

## Efecto de dos porcentajes de drenaje sobre pepino (*Cucumis sativus*) cultivado en invernadero

José Eladio Monge-Pérez<sup>1</sup> , Julio César Loáiciga-Arias<sup>2</sup> , Werner Salazar-Salazar<sup>3</sup>  & Michelle Loría-Coto<sup>4</sup> 

1. Universidad de Costa Rica, Finca Experimental Interdisciplinaria de Modelos Agroecológicos, Turrialba, Cartago, Costa Rica; jose.mongeperez@ucr.ac.cr
2. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Coordinación Regional de Agricultura Orgánica, Dirección de Desarrollo Chorotega, Liberia, Guanacaste, Costa Rica; julioloaicigaa@gmail.com
3. Hortitec, Palmares, Alajuela, Costa Rica; werner@hortitec-cr.com
4. Universidad Estatal a Distancia, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Montes de Oca, Mercedes, San José, Costa Rica; michelle\_loria@yahoo.com

Recibido 31-X-2022 ■ Corregido 6-II-2023 ■ Aceptado 15-II-2023

DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v15i1.4459>

**ABSTRACT.** “Effect of two drainage rates on cucumber (*Cucumis sativus*) under greenhouse conditions”. **Introduction:** Drainage rate is an important factor in hydroponic production. **Objective:** to evaluate the effect of two drainage rates on the yield and quality of cucumber (cv. Modan) under greenhouse conditions in the dry and rainy seasons. **Methods:** We used fertigation and coconut fiber as substrate. **Results:** In all quality categories, there were no statistically significant differences between irrigation rates for the number of fruits per m<sup>2</sup>, fruit weight and yield; while the percentage of total soluble solids was higher at 10% irrigation. The rainy season cucumbers had more total fruits per m<sup>2</sup>; commercial fruit weight; and total, second and third quality yield. **Conclusion:** For this conditions, a 10% irrigation rate will save water and nutrients, and increase crop profitability.

**Keywords:** leaching fraction, electric conductivity, salinity, sustainability, climate change

**RESUMEN.. Introducción:** La tasa de drenaje es un factor importante en la producción hidropónica. **Objetivo:** evaluar el efecto de dos tasas de drenaje sobre el rendimiento y la calidad de pepino (cv. Modan) de invernadero en las épocas seca y lluviosa. **Métodos:** Utilizamos “fertirrigación” y fibra de coco como sustrato. **Resultados:** En todas las categorías de calidad, no hubo diferencias entre dosis de riego para el número de frutos por m<sup>2</sup>, peso de frutos y rendimiento; mientras que el porcentaje de sólidos solubles totales fue mayor al 10% de riego. Los pepinos de época lluviosa tuvieron más frutos totales por m<sup>2</sup>; mayor peso de frutos comerciales; y mejor rendimiento total, de segunda y tercera calidad. **Conclusión:** En estas condiciones, una tasa de riego del 10% ahorrará agua y nutrientes, y aumentará la rentabilidad del cultivo.

**Palabras clave:** fracción de lavado, conductividad eléctrica, salinidad, sostenibilidad, cambio climático

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una planta de la familia Cucurbitaceae, que es cultivada ampliamente por sus frutos comestibles; esta hortaliza provee nutrientes, y es baja en calorías, sodio y colesterol, y se consume en ensaladas y conservas (Mallick, 2022).

El uso del agua es un factor muy importante para aumentar la productividad y asegurar una producción sostenible (Hernández, 2014); el aumento en el consumo de agua para uso humano y agropecuario, y su insuficiencia generalizada a raíz del cambio climático, hacen necesario buscar estrategias que posibiliten un uso más eficiente de este recurso limitado para aumentar los rendimientos y asegurar la rentabilidad económica, o que permitan enfrentar los efectos negativos de la carencia de agua (Vila, 2011; Meriño et al., 2014; Rodríguez et al., 2014). Una alternativa es el

riego deficitario, en el cual se reduce el aporte hídrico sin afectar la producción y la calidad, lo que lleva a mejorar la eficiencia en el uso del agua (Rázuri et al., 2008; Rodríguez et al., 2014).

El porcentaje de drenaje (%D) es un método de monitoreo de la eficiencia de riego, y se calcula dividiendo la cantidad de agua que drena del contenedor del sustrato, entre la cantidad total de riego aplicado (Urrestarazu, 2015; Krofft et al., 2020). La existencia de un porcentaje de drenaje se considera vital, principalmente por la necesidad de mantener un nivel estable de equilibrio de nutrientes en el medio radical, y una distribución homogénea de los mismos en la rizosfera (Urrestarazu, 2015).

En el cultivo sin suelo, es necesario mantener un adecuado drenaje de la solución nutritiva, con el fin de controlar la acumulación de sales en el sustrato; unos autores aconsejan que el porcentaje de drenaje sea entre 20 y 40%D (Giuffrida et al., 2003), mientras que otros investigadores recomiendan entre 30 y 35%D (Pardossi et al., 2006; Nikolaou et al., 2019; Gontijo et al., 2020). Sin embargo, un porcentaje de drenaje excesivo puede reducir la disponibilidad de nutrientes para las plantas y afectar la producción (Gontijo et al., 2020).

El porcentaje de drenaje óptimo para un cultivo depende de factores como el ritmo de transpiración de las plantas o la calidad del agua, y se utiliza normalmente como indicador o diagnóstico de un fertirriego adecuado; desde un punto de vista práctico, es razonable usar entre 10 y 30%D, en función de la época del año, el estado de desarrollo de las plantas y la calidad del agua de riego (Urrestarazu, 2015). El nivel de transpiración de las plantas depende de factores ambientales como la temperatura, humedad relativa, radiación, y velocidad del viento, los cuales generalmente varían según la época del año, tanto en condiciones a campo abierto como en invernadero (López-López & Benavides-León, 2014), lo que afecta el porcentaje de drenaje óptimo a usar en cada momento del año. Además, se debe llevar también un seguimiento de la conductividad eléctrica (CE) del drenaje, con el fin de hacer los ajustes necesarios en el caso de que el valor de CE aumente o disminuya más allá de lo deseable (Urrestarazu, 2015).

Por otra parte, justificaciones de tipo ambiental o económico podrían sugerir el uso de un porcentaje de drenaje menor, para evitar la pérdida de nutrientes y ahorrar agua, lo cual es especialmente favorable cuando se cultivan plantas tolerantes a la salinidad (Giuffrida et al., 2003). Uno de los beneficios de usar un porcentaje de drenaje menor es la disminución en la cantidad de nutrientes que drenan fuera del sustrato (y que podrían ocasionar daños ambientales debido al N o al P, además de pérdidas económicas), así como una mayor concentración de nutrientes disueltos en el sustrato (y disponibles para las plantas) (Urrestarazu, 2015; Krofft et al., 2020).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos porcentajes de drenaje (10 y 30%D) sobre el rendimiento y la calidad de pepino cultivado en condiciones de invernadero, en dos épocas (seca y lluviosa).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Realizamos el experimento en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), de la Universidad de Costa Rica, ubicada en Barrio San José de Alajuela, Costa Rica, situada a 10° 1' latitud Norte y 84° 16' longitud Oeste, a una altitud de 883 msnm, con un promedio de precipitación anual de 1940 mm distribuidos de mayo a noviembre, y un promedio anual de temperatura de 22°C.

El ensayo se llevó a cabo en un invernadero modelo XR de la marca Richel (Francia), tipo multicapilla, con techo de plástico y ventilación cenital automática. Utilizamos la metodología de manejo integrado de plagas descrito por otros autores (Elizondo-Cabalceta & Monge-Pérez, 2019), así como un sistema de fertirriego automatizado, con una solución nutritiva validada en la EEAFBM para la producción de pepino en ambiente protegido por otros autores (Salazar-Salazar et al., 2022).

Utilizamos el genotipo de pepino (*Cucumis sativus* L.) cv. Modan, que corresponde a un híbrido F-1 partenocárpico. Las plántulas se establecieron en sacos de 1m de longitud, 22cm de ancho y 22cm de altura, rellenos con sustrato inerte de fibra de coco molida. La densidad de siembra fue de 2,60 plantas/m<sup>2</sup>, que corresponde a cuatro plantas por metro lineal (cada saco), es decir, una distancia entre plantas de 25cm, y entre hileras de 1,54m. El trasplante se hizo cuando las plántulas tenían una hoja verdadera. Se eliminaron todos los brotes secundarios, y se dejó únicamente el tallo principal. Cuando fue necesario, se realizó amarre y tutoreo de las plantas.

Evaluamos cuatro tratamientos, a partir de en una combinación factorial de dos porcentajes de drenaje (10%D y 30%D), y dos épocas (seca y lluviosa).

En la época seca, el trasplante se realizó el 24 de enero del 2015, y la cosecha inició el 27 de febrero (34 días después del trasplante-ddt), y finalizó el 29 de abril de ese año (95ddt). En la época lluviosa, el trasplante se hizo el 19 de julio de 2015, y la cosecha inició el 17 de agosto (29ddt) y finalizó el 2 de noviembre de ese año (106ddt). La cosecha se hizo en forma semanal, cuando la base del pedúnculo y el ápice tenían el mismo grosor, y el color del fruto era verde oscuro.

Clasificamos los frutos en categorías de calidad (Tabla 1).

**TABLA 1**

Categorías de calidad de pepino

Característica	Categoría de calidad			
	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
Longitud del fruto (cm)	Mayor a 20	Entre 16 y 20	Entre 12 y 15,9	Cualquiera
Deformaciones	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Presentes
Daños	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Presentes

Desde la siembra hasta los 14ddt el cultivo se manejó con niveles óptimos de riego; los diferentes regímenes de humedad (porcentajes de drenaje) se aplicaron a partir de los 15ddt.

Las variables evaluadas fueron:

1. Número de frutos por metro cuadrado: se determinó el número de frutos por área para cada categoría de calidad, realizando una sumatoria de los frutos obtenidos en todas las cosechas, y luego se dividió entre el número de plantas por parcela, y se multiplicó por la densidad de siembra.

2. Peso promedio del fruto (g): se determinó realizando una sumatoria del peso en gramos de todos los frutos registrados durante todas las cosechas, y luego se dividió entre el número de frutos; esta variable se determinó para cada categoría de calidad del fruto, mediante el uso de una balanza electrónica marca Ocony, modelo TH-I-EK, de 5000,0 ± 0,1g de capacidad.

3. Rendimiento por área (kg/m<sup>2</sup>): se calculó a partir del peso de los frutos cosechados y de la densidad de siembra, para cada categoría de calidad del fruto. El rendimiento comercial se calculó sumando el peso de la producción de las categorías de primera, segunda y tercera calidad, y el rendimiento total se obtuvo sumando el peso obtenido para todas las categorías.

4. Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix): se tomó un fruto por cada repetición, al cual se le midió esta variable con la ayuda de un refractómetro manual marca BOECO Germany, con una capacidad de 32,0 ± 0,2°Brix.

Además, registramos los datos de temperatura, humedad relativa (HR) y radiación fotosintéticamente activa (RFA) diurna que prevalecieron dentro del invernadero durante la ejecución del experimento, mediante sensores y un registrador de datos marca Onset, modelo HOBO U30.

Controlamos los niveles de humedad del sustrato con un programador de riego marca Igrow, modelo 1400, por medio de radiación acumulada. Colocamos dos estaciones de monitoreo

para medir el volumen de agua dispensada por un gotero, y el volumen total de agua drenada de un saco de fibra de coco, y se calculó el porcentaje de drenaje; de acuerdo con los datos obtenidos se procedió a ajustar el tiempo de riego según cada caso, para mantener un 30%D y un 10%D, según cada tratamiento. Realizamos mediciones diarias del drenaje y los cambios en los tiempos de riego, según la recomendación de Urrestarazu (2015), y de igual forma tomamos los datos de pH y CE.

La unidad experimental constó de dos sacos con cuatro plantas cada uno, para un total de ocho plantas. Utilizamos un diseño completamente al azar, con arreglo factorial (dos factores: porcentaje de drenaje y época), con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Para todas las variables realizamos un análisis estadístico de variancia, y utilizamos la prueba LSD Fisher con una significancia de 5% para confirmar o descartar diferencias entre tratamientos.

## RESULTADOS

Durante el desarrollo del ensayo, el pH promedio de la solución nutritiva se mantuvo en 6,0, mientras que con 10%D el pH promedio del drenaje fue de 6,5, y para 30%D de 6,2. La CE promedio de la solución nutritiva se mantuvo en 2,4dS/m, mientras que con 10%D la CE promedio del drenaje fue de 4,0dS/m, y para 30%D de 3,2dS/m.

Con respecto a las variables climáticas dentro del invernadero (Tabla 2), en la época seca la temperatura diurna (promedio y máxima) y la RFA diurna (promedio y máxima) fue superior a la registrada en la época lluviosa; mientras que la HR diurna (promedio, máxima y mínima) fue inferior en la época seca, en comparación con la lluviosa.

En relación con el número de frutos por área (Tabla 3), para el factor drenaje no se presentaron diferencias significativas para ninguna de las categorías de calidad. Para el factor época, el número de frutos por área fue mayor en la época lluviosa para las calidades segunda, tercera, rechazo y total, y fue menor para la calidad primera, en comparación con la época seca. La interacción drenaje x época para el número total de frutos por área fue muy significativa; el mayor valor se obtuvo con 10%D en la época lluviosa. Por otra parte, la interacción drenaje x época también fue muy significativa para el número de frutos comerciales por área; el mayor valor se halló con 10%D en la época lluviosa, pero no fue diferente de 30%D en la época seca; además, no se presentaron diferencias significativas en la época seca entre 10%D y 30%D para esta variable. Para las otras categorías de calidad, esta interacción no fue significativa.

Con respecto al peso promedio del fruto (Tabla 4), para el factor drenaje no se presentaron diferencias significativas para ninguna de las categorías de calidad. Para el factor época, el peso de los frutos de calidad primera, segunda, tercera, rechazo y comercial, fueron mayores en la época lluviosa, en comparación con la época seca. La interacción drenaje x época no fue significativa para ninguna de las categorías de calidad.

**TABLA 2**

Variables climáticas dentro del invernadero, según época de siembra

Variable climática	Época	
	Seca	Lluviosa
Temperatura diurna promedio (°C)	29,6	27,1
Temperatura diurna máxima (°C)	37,0	33,4
Temperatura diurna mínima (°C)	20,3	20,7
Temperatura nocturna promedio (°C)	21,1	21,4
Temperatura nocturna máxima (°C)	24,1	23,9
Temperatura nocturna mínima (°C)	19,2	19,8
HR diurna promedio (%)	50,5	72,3
HR diurna máxima (%)	77,1	91,4
HR diurna mínima (%)	33,1	52,3
HR nocturna promedio (%)	75,3	89,2
HR nocturna máxima (%)	82,4	94,2
HR nocturna mínima (%)	64,8	78,9
RFA diurna promedio (W/m <sup>2</sup> )	646,5	494,0
RFA diurna máxima (W/m <sup>2</sup> )	1605,6	1563,1
RFA diurna mínima (W/m <sup>2</sup> )	1,2	1,4

**TABLA 3**Número de frutos por m<sup>2</sup>, según categoría de calidad

Efecto	Tratamiento	Número de frutos por m <sup>2</sup> , según calidad					
		Total	Comercial	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
Drenaje (%)	10	65,02 a	57,19 a	41,19 a	10,82 a	5,18 a	7,83 a
	30	62,77 a	55,87 a	41,82 a	9,28 a	4,93 a	6,90 a
Época	Seca	60,19 a	55,86 a	46,50 b	7,97 a	1,55 a	4,33 a
	Lluviosa	67,60 b	57,20 a	36,51 a	12,13 b	8,56 b	10,40 b
Interacción Drenaje x Época		**	**	ns	ns	ns	ns
Drenaje (%) x Época							
10	Seca	57,46 a	53,39 a	44,03 bc	7,89 a	1,47 a	4,07 a
30	Seca	62,92 a	58,32 ab	48,96 c	8,06 a	1,63 a	4,60 a
10	Lluviosa	72,59 b	60,99 b	38,35 ab	13,76 b	8,88 b	11,59 b
30	Lluviosa	62,62 a	53,41 a	34,67 a	10,51 ab	8,24 b	9,21 b

Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), según la prueba LSD Fisher.;

\*\* = muy significativa ( $p \leq 0,01$ ); \* = significativa ( $p \leq 0,05$ ); ns = no significativa.

**TABLA 4**

Peso promedio del fruto, según categoría de calidad

Efecto	Tratamiento	Peso promedio del fruto (g), según calidad					
		Total	Comercial	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
Drenaje (%)	10	314,97 a	339,29 a	374,96 a	261,29 a	176,99 a	117,53 a
	30	314,39 a	338,01 a	369,11 a	257,06 a	211,51 a	106,58 a
Época	Seca	309,22 a	328,08 a	350,15 a	232,77 a	141,50 a	66,04 a
	Lluviosa	320,14 a	349,22 b	393,93 b	285,59 b	246,99 b	158,07 b
Interacción Drenaje x Época		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Drenaje (%) x Época							
10	Seca	ns	328,05 a	352,04 a	233,60 a	115,47 a	81,56 a
30	Seca	ns	328,11 a	348,25 a	231,93 a	167,53 a	50,52 a
10	Lluviosa	ns	350,53 b	397,88 b	288,98 b	238,51 b	153,50 b
30	Lluviosa	ns	347,92 b	389,98 b	282,19 b	255,48 b	162,64 b

Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), según la prueba LSD Fisher.;

\*\* = muy significativa ( $p \leq 0,01$ ); \* = significativa ( $p \leq 0,05$ ); ns = no significativa.

En relación con el rendimiento por área (Tabla 5), para el factor drenaje no se presentaron diferencias significativas para ninguna de las categorías de calidad. Para el factor época, el rendimiento fue mayor en la época lluviosa para las calidades segunda, tercera, rechazo y total, en comparación con la época seca. La interacción drenaje x época para el rendimiento total fue significativa; el mayor valor se obtuvo con 10%D en la época lluviosa. Por otra parte, la interacción drenaje x época también fue significativa para el rendimiento comercial; el mayor valor se halló con 10%D en la época lluviosa, pero no fue diferente de 30%D en época seca; además, en la época seca no se hallaron diferencias significativas entre 10%D y 30%D para esta variable. Para las otras categorías de calidad, esta interacción no fue significativa.

**TABLA 5**

Rendimiento por área, según categoría de calidad

Efecto	Tratamiento	Rendimiento ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), según calidad					
		Total	Comercial	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
Drenaje (%)	10	20,52 a	19,47 a	15,42 a	2,91 a	1,14 a	1,05 a
	30	19,73 a	18,87 a	15,29 a	2,42 a	1,18 a	0,86 a
Época	Seca	18,61 a	18,33 a	16,28 a	1,85 a	0,22 a	0,28 a
	Lluviosa	21,64 b	20,01 a	14,42 a	3,48 b	2,11 b	1,63 b
Interacción Drenaje x Época		*	*	ns	ns	ns	ns
Drenaje (%) x Época							
10	Seca	17,85 a	17,52 a	15,51 ab	1,84 a	0,17 a	0,33 a
30	Seca	19,37 a	19,14 ab	17,06 b	1,87 a	0,27 a	0,23 a
10	Lluviosa	23,19 b	21,41 b	15,32 ab	3,98 c	2,12 b	1,78 b
30	Lluviosa	20,08 a	18,60 a	13,53 a	2,98 b	2,09 b	1,48 b

Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), según la prueba LSD Fisher.;

\*\* = muy significativa ( $p \leq 0,01$ ); \* = significativa ( $p \leq 0,05$ ); ns = no significativa.

Con respecto al porcentaje de sólidos solubles totales del fruto (Tabla 6), para el factor drenaje el mayor valor se obtuvo con 10%D. Para el factor época, el valor para esta variable fue superior en la época seca. La interacción drenaje x época fue muy significativa; el mayor valor se obtuvo con 10%D en la época seca.

**TABLA 6**  
Porcentaje de sólidos solubles totales del fruto

Efecto	Tratamiento	Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)
Drenaje (%)	10	3,36 b
	30	3,09 a
Época	Seca	3,43 b
	Lluviosa	3,03 a
Interacción Drenaje x Época		**
Drenaje (%) x Época		
10	Seca	3,64 c
30	Seca	3,21 b
10	Lluviosa	3,08 a
30	Lluviosa	2,97 a

Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), según la prueba LSD Fisher.;

\*\* = muy significativa ( $p \leq 0,01$ ); \* = significativa ( $p \leq 0,05$ ); ns = no significativa.

## DISCUSIÓN

En ambas épocas, la temperatura diurna máxima fue superior al valor óptimo máximo informado para pepino de 32°C (Jiménez-Ballesta et al., 2018), lo que pudo haber provocado estrés por alta temperatura, especialmente en la época seca. Asimismo, en la época seca, la HR diurna promedio fue inferior al ámbito óptimo para este cultivo de 70-90% (Jiménez-Ballesta et al., 2018), lo que también pudo provocar estrés de origen abiótico en las plantas y afectar la producción de las plantas.

En relación con la CE, es evidente que hubo un aumento en la salinidad del sustrato cuando se usó 10%D, con respecto a 30%D, lo cual es un resultado esperable (Pardossi et al., 2006; Nikolaou et al., 2019; Gontijo et al., 2020).

Según otros investigadores, la CE óptima para el cultivo de pepino es de entre 2,2 y 2,7dS/m, pues es una planta que no tolera el estrés salino, y cuyo rendimiento baja hasta un 10% con una CE de 3,3dS/m (Galindo et al., 2014); en la presente investigación, ese valor de CE se superó con el uso de 10%D. Por otra parte, otros autores han informado que, si se va a usar una CE de 2,4dS/m, se debe usar un porcentaje de drenaje mayor a 15% para evitar un aumento en la CE del sustrato, pues se sabe que las raíces del pepino son sensibles a la salinidad (Hikosaka et al., 2002).

Con respecto al número de frutos por área, otros autores hallaron que el pepino Modan cultivado en invernadero produjo en total entre 14,07 y 82,16frutos/m<sup>2</sup> (López-Elías et al., 2011, 2015; Chacón-Padilla & Monge-Pérez, 2017; Ramírez-Vargas, 2019; Cruz-Coronado & Monge-Pérez, 2020); los resultados en el presente trabajo se ubicaron en ese ámbito.

En otro ensayo se evaluaron 17%D y 29%D en pepino hidropónico en invernadero; el número de frutos por planta fue mayor en las plantas que recibieron 29%D; sin embargo, cuando se usó una mayor cantidad de nutrientes en la solución nutritiva, no hubo diferencias entre tratamientos para esta variable (Schon & Compton, 1997), lo cual fue un resultado similar a lo

hallado en la presente investigación.

En forma contraria a lo hallado en el presente trabajo, otros investigadores cultivaron pepino hidropónico con 25%D y 40%D, y encontraron que el número de frutos por planta fue mayor con 40%D (Huber et al., 2005); de la misma forma, otros autores hallaron que un aumento en la CE provocó una disminución en el número de frutos por área en pepino (Wan et al., 2010; Soubeih et al., 2018). Igualmente, otros autores probaron diferentes porcentajes de drenaje en fresa (10, 20, 30 y 50%), y el tratamiento 30%D mostró el mayor número de frutos comerciales por planta (Gontijo et al., 2020).

En relación con el peso promedio del fruto, otros investigadores hallaron que en el pepino Modan cultivado en invernadero, esta variable oscila entre 254,52 y 388,00g (López-Elías et al., 2011, 2015; Chacón-Padilla & Monge-Pérez, 2017; Ramírez-Vargas, 2019; Cruz-Coronado & Monge-Pérez, 2020); los resultados en la presente investigación se ubicaron dentro de este ámbito.

Otros autores cultivaron pepino hidropónico con 25%D y 40%D, y no encontraron diferencias entre tratamientos para el peso del fruto (Huber et al., 2005); estos resultados son similares a los hallados en la presente investigación entre 10%D y 30%D.

En forma contraria a lo hallado en el presente ensayo, otros investigadores informaron que un aumento en la CE provocó una disminución en el peso del fruto de pepino (Soubeih et al., 2018); asimismo, otros investigadores evaluaron diferentes porcentajes de drenaje en fresa (10, 20, 30 y 50%), y el tratamiento 30%D mostró el mayor valor para el peso del fruto (Gontijo et al., 2020).

Con respecto al rendimiento, en otros trabajos se obtuvo un rendimiento total del pepino Modan cultivado en invernadero de entre 4,83 y 21,13kg/m<sup>2</sup> (López-Elías et al., 2011, 2015; Chacón-Padilla & Monge-Pérez, 2017; Ramírez-Vargas, 2019; Cruz-Coronado & Monge-Pérez, 2020); los resultados encontrados en el presente trabajo se ubicaron mayoritariamente en este ámbito, aunque en la época lluviosa el valor hallado fue superior.

Al igual que el resultado obtenido en el presente ensayo, otros autores evaluaron dos porcentajes de drenaje (15 y 30%) en pepino hidropónico, y no hallaron diferencias en rendimiento entre ambos tratamientos (Hikosaka et al., 2002). De la misma forma, otros autores encontraron para el cultivo de tomate, que el rendimiento hallado con 15%D fue muy similar al hallado con 30%D, a pesar de las diferencias en el contenido de sales del sustrato (Giuffrida et al., 2003).

En forma contraria a lo hallado en el presente trabajo, otros investigadores cultivaron pepino hidropónico con 25%D y 40%D, y encontraron que el rendimiento fue mayor con 40%D (Huber et al., 2005). De igual manera, otros autores informaron que un incremento en la CE provocó una disminución en el rendimiento de pepino (Wan et al., 2010; Soubeih et al., 2018). Además, otros autores probaron 17%D y 29%D en pepino hidropónico en invernadero; el rendimiento total fue mayor en las plantas que recibieron 29%D; sin embargo, contrariamente, cuando se usó una mayor cantidad de nutrientes en la solución nutritiva, el rendimiento fue mayor con 17%D (Schon & Compton, 1997). Igualmente, en otro ensayo se probaron diferentes porcentajes de drenaje en fresa (10, 20, 30 y 50%), y el tratamiento 30%D mostró el mayor rendimiento (Gontijo et al., 2020). Además, otros investigadores estudiaron varios porcentajes de drenaje en tomate (10, 20, 30 y 40%), y encontraron que el rendimiento total disminuyó conforme se redujo dicho porcentaje (Tüzel et al., 2007).

En el presente trabajo, el uso de 10%D produjo un rendimiento comercial que fue estadísticamente igual a 30%D en la época seca, y uno superior a 30%D en la época lluviosa; dado que se usó una CE de 2,4dS/m, este resultado contradice lo establecido por (Hikosaka et al., 2002) con respecto a la sensibilidad de las raíces de pepino a una alta CE, lo cual se podría explicar por una aparente tolerancia a la salinidad por parte del pepino Modan. En pepino hidropónico, la disminución en el porcentaje de drenaje ayuda a conservar agua y a reducir los problemas ambientales debidos a la lixiviación de nitratos (Schon & Compton, 1997); el uso de menos de 15%D



aumenta la eficiencia del riego y reduce el riesgo ambiental como consecuencia de la escorrentía potencial de los nutrientes (Pardossi et al., 2006).

En relación con el porcentaje de sólidos solubles totales, el mayor valor obtenido con 10%D en la época seca se puede explicar por la mayor salinidad y la mayor temperatura, que ayudaron a reducir el contenido de agua en el fruto, y por lo tanto, a concentrar los azúcares y demás fotosintatos. En este sentido, otros autores hallaron que el aumento en la salinidad provocó un incremento en el porcentaje de sólidos solubles totales en los cultivos de chile dulce (Kurunc et al., 2011), tomate y melón (Navarro et al., 2002).

Otros investigadores han informado que el fruto de pepino Modan cultivado en invernadero presenta un porcentaje de sólidos solubles totales de entre 2,89 y 3,70°Brix (López-Elías et al., 2015; Chacón-Padilla & Monge-Pérez, 2017; Ramírez-Vargas, 2019; Cruz-Coronado & Monge-Pérez, 2020); los resultados en el presente trabajo se ubicaron en ese ámbito.

En otro ensayo, al reducir el porcentaje de drenaje en tomate, aumentó el porcentaje de sólidos solubles totales en el fruto (Rosa-Rodríguez et al., 2018); este mismo resultado se obtuvo en la presente investigación para el cultivo de pepino.

Al igual que lo hallado en el presente trabajo, otros autores encontraron en la EEAFBM que el pepino Modan produjo más frutos totales por área, un mayor rendimiento total, y un menor porcentaje de sólidos solubles totales en la época lluviosa (Cruz-Coronado & Monge-Pérez, 2020), en comparación con la época seca (Chacón-Padilla & Monge-Pérez, 2017), lo cual se puede explicar por el efecto del mayor estrés térmico en esta última época. En este sentido, en el cultivo de tomate se ha informado que la alta temperatura provocó una disminución en el peso del fruto y el rendimiento, y un aumento en el porcentaje de sólidos solubles totales (Vijayakumar et al., 2021), tal y como sucedió en la presente investigación con el peso del fruto comercial, el rendimiento total y el porcentaje de sólidos solubles totales en pepino.

Concluimos que, en las condiciones en que se desarrolló el ensayo, recomendamos cultivar el pepino con 10%D en ambas épocas, con el fin de ahorrar agua y nutrientes, mejorar la rentabilidad del cultivo sin afectar el rendimiento, y reducir el riesgo ambiental.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos el financiamiento recibido por parte de la Universidad de Costa Rica y de CONARE, para la realización de este trabajo. Asimismo, agradecemos la colaboración de Mario Monge en la revisión de la traducción del resumen al idioma inglés.

## **ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO**

Declaramos haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la preparación de este documento; que no hay conflictos de interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, estamos de acuerdo con la versión editada final de esta publicación. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

La declaración de contribución de cada autor es la siguiente: J.E.M.P.: Diseño del estudio, recolección y análisis de datos, y preparación del manuscrito. J.C.L.A.: Recolección y análisis de datos. W.S.S.: Recolección y análisis de datos. M.L.C.: Análisis de datos.

## REFERENCIAS

- Chacón-Padilla, K., & Monge-Pérez, J. E. (2017). Rendimiento y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivado bajo invernadero. *Revista Pensamiento Actual*, 17(29), 39-50.
- Cruz-Coronado, J. A., & Monge-Pérez, J. E. (2020). Producción de siete genotipos de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivados en ambiente protegido. *Tecnología en Marcha*, 33(2), 102-118.
- Elizondo-Cabalceta, E., & Monge-Pérez, J. E. (2019). Pimiento (*Capsicum annum*) cultivado bajo invernadero: correlaciones entre variables. *Revista Posgrado y Sociedad*, 17(2), 33-60. <https://bit.ly/3SmS37T>
- Galindo, F.; Fortis, M.; Preciado, P.; Trejo, R.; Segura, M. y Orozco, J. (2014). Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(78), 1219-1232.
- Giuffrida, F., Argento, S., Lipari, V., & Leonardi, C. (2003). Methods for controlling salt accumulation in substrate cultivation. *Acta Horticulturae*, 614, 799-803.
- Gontijo, M. L., Diotto, A. V., Souza, F. S., & Gontijo, F. L. (2020). Water productivity and agronomic performance of strawberries with different leaching fractions application. *Scientia Plena*, 16(5), 1-7.
- Hernández, J. (2014). *Respuestas fisiológicas y eficiencia de uso de agua en Capsicum annum L., en un sistema hidropónico con déficit de riego y drenaje cero*. [Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados]. <https://bit.ly/41p0vaX>
- Hikosaka, S., Hohjo, M., Maruo, T., Shinohara, Y., & Ito, T. (2002). Effects of leaching rate and renewal of nutrient solution on cucumber growth in recirculating hydroponics using organic medium. *Environmental Control in Biology*, 40(2), 187-194.
- Huber, J. J., Zheng, Y., & Dixon, M. A. (2005). Hydroponic cucumber production using urethane foam as a growth substrate. *Acta Horticulturae*, 697, 139-145.
- Jiménez-Ballesta, R., García-Navarro, F. J., García-Giménez, R., Trujillo-González, J. M., Iñigo, V., & Asensio, C. (2018). Agroecological analysis of cucumber (*Cucumis sativus* L.) crops in orchards in a mediterranean environment. *Journal of Agriculture and Crops*, 4(3), 16-28.
- Krofft, C. E., Pickens, J. M., Newby, A. F., Sibley, J. L., & Fain, G. B. (2020). The effect of leaching fraction-based irrigation on fertilizer longevity and leachate nutrient content in a greenhouse environment. *Horticulturae*, 6(43), 1-8.
- Kurunc, A., Unlukara, A., & Cemek, B. (2011). Salinity and drought affect yield response of bell pepper similarly. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science*, 61, 514-522.
- López-Elías, J.; Garza, S.; Huez, M. A.; Jiménez, J. y Rueda, E. (2015). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) en función de la densidad de plantación en condiciones de invernadero. *European Scientific Journal*, 11(24), 25-36.
- López-Elías, J.; Rodríguez, J.; Huez, M.; Garza, S.; Jiménez, J. y Leyva, E. (2011). Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *IDESIA*, 29(2), 21-27.
- López-López, A. J., & Benavides-León, C. (2014). Respuesta térmica del invernadero de la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 121-132. <https://bit.ly/3IYxo7f>
- Mallick, P. K. (2022). Evaluating potential importance of cucumber (*Cucumis sativus* L. - Cucurbitaceae): a brief review. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 10(1), 12-15.
- Meriño, Y., Boicet, T., González, G., Boudet, A., Gómez, Y., & Zambrano, O. (2014). Respuesta agronómica del cultivo del pimiento (*Capsicum annum* L.) al déficit hídrico y la aplicación de Biobrás-plus. *Centro Agrícola*, 41(3), 71-77. <https://bit.ly/3m3rFnf>

- Navarro, J. M., Garrido, C., Carvajal, M., & Martínez, V. (2002). Yield and fruit quality of pepper plants under sulphate and chloride salinity. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 77(1), 52-57.
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Katsoulas, N., & Kittas, C. (2019). Irrigation of greenhouse crops. *Horticulturae*, 5(7), 1-20.
- Pardossi, A., Malorgio, F., Incrocci, L., Carmassi, G., Maggini, R., Massa, D., & Tognoni, F. (2006). Simplified models for the water relations of soilless cultures: what they do or suggest for sustainable water use in intensive horticulture. *Acta Horticulturae*, 718, 1-10.
- Ramírez-Vargas, C. (2019). Extracción de nutrientes, crecimiento y producción del cultivo de pepino bajo sistema de cultivo protegido hidropónico. *Tecnología en Marcha*, 32(1), 107-117.
- Rázuri, L., Romero, G., Romero, E., Hernández, J., & Rosales, J. (2008). Efecto del riego deficitario controlado en la producción del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.) bajo riego controlado. *Agricultura Andina*, 14, 31-48.
- Rodríguez, R., Rázuri, L., Swaroosky, A., & Rosales, J. (2014). Efecto del riego deficitario y diferentes frecuencias en la producción del cultivo de pimentón. *Interciencia*, 39(8), 591-596. <https://bit.ly/3Z1UPlt>
- Rosa-Rodríguez, R. D., Lara-Herrera, A., Padilla-Bernal, L. E., Avelar-Mejía, J. J., & España-Luna, M. P. (2018). Proportion of drainage of the nutritive solution in the yield and quality of tomato in hydroponics. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(spe. 20), 4343-4353.
- Salazar-Salazar, W., Monge-Pérez, J. E., & Loría-Coto, M. (2022). Aplicación foliar de fertilizantes y extracto de algas en pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 26(1), 177-189.
- Schon, M. K., & Compton, M. P. (1997). Comparison of cucumbers grown in rockwool or perlite at two leaching fractions. *HortTechnology*, 7(1), 30-33.
- Soubeih, K. A., Hafez, M. R., & Abd El Baset, A. (2018). Effect of grafting on cucumber (*Cucumis sativus* L.) productivity under saline conditions. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 8(4), 1071-1079.
- Tüzel, I. H., Tüzel, Y., Gül, A., Öztekin, G. B., Oztan, F., Meric, K. M., & Ücer, F. (2007). Effects of different leaching fractions on tomato production. *Acta Horticulturae*, 729, 373-378.
- Urrestarazu, M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Vijayakumar, A., Shaji, S., Beena, R., Sarada, S., Rani, T. S., Stephen, R., Manju, R. V., Viji, M. M. (2021). High temperature induced changes in quality and yield parameters of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and similarity coefficients among genotypes using SSR markers. *Heliyon*, 7(e05988), 1-15.
- Vila, H. (2011). *Regulación de la hidratación y la turgencia foliares por mecanismos evitadores del estrés, y resistencia al déficit hídrico en vid modelo vs. Experimentos*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Cuyo]. <https://bit.ly/3ko5EPH>
- Wan, S., Kang, Y., Wang, D., & Liu, S. (2010). Effect of saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and water use under drip irrigation in North China. *Agricultural Water Management*, 98(1), 105-113.