $B_C$  y  $A_C$

correspondieron, respectivamente, a la reducción e incremento de un 50% de  $M_C$  (Tabla 3). Para la preparación de las soluciones nutritivas se utilizó ácido nítrico, fosfato monopotásico, nitrato de potasio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, nitrato de calcio, ácido bórico, Molibdeno y quelatos (EDDHA) de hierro, cobre, manganeso y zinc.

Tabla 3. Concentración de nutrientes y conductividad eléctrica (CE) de las soluciones nutritivas utilizadas en cada nivel de nutrición en solución nutritiva para el cultivo de chile dulce hidropónico bajo invernadero.

Concentración de nutrientes	Macronutrientes (mg.L <sup>-1</sup> )						Micronutrientes (mg.L <sup>-1</sup> )						CE (dS.m <sup>-1</sup> )
	N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Mo	
Baja	58	19	119	18	74	43	1,00	0,05	0,20	0,20	0,20	0,10	1,0
Media	117	38	237	36	149	86	2,10	0,09	0,40	0,40	0,40	0,30	2,0
Alta	175	57	356	54	223	129	3,10	0,14	0,70	0,60	0,60	0,40	3,0

Para cada nivel de nutrición, se monitoreó la conductividad eléctrica (CE) en la rizosfera del sustrato mediante el método de pasta saturada. Para esto, se tomaron muestras de sustrato en la parte media de los sacos de cultivo, se colocaron en recipientes de 500 ml, se saturaron con agua

destilada y se dejaron reposar por una hora. Seguidamente, las muestras se colocan en un Kitasato con embudo Buchner y papel filtro y se extrajo la solución, con una bomba de succión, para medir la CE (Figura 4).



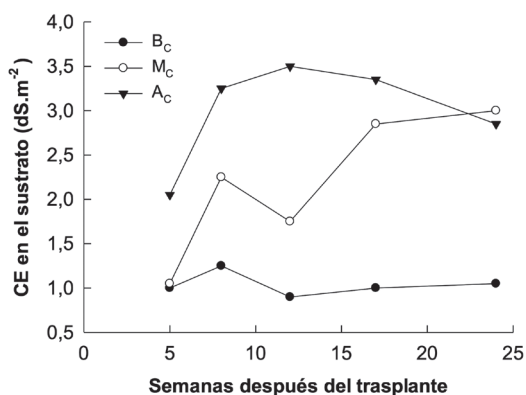


Figura 4. Evolución de la conductividad eléctrica (CE) en pasta saturada del sustrato de fibra de coco, según nivel de nutrición con baja ( $B_C$ ), media ( $M_C$ ) y alta ( $A_C$ ) concentración de nutrientes en solución nutritiva.

Alajuela, Costa Rica. 2019.

Los tratamientos de riego y de nutrición se iniciaron a partir de 2 semanas después del trasplante (SDT), por lo que en etapa de establecimiento (2 SDT) se utilizó la solución nutritiva con nivel de nutrición media para todos los tratamientos.

**Diseño experimental.** El área experimental estuvo conformada por 12 hileras de cultivo con 34 sacos de fibra de coco por hilera para un total de 408 sacos. Se sembraron 3 plantas por cada saco de cultivo para 102 plantas por hilera y un total de 1224 plantas en toda el área experimental. Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar con arreglo bifactorial ( $2 \times 3$ ) para evaluar 6 tratamientos que combinaban 3 niveles de nutrición con baja ( $B_C$ ), media ( $M_C$ ) y alta ( $A_C$ ) concentración de nutrientes en solución nutritiva; y 2 estrategias de manejo del riego con  $E_1$ : menor volumen y mayor frecuencia y  $E_2$ : mayor volumen y menor frecuencia. Cada tratamiento estuvo conformado por 3 repeticiones compuestas por 3 hileras con 5 sacos de fibra de coco cada una y 3 plantas por saco (15 plantas.hilera<sup>-1</sup>), para 45 plantas por repetición y un total de 135 plantas por tratamiento. Las 2 hileras

externas de cada repetición funcionaron como cultivo de borde.

**Variables de respuesta.** En este estudio, se evaluaron variables morfológicas, fisiológicas y productivas. Las variables morfológicas de área foliar (AF), número de hojas (NH), longitud (LT) y diámetro del tallo (DT) y pesos secos de tallos (PsT), de hojas (PsH) y de flor-fruto verde no cosechado (PsFF), se evaluaron en 5 muestreos destructivos durante el ciclo experimental, utilizando 3 plantas por repetición en cada muestreo. El primer muestreo se realizó en la etapa de desarrollo vegetativo, el segundo al inicio de producción y los otros 3 durante la etapa de producción. El AF (m<sup>2</sup>) se cuantificó en cada una de las plantas por repetición mediante un medidor de área foliar (LI-COR MODEL 3100), la LT (cm) se midió con cinta métrica desde la base del tallo hasta el ápice del eje más largo y el diámetro basal del tallo (mm) se midió utilizando un “caliper” digital a 2 cm por encima del nivel del sustrato. A las plantas recién cortadas se les determinó el PsT, PsH y PsFF en horno a 70°C hasta peso constante.

La radiación fotosintéticamente activa interceptada ( $PAR_i$ ) se midió en 3 plantas por repetición en 5 evaluaciones durante el ciclo de cultivo, bajo condiciones de cielo despejado entre las 11:00 y las 13:00 horas. La  $PAR_i$  ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) se midió bajo condiciones de cielo despejado en horas próximas al medio día, con un ceptómetro de barra (LAI LP-80), en 2 puntos por repetición sobre y bajo el dosel del cultivo. Se procuró que el primer sensor iniciara en el centro de la hilera cercano al tallo de la planta y el último donde termina el dosel vegetal, para formar un ángulo aproximado de 45° respecto a la dirección a la hilera de cultivo.

En variables productivas, se evaluó el número de botones florales.planta<sup>-1</sup> (NB) por tratamiento en las mismas 3 plantas por repetición de los 5 muestreos destructivos utilizados para las variables morfológicas. El número de frutos cuajados ( $NFC$ ) en cada tratamiento, se evaluó en 3 plantas por repetición seleccionadas al azar, en las que se identificaron con cintas de

color nueve BF por planta para un total de 27 BF por tratamiento. A cada BF se le dio seguimiento para determinar la cantidad de FC por planta.

En rendimiento se cuantificó el peso de frutos ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) comercial y de desecho en 10 plantas por repetición para un total de 30 plantas por tratamiento. El grado de madurez de los frutos cosechados estuvo entre pintón (30% rojo) y maduro (color rojo). El rendimiento comercial correspondió a frutos sin daños con un peso mayor a 51 gr, mientras que el desecho a frutos con daños y un peso inferior a 50 gramos. El rendimiento fue la suma de producto comercial más el desecho.

**Análisis estadístico.** Los datos experimentales fueron sometidos a un análisis de normalidad y homocedasticidad para verificar los supuestos del análisis de varianza (ANDEVA). Cuando se cumplieron dichos supuestos

se realizó el ANDEVA para determinar si hubo interacción o efectos independientes de ambos factores. Como no hubo interacción ( $p > 0,05$ ), se analizaron los efectos principales del factor que fue estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ), al agrupar los datos por nivel del factor así como la comparación múltiple de medias (Tukey,  $p\_valor: 0,05$ ). Para el análisis de los datos se utilizó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.* 2012).

## RESULTADOS

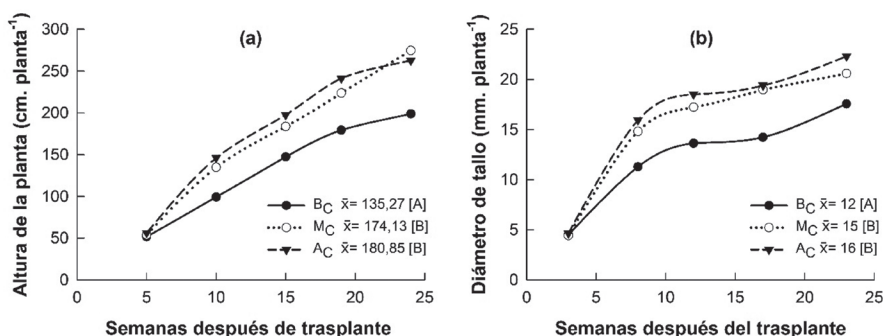
En el presente estudio, tanto las variables morfofisiológicas como las productivas, únicamente fueron afectadas por el nivel de nutrición ( $p < 0,05$ ) indistintamente de la estrategia de riego, y sin interacción ( $p > 0,05$ ) entre ambos factores (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de varianza que muestra los valores de significancia ( $p\_valor: 0,05$ ) de las variables morfológicas longitud (LT) y diámetro de tallo (DT), número de hoja (NH), área foliar (AF), pesos secos de hoja (PsH), tallo (PsT) y flor fruto verde (PsF), radiación solar PAR interceptada (PARi), número de botones florales (BF) y frutos cuajados (FC) y rendimientos totales (RT), comercial (RC) y de desecho (D).

Factor	Variable de respuesta												
	LT	DT	NH	AF	PsH	PsT	PsF	PARi	BF	FC	RT	RC	D
Riego (R)	0,418	0,761	0,752	0,919	0,423	0,154	0,568	0,152	0,754	0,051	0,642	0,707	0,67
Nutrición (N)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,007	0,001	0,008	0,007	0,004	0,001	0,001	0,001
R x N	0,103	0,556	0,093	0,099	0,17	0,376	0,149	0,976	0,439	0,527	0,358	0,289	0,939

**Comportamiento morfofisiológico.** Los valores promedio de longitud (LT) y diámetro del tallo (DT) de las plantas con  $B_C$  fueron estadísticamente inferiores ( $p < 0,05$ ) que las plantas con  $M_C$  y  $A_C$ , sin diferencias ( $p > 0,05$ ) entre estas últimas. Las plantas crecieron desde una LT promedio de 54 cm a las 5 SDT hasta LT máximas

de 199 cm con  $B_C$ , 275 cm en  $M_C$  y 263 cm en  $A_C$ , al final del ciclo experimental con 24 SDT (Figura 5a). Del mismo modo, el DT incrementó apreciablemente hasta las 10 SDT, luego incrementó levemente hasta alcanzar valores máximos al final del ciclo con 17,6 mm en  $B_C$ , 20,6 mm en  $M_C$  y 22,3 mm en  $A_C$  (Figura 5b).

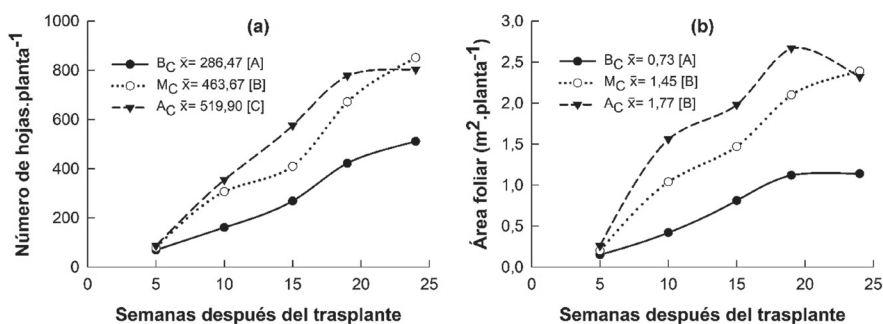


El símbolo  $\bar{x}$  es el promedio según nivel de nutrición (B<sub>C</sub>, M<sub>C</sub> y A<sub>C</sub>) que con letras diferentes (A, B, C) indican diferencias estadísticas significativas con un p\_valor de 0,05.

Figura 5. Efecto del nivel de nutrición con baja (B<sub>C</sub>), media (M<sub>C</sub>) y alta (A<sub>C</sub>) concentración de nutrientes en solución nutritiva, sobre la evolución semanal de (a) la longitud (LT) y (b) el diámetro del tallo (DT) de plantas de chile dulce hidropónico bajo invernadero. Alajuela, Costa Rica. 2019.

**Número de hojas y área foliar.** Los promedios de NH (Figura 6a) y de AF (Figura 6b) por planta fueron estadísticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos de nutrición, con un orden creciente conforme incrementó la concentración de nutrientes: A<sub>C</sub> > M<sub>C</sub> > B<sub>C</sub>. Las diferencias fueron marcadamente inferiores en el tratamiento B<sub>C</sub> respecto a los tratamientos M<sub>C</sub> y A<sub>C</sub>. Ambas variables incrementaron progresivamente a partir de las 5 SDT hasta alcanzar valores máximos al final del ciclo (24 SDT), con

excepción del tratamiento A<sub>C</sub> que mostró una tendencia a disminuir a partir de las 19 SDT. Las diferencias entre los tratamientos M<sub>C</sub> y A<sub>C</sub> fueron apreciables hasta 19 SDT, luego se reducen hacia el final del ciclo, ya que a partir de 19 SDT, el tratamiento A<sub>C</sub> estabiliza el número de hojas (Figura 6a) por lo que su AF desciende apreciablemente (Figura 6b). Al final del ciclo el AF alcanzó 1,1 m<sup>2</sup> en B<sub>C</sub> con valores similares entre M<sub>C</sub> (2,4 m<sup>2</sup>) y A<sub>C</sub> (2,3 m<sup>2</sup>).

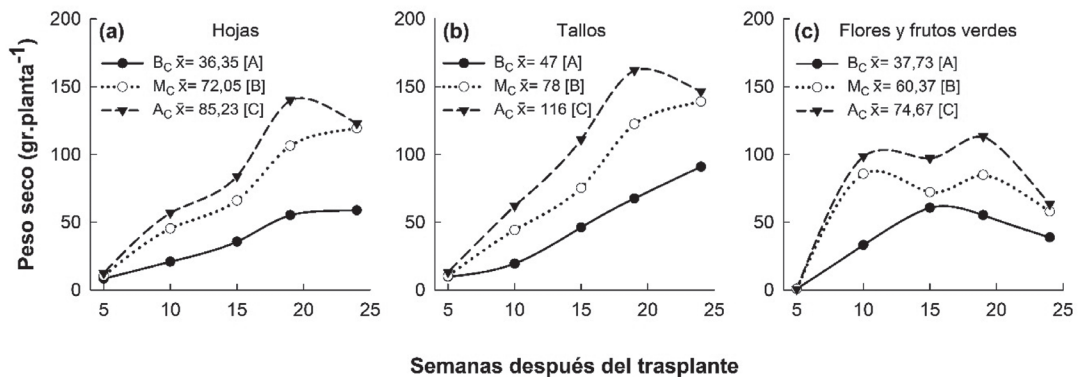


El símbolo  $\bar{x}$  es el promedio según nivel de nutrición (B<sub>C</sub>, M<sub>C</sub> y A<sub>C</sub>) que con letras diferentes (A, B, C) indican diferencias estadísticas significativas con un p\_valor de 0,05.

Figura 6. Evolución semanal de (a) número de hojas (NH) y (b) área foliar (AF) por planta en el cultivo de chile dulce hidropónico bajo invernadero, con baja (B<sub>C</sub>), media (M<sub>C</sub>) y alta (A<sub>C</sub>) concentración de nutrientes en solución nutritiva. Alajuela, Costa Rica. 2019.

**Producción de biomasa seca.** Los valores promedio de pesos secos de hojas (PsH), tallos (PsT) y de flor-fruto verde (PsF), fueron estadísticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos, con un orden creciente conforme incrementó el nivel de nutrientes:  $A_C > M_C > B_C$ . El PsH y PsT mostraron un comportamiento similar al observado en el NH y el AF, con un apreciable incremento hasta valores máximos a las 19 SDT en  $A_C$  y al final del ciclo de cultivo en  $B_C$  y en  $M_C$ . Posterior a las 19 SDT, el PsH y PsT disminuyeron bajo condiciones de  $A_C$ , e incrementaron levemente en  $M_C$  y en  $B_C$  (Figura 7a, 7b).

El PsF en  $M_C$  y  $A_C$  incrementó significativamente hasta las 10 SDT (Figura 7c), alcanzando valores máximos de 85,8 gr en  $M_C$  y de 98,6 gr en  $A_C$ . Seguidamente, entre 10 SDT y 20 SDT el PsF se mantuvo constante, donde posteriormente disminuye hacia el final del ciclo experimental. El tratamiento  $B_C$  tuvo un comportamiento un poco diferente, ya que el PsF incrementó hasta alcanzar valores máximos (50 gr) a las 15 SDT, a partir de la cual disminuye hacia el final del ciclo de cultivo.

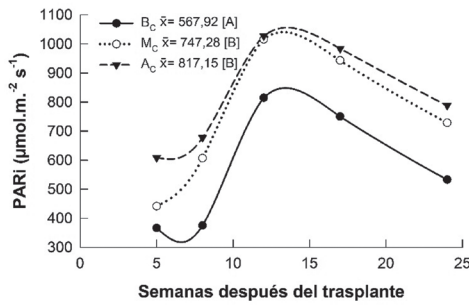


El símbolo  $\bar{x}$  es el promedio según nivel de nutrición ( $B_C$ ,  $M_C$  y  $A_C$ ) que con letras diferentes (A, B, C) indican diferencias estadísticas significativas con un  $p$ -valor de 0,05.

Figura 7. Evolución semanal de los pesos secos de (a) hojas, (b) tallos y (c) flor-fruto verde aún no cosechable de plantas de chile dulce hidropónico bajo invernadero, con baja ( $B_C$ ), media ( $M_C$ ) y alta ( $A_C$ ) concentración de nutrientes en solución nutritiva. Alajuela, Costa Rica. 2019.

**Radiación fotosintéticamente activa interceptada.** Los valores promedio de PARI no fueron estadísticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos con  $M_C$  y  $A_C$ , los cuales a su vez fueron estadísticamente superiores al de las plantas que crecieron con  $B_C$ . La PARI

incrementó sustancialmente a partir de las 5 SDT (Figura 8) hasta alcanzar valores máximos a las 12 SDT de  $815 \text{ umol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  bajo condiciones de  $B_C$ ,  $1016 \text{ umol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  en  $M_C$  y  $1027 \text{ umol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  en  $A_C$ . En el resto del ciclo hubo una tendencia a disminuir.



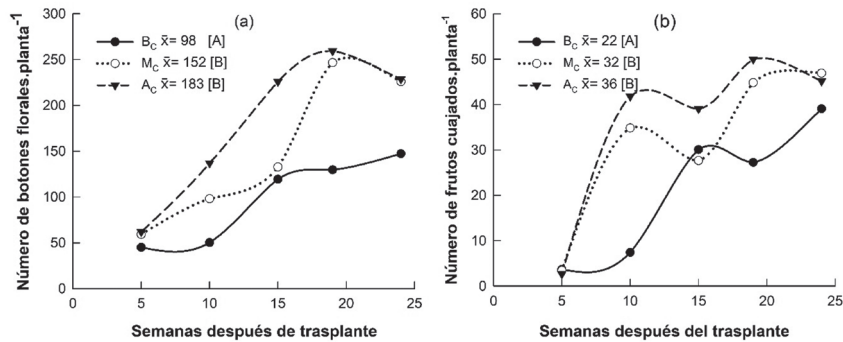
El símbolo  $\bar{x}$  es el promedio según nivel de nutrición ( $B_c$ ,  $M_c$  y  $A_c$ ) que con letras diferentes (A, B, C) indican diferencias estadísticas significativas con un  $p$ -valor de 0,05.

Figura 8. Efecto del nivel de nutrición con baja ( $B_c$ ), media ( $M_c$ ) y alta ( $A_c$ ) concentración de nutrientes en solución nutritiva, sobre la evolución de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (PARI) en plantas de chile dulce hidropónico bajo invernadero.

Alajuela, Costa Rica. 2019.

**Comportamiento productivo.** La cantidad de BF y de FC en general mostró una tendencia creciente, estadísticamente diferente ( $p > 0,05$ ) conforme aumentó el aporte de nutrientes, principalmente entre el inicio de cosecha (10 SDT) y las 20 SDT. En las últimas semanas hasta el final del ciclo, las diferencias entre  $A_c$  y  $M_c$  se redujeron apreciablemente. A partir de las 5 SDT la producción de BF incrementó apreciablemente en las plantas con  $A_c$  y  $M_c$  hasta alcanzar valores

máximos de 259 BF y 247 BF a las 20 SDT, respectivamente (Figura 9a). Posteriormente, en ambos tratamientos la cantidad de BF disminuyó en las últimas 5 semanas del ciclo experimental. El cultivo con  $B_c$  produjo menor cantidad de BF que los demás tratamientos, con un rápido incremento entre las semanas 10 y 15, y un leve incremento en el resto del ciclo, hasta alcanzar un máximo de 147 BF al final del experimento.



El símbolo  $\bar{x}$  es el promedio según nivel de nutrición ( $B_c$ ,  $M_c$  y  $A_c$ ) que con letras diferentes (A, B, C) indican diferencias estadísticas significativas con un  $p$ -valor de 0,05.

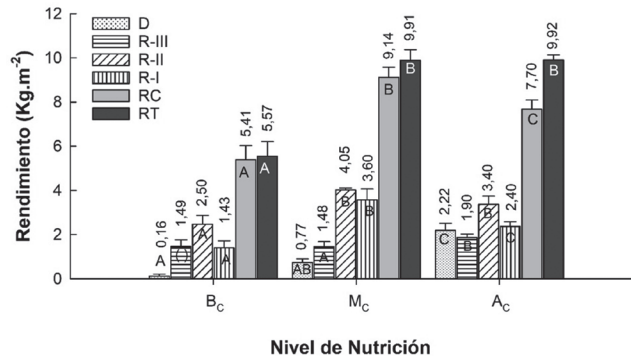
Figura 9. Efecto del nivel de nutrición con baja ( $B_c$ ), media ( $M_c$ ) y alta ( $A_c$ ) concentración de nutrientes en solución nutritiva, sobre (a) el número de botones florales y (b) de frutos cuajados por planta en el cultivo de chile dulce hidropónico bajo invernadero.

Alajuela, Costa Rica. 2019.

La cantidad de FC por planta tuvo un comportamiento irregular durante todo el ciclo experimental en los distintos niveles de nutrición. En los cultivos con  $M_C$  y  $A_C$  incrementó apreciablemente entre las semanas 5 y 10, disminuyó en la semana 15, para luego incrementar hasta valores máximos a las 20 SDT con 47 FC en  $M_C$  y 50 FC en  $A_C$  (Figura 9b). Después de la semana 19, la cantidad de FC se mantuvo ligeramente estable en  $M_C$ , mientras que disminuyó levemente en  $A_C$ . El tratamiento con  $B_C$  cuajó la menor cantidad de frutos con un máximo de 39 FC al final del experimento.

El tratamiento con  $B_C$  (5,6 kg.m<sup>-2</sup>) obtuvo un rendimiento total (RT) estadísticamente

inferior ( $p>0,05$ ) que los tratamientos  $M_C$  (10,0 kg.m<sup>-2</sup>) y  $A_C$  (9,9 kg.m<sup>-2</sup>). Aunque el RT fue estadísticamente similar ( $p>0,05$ ) entre los tratamientos  $A_C$  y  $M_C$  (Figura 10). El rendimiento comercial (RC) del tratamiento  $M_C$  (9,2 kg.m<sup>-2</sup>) fue estadísticamente superior ( $p>0,05$ ) que  $A_C$  (7,7 kg.m<sup>-2</sup>) y  $B_C$  (5,4 kg.m<sup>-2</sup>). El rendimiento en  $M_C$  fue superior que  $A_C$  debido a una mayor producción de frutos de primera (R-I) y de segunda (R-II) y menor producción de frutos de tercera (R-III) y de desecho (D) (Figura 10). Al mismo tiempo, la producción de frutos de D en el tratamiento  $A_C$  (2,2 kg.m<sup>-2</sup>) fue superior ( $p>0,05$ ) que en los tratamientos  $M_C$  (0,8 kg.m<sup>-2</sup>) y  $B_C$  (0,2 kg.m<sup>-2</sup>).



El símbolo  $\bar{x}$  es el promedio según nivel de nutrición ( $B_C$ ,  $M_C$  y  $A_C$ ) que con letras diferentes (A, B, C) indican diferencias estadísticas significativas con un  $p$ -valor de 0,05.

Figura 10. Efecto del nivel de nutrición con baja ( $B_C$ ), media ( $M_C$ ) y alta ( $A_C$ ) concentración de nutrientes en solución nutritiva, sobre el rendimiento de frutos total (RT), comercial (RC), primera (R-I), segunda (R-II), tercera (R-III) y desecho (D), en el cultivo de chile dulce hidropónico bajo invernadero. Alajuela, Costa Rica. 2019.

## DISCUSIÓN

En el presente estudio no hubo efecto de la estrategia de riego sobre el comportamiento morfofisiológico y productivo del cultivo de chile dulce hidropónico en invernadero, aun cuando diferentes estudios han demostrado que el manejo del riego afecta el comportamiento vegetativo y productivo de las plantas (Taiz y Zeiger 2002).

Además, el chile dulce es uno de los cultivos hortícolas más susceptibles al estrés hídrico, principalmente durante la etapa de floración y fructificación (Ferrara *et al.* 2011, Tanaskovik *et al.* 2017). Al respecto, Quesada (2015) y Jara (2016) realizaron un estudio con chile dulce en el mismo invernadero del presente estudio, donde coincidentemente no encontraron efecto del manejo del riego sobre el DT, el AF, la AP y el



peso seco. En otro estudio similar, Mardaninejad *et al.* (2017) al aplicar tratamientos deficitarios de 20%, 40% y 60% del requerimiento hídrico del cultivo, únicamente encontraron efecto sobre el rendimiento cuando la reducción fue del 40 y 60%, donde el estrés sobrepasó la capacidad de adaptación de las plantas.

En esta investigación no hubo efecto de las estrategias de riego sobre el DT de las plantas. Este parámetro responde muy bien al estrés hídrico mediante su contracción o expansión, por lo que es un indicador del estado hídrico de las plantas (Gallardo *et al.* 2004, de Swaef *et al.* 2015) que ha sido utilizado como criterio para el manejo del riego principalmente en cultivos frutales leñosos (Corell *et al.* 2014).

Lo anterior sugiere que el cultivar de chile dulce “Dulcítico” en hidroponía bajo invernadero, probablemente tiene una capacidad resiliente, que adapta su morfología radicular a la distribución de humedad en el perfil del sustrato según la estrategia de manejo del riego. Lo anterior, por cuanto aún en la E<sub>2</sub> con menor cantidad de riegos de mayor volumen y menor frecuencia (30% agotamiento), la planta fue capaz de abastecer su demanda hídrica. Al respecto, Sharma *et al.* (2015) demostraron que, al someter secciones del sistema radical de plantas de chile dulce a diferentes niveles de estrés hídrico, estas son capaces de modificar la densidad y la biomasa radical para así tener una mayor superficie de absorción de agua y compensar el déficit hídrico.

Por otra parte, indistintamente de la estrategia de riego, el nivel de nutrición afectó ( $p < 0,05$ ) el comportamiento morfológico, fisiológico y productivo del cultivo de chile dulce, con una tendencia creciente conforme incrementó la concentración de nutrientes ( $B_C < M_C < A_C$ ), donde el tratamiento  $B_C$  tuvo un desempeño morfofisiológico y productivo deficiente. Las limitaciones nutricionales en plantas que crecieron con  $B_C$  condujeron a un desbalance entre fuente y sumidero, que consecuentemente disminuyó la PARI y finalmente redujo el rendimiento de frutos. Por tanto, el análisis se enfocará en la comparación entre los tratamientos  $A_C$  y  $M_C$ .

El maximizar el rendimiento comercial de frutos de un cultivo es el fin primordial de un sistema productivo. Para ello es importante un adecuado equilibrio entre la fuente y el sumidero (vegetativo/generativo), donde el manejo del riego y la nutrición, entre otros factores, es el principal determinante de dicho equilibrio.

En este estudio, el tamaño de la fuente (NH, AF) mostró una tendencia creciente ( $B_C < M_C < A_C$ ) conforme incrementó la concentración de nutrientes, y en consecuencia lógica se mantuvo el mismo orden en la producción de peso seco de flor-fruto verde, número de BF y de FC. El tratamiento  $A_C$ , en correspondencia a su tamaño de la fuente (NH, AF), tuvo una mayor capacidad fotosintética que se tradujo en incrementos de la biomasa vegetativa (PSt y PSh), y que consiguientemente se manifestó en incrementos en la biomasa productiva (BF, FC, MsF). Un comportamiento similar al anterior ha sido reportado por Taiz y Zeiger (2002) y Hakki y Yildirim (2015).

Respecto a la tendencia a producir mayor cantidad de estructuras reproductivas en el tratamiento  $A_C$  ( $>BF, FC, MsF$ ), Tanaskovik *et al.* (2017), Verma (2012) y Maaiké (2010) señalan que la producción de flores y frutos incrementa conforme aumenta la disponibilidad de fertilizante. Al mismo tiempo, Noronha *et al.* (2004) señalan que una alta intensidad de fructificación, como ocurrió en  $A_C$ , afecta negativamente la partición de asimilados hacia el llenado de frutos.

No obstante, a pesar de un comportamiento más reproductivo ( $>BF, FC, PsF$ ) en el tratamiento  $A_C$ , el rendimiento total fue estadísticamente similar entre  $A_C$  y  $M_C$ , mientras que el tratamiento  $M_C$  obtuvo el mayor rendimiento comercial, debido a una mayor producción de frutos de primera y de segunda calidad, y menor cantidad de frutos de tercera y de desecho. Conforme la disponibilidad de nutrientes incrementó, el tamaño de la fuente (AF, NH) fue superior y consecuentemente hubo mayor capacidad fotosintética que incrementó el suministro de carbohidratos para la producción y calidad de frutos. Sin embargo, al comparar el rendimiento entre

los tratamientos  $A_c$  y  $M_c$ , probablemente en  $M_c$  hubo un mejor equilibrio entre crecimiento vegetativo y generativo que favoreció una mejor distribución de fotoasimilados para el llenado de frutos, lo que mejoró así, la cantidad y calidad de fruto comercial.

Respecto a lo anterior, Heuvelink y Marcelis (2002) señalan que existe una alta correlación positiva entre el tamaño de la fuente (AF) y el número de flores y frutos (sumidero). Por su parte, Maaik (2010) señala que las plantas aún en etapa reproductiva asignan recursos al crecimiento de biomasa vegetativa, lo que asegura así, una adecuada disponibilidad de fotoasimilados para el desarrollo de estructuras productivas con el fin de mantener un adecuado balance entre fuente/sumidero.

Existen varios factores que podrían explicar el anterior comportamiento, tales como la cantidad de  $PAR_i$ , la disponibilidad de nutrientes y la condición de salinidad en la rizosfera. La cantidad de radiación  $PAR_i$  fue similar en ambos tratamientos, sin embargo, una mayor producción comercial en  $M_c$  sugiere que las plantas presentaron una mejor eficiencia de uso de la radiación  $PAR_i$ . La  $PAR_i$  se relaciona significativamente con el rendimiento de frutos lo que representa la capacidad fotosintética de las plantas (Yildirim *et al.* 2017). En el presente estudio, probablemente una menor fuente (AF, NH) en  $M_c$  respecto a  $A_c$  no fue un factor limitante, por el contrario, probablemente favoreció una mejor arquitectura y distribución del dosel vegetal que conllevó a una mayor eficiencia en el uso de la radiación  $PAR_i$  para la producción de frutos.

Por otra parte, el crecimiento de las plantas de chile dulce (NH, AF, PsT, PsH) mostró una tendencia creciente conforme incrementó la concentración de nutrientes ( $B_c < M_c < A_c$ ). Al respecto, diferentes estudios han demostrado que tanto el exceso como las deficiencias nutricionales afectan el crecimiento de los cultivos (Kanwar *et al.* 2013, Taiz y Zeiger 2002). Un mayor nivel de nutrientes favoreció un incremento del NH y del AF, lo cual contribuyó a una mayor actividad fotosintética y

consecuentemente mayor producción de fotoasimilados para procesos como elongación del tallo y ramificación de las plantas.

Relacionado con lo anterior, Verma (2012) encontró que al aplicar un 60%, 80% y 100% de los requerimientos, el NH y el AF incrementó cuando el aporte fue de 80%, lo cual estuvo relacionado con una mayor producción de fotoasimilados. Asimismo, Ghoneim (2005), reportó un mayor crecimiento vegetativo en plantas de chile dulce al aumentar las dosis de nitrógeno de 60 a 120 kg.ha<sup>-1</sup>. Estudios similares realizados por de Oliveira *et al.* (2017) y Cruz-Crespo *et al.* (2014) demostraron que al aumentar las concentraciones de N y de K en solución nutritiva el peso seco de plantas de chile dulce incrementó apreciablemente.

El N es el nutriente que más impacto tiene en el crecimiento y la producción de los cultivos, ya que los excesos promueven un crecimiento vegetativo excesivo (Ghoneim 2005, Kanwar *et al.* 2013) mientras que las deficiencias lo impactan negativamente (de Oliveira *et al.* 2017). Con altas dosis de nitrógeno como en el tratamiento  $A_c$ , Ghoneim (2005) señala que ocurre una mayor asignación de carbohidratos hacia tejidos vegetativos, lo cual estimula el crecimiento vegetativo, destinando menor cantidad de recursos hacia la producción de frutos. Las plantas del tratamiento  $A_c$  evidenciaron un desbalance entre crecimiento vegetativo y generativo expresado en mayor AF, NH y biomasa seca de hojas y tallos, lo cual promovió una mayor asignación de fotoasimilados para crecimiento vegetativo.

Cuando los aportes nutricionales supera la demanda de nutrientes del cultivo de chile dulce, hay un punto de inflexión donde la producción se estabiliza o disminuye, ya que los nutrientes aplicados en exceso se acumulan en el perfil del sustrato incrementando así la CE. En el presente estudio, la CE en el sustrato incrementó conforme aumentó el aporte nutricional hasta alcanzar valores máximos de 3,5 dS.m<sup>-1</sup> en el tratamiento  $A_c$ . Diferentes estudios realizados encontraron que el rendimiento en chile dulce disminuyó cuando la CE fue superior a valores de 2 dS.m<sup>-1</sup>

(Navarro *et al.* 2010, Preciado-Rangel *et al.* 2021) y  $2,8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Arruda *et al.* 2011, Amalfitano *et al.* 2017).

Conforme aumenta la CE ocurre un incremento en el potencial osmótico (Munns y Tester 2008) lo que reduce la *gs* en hoja e induce al cierre progresivo de estomas (Torralbo *et al.* 2019). Al respecto, Tadesse *et al.* (2010), identificaron cierre estomático progresivo en plantas de chile dulce hidropónico conforme aumentó la CE desde  $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  hasta  $10 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Un alto potencial osmótico según (Zolin *et al.* 2018), afecta la absorción y translocación de nutrientes y consecuentemente el llenado de frutos. Las plantas regulan su actividad estomática mediante una reducción de la *gs*, como mecanismo para tolerar el estrés hídrico (Mbandlwa-Mthembu *et al.* 2020) y así evitar la pérdida excesiva de agua. Esto ocurre por inducción en la síntesis de ácido abscísico (Munns y Tester 2008) que promueve la movilización de potasio en las células guarda generando una disminución de su turgencia y el consecuente cierre estomático (Osakabe *et al.* 2013).

Probablemente, las plantas en el tratamiento  $A_C$  tuvieron que ejercer una mayor regulación de la *gs* para evitar la pérdida excesiva de agua, principalmente en horas de mayor estrés alrededor del mediodía, cuando la temperatura alcanzó valores máximos de hasta  $35^\circ\text{C}$ . Según Tadesse *et al.* (2010), a mayor transpiración, tal como ocurrió en condiciones de  $A_C$  (datos no reportados), la resistencia estomática aumenta, especialmente si las plantas crecen en condiciones de estrés osmótico.

Una condición de alta CE en condiciones de  $A_C$  probablemente afectó la absorción y translocación de nutrientes poco móviles dentro de la planta. El cultivo chile dulce es muy susceptible a la pudrición apical del fruto debido a deficiencias de calcio, ya que este se transloca principalmente por el flujo de agua transpirada, por lo que cualquier factor que afecte la transpiración puede inducir a carencias de este elemento. En la presente investigación, efectivamente la mayor pérdida de frutos en el tratamiento  $A_C$  se debió a la pudrición apical por deficiencias de calcio en

un 22% del rendimiento total, en comparación al tratamiento  $M_C$ .

Una condición de alta CE ( $3,5 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) incrementó el potencial osmótico, lo que afectó directamente la capacidad de absorción de las raíces (Zolin *et al.* 2018) y adicionalmente la movilidad del calcio y otros nutrientes que redujo el crecimiento y el llenado de fruto. Dicha condición favoreció el incremento de frutos de tercera calidad y de desecho. Debido a que el fruto es un órgano de baja transpiración, en condiciones de alta temperatura y baja humedad relativa el flujo de agua tiende a desplazarse mayoritariamente hacia los órganos de alta transpiración como las hojas. Esto pudo agudizar las deficiencias de calcio en frutos en el tratamiento  $A_C$ . Al respecto, Navarro *et al.* (2010) y Noronha *et al.* (2004) reportaron que la mayor concentración de calcio se da en los tejidos vegetativos en detrimento de los frutos. En un estudio realizado por Tadesse *et al.* (2010), encontraron que conforme aumentó la CE, disminuyó la firmeza de los frutos debido a un menor contenido de calcio.

En un estudio realizado por Fallik *et al.* (2019) encontraron que el rendimiento en chile dulce se redujo apreciablemente cuando la CE del agua de riego incrementó de  $1,6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  a  $4,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  debido a una menor absorción de agua y nutrientes por el efecto osmótico que limita la expansión celular. Por otra parte, Tadesse *et al.* (2010) demostró que, al aumentar la CE por encima de valores recomendados, tal como ocurrió en el tratamiento  $A_C$ , se destinan más recursos a las hojas y menos al desarrollo de los frutos. En el tratamiento  $A_C$  comparado con el  $M_C$ , los frutos de I y II calidad disminuyeron un promedio de 18%, mientras que el desecho incrementó un 22% respecto al rendimiento comercial. Respecto al anterior comportamiento en el tratamiento  $A_C$ , Rubio *et al.* (2009) demostraron que en condiciones de alta CE la calidad del fruto de chile dulce disminuye.

Relacionado con el comportamiento del rendimiento en el tratamiento  $A_C$ , un estudio realizado por Zolin *et al.* (2018) demostró que al aumentar los aportes de N la *gs* en hojas de

chile dulce disminuyó, debido al estrés hídrico causado por el aumento del potencial osmótico que afectó la apertura de estomas (Torrallbo *et al.* 2019), lo cual pudo afectar la eficiencia fotosintética debido a una menor fijación del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que consecuentemente afectó el llenado de frutos y redujo así el número de los frutos de I calidad y aumentó el número de los frutos de desecho y de tercera en el tratamiento Ac.

Otros parámetros morfológicos como la LT y el DT por planta, son fáciles y prácticos de medir y ser utilizados como indicadores del balance vegetativo/generativo de un cultivo. La LT y el DT fueron afectados por el nivel de nutrición, siendo similares bajo condiciones de M<sub>C</sub> y A<sub>C</sub>, mientras que se redujo significativamente en el tratamiento B<sub>C</sub>. El DT es una característica que refleja el vigor de las plantas y está directamente relacionado con la nutrición, ya que incrementa conforme crecen los aportes de nitrógeno, fósforo y potasio (Kanwar *et al.* 2013). Una nutrición balanceada en dichos nutrientes favorece un mayor DT (Taiz y Zeiger 2002) debido a que benefician el aumento del AF y consecuentemente la capacidad fotosintética para producir fotoasimilados que se almacenan como reservas en la base del tallo. Esto sugiere que una planta con un tallo más grueso tiene mayores reservas de fotoasimilados para el mantenimiento metabólico y la producción.

## CONCLUSIÓN

El manejo del riego no afectó el comportamiento morfofisiológico y productivo del cultivo hidropónico de chile dulce en invernadero, ya que las plantas adaptaron su sistema radicular al volumen de sustrato disponible, según el volumen y la frecuencia de los riegos. El manejo de la nutrición afectó el comportamiento morfofisiológico y productivo del cultivo de chile dulce y consecuentemente el equilibrio entre crecimiento vegetativo y generativo. El crecimiento vegetativo expresado en área foliar, número de hojas, pesos secos de tallos y de

hojas incrementó conforme aumentó el aporte de nutrientes (AC>MC>BC). Consecuentemente, el tratamiento con mayor aporte de nutrientes (A<sub>C</sub>) tuvo el mayor crecimiento vegetativo reflejado en mayor producción de biomasa flor-fruto verde aún no cosechado y en el número de botones florales y de frutos cuajados. Sin embargo, el rendimiento total de frutos fue similar entre los tratamientos con nivel de nutrición alto (A<sub>C</sub>) y medio (M<sub>C</sub>). No obstante, este último probablemente tuvo un mejor balance vegetativo/generativo ya que con menor cantidad de fuente que A<sub>C</sub> obtuvo mayor rendimiento comercial, producto de una mayor producción de frutos de primera y de segunda calidad y menor cantidad de frutos de desecho. Con alto nivel de nutrición el aporte de nutrientes sobrepasó los requerimientos nutricionales del cultivo lo que generó una condición de alta conductividad eléctrica, debido a la acumulación de sales fertilizantes en el perfil del sustrato, lo que incrementó el efecto osmótico que afectó la absorción y traslocación de nutrientes en la planta. Las plantas de chile dulce bajo el tratamiento con bajo nivel nutricional (B<sub>C</sub>) presentaron un menor crecimiento vegetativo y consecuentemente un menor rendimiento de frutos, debido a un fuerte desbalance entre crecimiento vegetativo y generativo.

## LITERATURA CITADA

- AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). 2007. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de las propiedades físicas. Densidad aparente seca, volumen de aire, volumen de agua, valor de contracción y porosidad total. Madrid, España. 19 p.
- Akinci, S; Losel, D. 2015. Plant water-stress response mechanisms, water stress, Mofizur Rahman, I Md (ed.). London, Reino Unido, InTech. 31 p.
- AkzoNobel; Eurofins Agro; NMI (Nutrient Management Institute); SQM (Sociedad química Minera); Yara. 2016. Nutrient solutions for greenhouse crops. Geerten Van Der Lugt, Ochten, Países Bajos. 94 p.
- Amalfitano, C; Del Vacchio, L; Somma, S; Cuciniello, A; Caruso, C. 2017. Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of 'Friariello' pepper grown in hydroponics. Hort. Sci. 44(2): 91-98.

- Arroyo-Vargas, L; Tirado-Torres, JL; Volke-Haller, VH; Valdez-Cepeda, RD. 2013. Normas preliminares de diagnóstico de nutrimento compuesto y correlaciones entre nutrimentos y rendimiento en pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16:69-82.
- Arruda, CE; Dias, NS; Blanco, FF; Sousa, ON; Ferreira, NM. 2011. bell pepper cultivation with brine from brackish water desalination. *Revista Caatinga* 24:197-201.
- Castellanos, L. 2008. Consumo de nutrientes y de agua por chile dulce (*Capsicum annuum*) variedades: Lírica, Simpathy y Zidenka, bajo condiciones de altura, en Mulacagua, Comayagua, Honduras. Tesis Lic. Tegucigalpa, Honduras, Universidad Zamorano. 22 p.
- Corell, M; Girón, IF; Galindo, A; Torrecillas, A; Torres-Sánchez, R; Pérez-Pastor, A; Moreno, F; Moriana, A. 2014. Using band dendrometers in irrigation scheduling Influence of the location inside the tree and comparison with point dendrometer. *Agricultural Water Management* 142:29-37.
- Cruz-Crespo, E; Can-Chulim, A; Bugarín-Montoya, R; Pineda-Pineda, J; Flores-Canales, R; Juárez-López, P; Alejo-Santiago, G. 2014. Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Fitotecnia Mexicana* 37(3):289-295.
- de O Charlo, H; de Oliveira, S; Vargas, P; Castoldi, R; Barbosa, J; Braz, L. 2012. Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber. *Horticultura Brasileira* 30:125-131.
- de Oliveira, F; Duarte, S; Medeiros, J; Lima, C; Oliveira, M; Silva, R. 2017. Improving sweet pepper yield and quality by means of fertigation management. *Horticultura Brasileira* 35:235-241.
- de Swaef, T; de Schepper, V; Vandegehuchte, M; Steppe, K. 2015. Stem diameter variations as a versatile research tool in ecophysiology. *Tree Physiology Review*, 35:1047-1061.
- Di Rienzo, JA; Macciavelli, RE; Casanoves, F. 2012. Modelos lineales mixtos: aplicaciones en InfoStat. Córdoba, Argentina, Universidad de Córdoba. 193 p.
- Dorji, K; Behboudian, MH; Zegbe-Domínguez, JA. 2005. Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. *Scientia Horticulturae* 104:137-149.
- Echandi, C. 2012. Híbridos promisorios de chile dulce para la zona media-alta de Costa Rica. *Boletín Técnico Quincenal de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit, Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica.* 7 p.
- Fallik, E; Alkalai-Tuvia, S; Chalupowicz, D; Zaaroor-Presman, M; Offenbach, R; Cohen, S; Tripler, E. 2019. How water quality and quantity affect pepper yield and postharvest quality. *Horticulturae* 5(4):1-10.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2013. Tecnologías para el uso sostenible del agua (en línea). FAO, Tegucigalpa, Honduras. Consultado oct. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3442s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2017. Escasez de agua: Uno de los grandes retos de nuestro tiempo (en línea). FAO, Roma, Italia. Consultado oct. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/880888/>
- Ferrara, A; Lovelli, S; Di Tommaso, T; Perniola, M. 2011. flowering, growth and fruit setting in greenhouse bell pepper under water stress. *Journal of Agronomy* 10(1):12-19.
- Gallardo, M; Thompson, RB; Valdez, LC; Fernández, MD. 2004. Response of stem diameter variations to water stress in greenhouse-grown vegetable crops. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 81(3):483-495.
- Ghoneim, I. 2005. Effect of nitrogen fertilization and its application systems on vegetative growth, fruit yield and quality of sweet pepper. *J. Agric. & Env. Sci. Alex. Univ., Egypt* 4(2):58-77.
- Gleick, PH; Christian-Smith, J; Cooley, H. 2011. Water-use efficiency and productivity: rethinking the basin approach. *Water International* 36(7):784-798.
- González-Real, M; Baille, A; Liu, HQ. 2008. Influence of fruit load on dry matter and N-distribution in sweet pepper plants. *Scientia Horticulturae* 117:307-315.
- González-Real, MM; Baille, A; Liu, HQ. 2009. Influence of fruit sink strength on the distribution of leaf photosynthetic traits in fruit-bearing shoots of pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Environmental and Experimental Botany* 66:195-202.
- Hakki, O; Yildirim, M. 2015. Water and radiation use efficiencies of pepper (*Capsicum annuum* L. cv. Carliston). *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences* 2(2A):87-93.
- Heuvelink, E; Marcelis, L. 2002. How to reduce yield fluctuations in sweet pepper? *Acta Horticulturae* 349-355.
- Iqbal, S; Tak, HI; Inam, A; Inam, A; Sahay, S; Chalkoo, S. 2015. Comparative effect of wastewater and groundwater irrigation along with nitrogenous fertilizer on Growth, photosynthesis and productivity of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Plant Nutrition* 38(7):1006-1021.
- Jara, D. 2016. Evaluación de tres híbridos de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía con tres mezclas de sustrato. Tesis Lic. Guayaquil, Ecuador, Universidad de Guayaquil. 62 p.
- Kanwar, D; Dikshit, S; Sharma, G; Patel, K; Agrawal, R; Sarnaik, D. 2013. Studies on effect of fertigation on growth and yield attributing characters of



- sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under black polyethylene mulch. *J. Soils and Crops* 23(1):73-77.
- Li, X; Kang, S; Li, F; Zhang, X; Huo, Z; Ding, R; Tong, L; Du, T; Li, S. 2017. Light Supplement and carbon dioxide enrichment affect yield and quality of off-season Pepper. *Agron. J.* 109:2107-2118.
- Maaiké, A. 2010. Towards stochastic simulation of crop yield: a case study of fruit set in sweet pepper. Tesis Ph.D. Wageningen, Países Bajos, Universidad de Wageningen. 157 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2007. *Agrocadena Regional Cultivo Chile Dulce*. San José, Costa Rica. 76 p.
- Mardaninejad, S; Tabatabaei, SH; Pessarakli, M; Zarebyaneh, H. 2017. Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) to drought stress. *Journal of Plant Nutrition* 40(10):1453-1464.
- Mbandlwa-Mthembu, N; Fotouo-M, H; Makgose, M; Sivakumar, D. 2020. Stomatal conductance, leaf chlorophyll content, growth, and yield of sweet pepper in response to plant growth regulators. *International Journal of Vegetable Science* 25(2):116-126.
- Mora, J; Echandi, C; Barrantes, L; Bonilla, K. 2018. Manual técnico basado en experiencias con el híbrido "Dulcítico" (*Capsicum annuum*) (en línea). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), San José, Costa Rica. Consultado oct. 2019. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-11058.pdf>
- Mundree, S; Baker, B; Mowla, S; Peters, S; Marais, S; Vander, C; Govender, K; Maredza, A; Muyanga, S; Farrant, J; Thomson J. 2002. Physiological and molecular Insights into drought tolerance. *African Journal of Biotechnology* 1(2):28-38.
- Munns, R; Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59:651-681.
- Mustafa, Z; Pervez, MA; Ayyub, CM; Matloob, A; Khaliq, A; Hussain, S; Ihsan, MZ; Butt, M. 2014. Morpho-physiological characterization of chilli genotypes under NaCl salinity. *Soil and Environment* 33(2):133-141.
- Navarro, J; Garrido, C; Flores, P; Martínez, V. 2010. The effect of salinity on yield and fruit quality of pepper grown in perlite. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8(1):142-150.
- Noronha, F; Villas, R; Grava, L; Goto, R. 2004. Macronutrient accumulation and partitioning in fertigated sweet pepper plants. *Scientia Agricola* 61(1):62-68.
- ONU (Organización de Naciones Unidas). 2015. Noticias. Uso de fertilizantes sobrepasará 200 millones de toneladas en 2018 (en línea). Consultado ene. 2019. Disponible en <https://news.un.org/es/story/2015/02/1323401>
- Osakabe, Y; Arinaga, N; Umezawa, T; Katsura, S; Nagamachi, K; Tanaka, H; Ohiraki, H; Yamada, K; Seo, S; Abo, M; Yoshimura, E; Shinozaki, K; Yamaguchi-Shinozaki, K. 2013. Osmotic stress responses and plant growth controlled by potassium transporters in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* 25:609-624.
- Preciado-Rangel, P; Rueda-Puente, EO; Valdez-Aguilar, LA; Reyes-Pérez, JJ; Gallegos-Robles, MA; Murillo-Amado, B. 2021. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva y su efecto en compuestos bioactivos y rendimiento de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24(52):1-12.
- Prieto, M; Peñalosa, J; Sarro, M; Zornoza, P; Gárate, A. 2007. Seasonal effect on Growth parameters and macronutrient use of sweet pepper. *Journal of Plant Nutrition* 30:1803-1820.
- Qian, T; Dieleman, JA; Elingsa, A; Marcelis, LFM. 2012. Leaf photosynthetic and morphological responses to elevated CO<sub>2</sub> concentration and altered fruit number in the semi-closed greenhouse. *Scientia Horticulturae* 145:1-9.
- Qiu, R; Song, J; Du, T; Kang, S; Tong, L; Chen, R; Wu, L. 2013. Response of evapotranspiration and yield to planting density of solar greenhouse grown tomato in northwest China. *Agricultural Water Management* 130:44-51.
- Quesada, G. 2015. Producción de chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de agotamiento en la humedad del sustrato. *Agronomía Costarricense* 39(1):25-36.
- Rubio, JS; García-Sánchez, F; Rubio, F; Martínez, V. 2009. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> fertilization. *Scientia Horticulturae* 119:79-87.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2018. Boletín Estadístico Agropecuario. San José, Costa Rica. 143 p.
- Sharma, H; Shukla, M; Bosland, P. 2015. Physiological responses of greenhouse-grown drip-irrigated chile pepper under partial root zone drying. *Hortscience* 50(8):1224-1229.
- Soto-Bravo, F; Araya-Cubero, EA; Echandi-Gurdian, C. 2020. Efecto de la densidad de siembra y volumen de sustrato sobre parámetros de riego y rendimiento de chile dulce 'dulcítico' en hidroponía bajo invernadero. *Agronomía Costarricense* 44(1):43-64.
- Tadesse, T; Nichols, M; Fisher, K. 2010. Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 27:229-237.
- Taiz, L; Zeiger, E. 2002. *Plant physiology*. Massachusetts, USA, Sunderland: Sinauer. 675 p.
- Tanaskovik, V; Cukaliev, O; Spalevic, V; Moteva, M; Markoski, M. 2017. Effects of irrigation and fertilization on the number of formed flower and fruits sets in pruned pepper. p. 2184-2192.



- Torralbo, F; Begoña, M; Baroja, E; Aranjuelo, I; Gonzáles, C. 2019. Differential regulation of stomatal conductance as a strategy to cope with ammonium fertilizer under ambient versus elevated CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Plant Science* 10(597):1-12.
- Trejo-Téllez, L; Gómez-Merino, F. 2012. Nutrient solutions for hydroponic systems. *In* Toshiki, A (ed.). *Hydroponics - A standard methodology for plant biological Researches*. Rijeka, Croatia, InTech. p. 1-22. Consultado oct. 2019. Disponible en <http://www.intechopen.com/books/hydroponics-a-standardmethodology-for-plant-biological-researches/nutrient-solutions-for-hydroponic-systems>
- United Nations. 2019. Launch of the UN global campaign on sustainable nitrogen Management (en línea). Consultado oct. 2019. Disponible en <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/speech/launch-un-global-campaign-sustainable-nitrogen-management>
- Verma, R. 2012. Growth, physiology and yield of chilli (*Capsicum annum* L.) genotype under different fertility levels. Tesis M.Sc. Raipur, India, Indira Gandhi Krishi Vishwavidyalaya. 120 p.
- Wamser, A; Cecilio, A; Dalmazzo, R; Mendoza-Cortez, J; Urrestarazu, M. 2017. Influence of drainage and nutrient-solution nitrogen and potassium concentrations on the agronomic behavior of bell-pepper plants cultivated in a substrate. *PLOS ONE* 12(7):e0180529.
- Wubs, AM; Heuvelink, E; Marcelis, LFM. 2009. Abortion of reproductive organs in sweet pepper (*Capsicum annum* L.): a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 84(5):467-475.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2016. The United Nations world water development report 2016: water and jobs. UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, ed.). Paris. 148 p.
- Yildirim, M; Demirel, K; Bahar, E. 2017. Radiation use efficiency and yield of pepper (*Capsicum annum* L. cv. California Wonder) under different irrigation treatments. *J. Agr. Sci. Tech.* 19:693-705.
- Zolin, M; Rezende, R; Candido, AH; Silva, FA; Salim, C; de Castro, C. 2018. Gas exchange, leaf and root dry mass in bell pepper under fertigation with nitrogen and potassium. *Semina Ciencias Agrarias* 39(2):511-520.



