

Evaluación de dos porcentajes de drenaje sobre chile dulce (*Capsicum annuum*) cultivado bajo invernadero

Evaluation of two drainage rates on sweet pepper (*Capsicum annuum*) grown under greenhouse conditions

José E. Monge-Pérez^{1*}, Werner Salazar-Salazar², Julio C. Loáiciga-Arias³, Michelle Loría-Coto⁴

¹ Finca Experimental Interdisciplinaria de Modelos Agroecológicos, Universidad de Costa Rica, Costa Rica

² Hortitec, Costa Rica

³ Coordinación Regional de Agricultura Orgánica, Dirección de Desarrollo Chorotega, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica

⁴ Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica

*Autor de correspondencia: jose.mongeperez@ucr.ac.cr

RESUMEN. Objetivo: evaluar el efecto de dos porcentajes de drenaje (%D) (10% y 30%) sobre el rendimiento y la calidad del chile dulce cv. Nathalie cultivado bajo invernadero, en dos épocas (seca y lluviosa). Metodología: se usó fibra de coco como sustrato, y se aplicó fertirrigación; se evaluaron las siguientes variables: número de frutos por m², peso del fruto (g), rendimiento (kg/m²), y porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix). Resultados: Con 30%D se obtuvo un número de frutos por m² y un rendimiento significativamente mayor para las calidades primera y comercial, en comparación con 10%D. En la época lluviosa, el número de frutos por m² y el rendimiento fueron significativamente superiores para las calidades primera, segunda, comercial y total, en comparación con la época seca. El %D no afectó el peso del fruto ni el porcentaje de sólidos solubles totales. Los frutos producidos en la época seca mostraron un mayor porcentaje de sólidos solubles totales, en comparación con la época lluviosa. Conclusiones: Bajo las condiciones en que se desarrolló el ensayo, en la época seca se recomienda cultivar el chile dulce con 30%D, mientras que en la época lluviosa se recomienda usar 10%D, con el fin de ahorrar agua y nutrientes, y así aumentar la rentabilidad del cultivo sin afectar el rendimiento.

Palabras clave. *Calidad, conductividad eléctrica, fracción de lavado, invernadero, rendimiento, salinidad.*

ABSTRACT. Objective: to evaluate two drainage rates (DR) (10% and 30%) for their effect on the yield and quality of sweet pepper cv. Nathalie grown under greenhouse conditions in two seasons (dry and rainy). Methodology: the crop was grown on coconut fiber as a substrate, and managed with fertigation, and the following variables were evaluated: number of fruits per m², fruit weight (g), yield (kg/m²), and percentage of total soluble solids (°Brix). Results: With 30% DR, a significantly higher number of fruits per m² and yield was obtained for the first and commercial qualities, compared to 10% DR. In the rainy season, the number of fruits per m² and the yield were significantly higher for the first, second, commercial and total qualities, compared to the dry season. The DR did not affect the weight of the fruit or the percentage of total soluble solids. Fruits produced in the dry season showed a higher percentage of total soluble solids, compared to the rainy season. Conclusions: Under the conditions in which the trial was carried out, in the dry season it is recommended to grow sweet pepper with 30% DR, while in the rainy season it is recommended to use 10% DR in order to save water and nutrients, and thus increase the crop profitability without affecting yield.

Keywords. *Quality, electric conductivity, leaching fraction, greenhouse, yield, salinity.*

1. Introducción

Los frutos del chile dulce, *Capsicum annuum* (Solanaceae), son usados a nivel mundial como hortaliza

y también como condimento; son una buena fuente de fitoquímicos, tales como capsaicinoides, compuestos

fenólicos, carotenoides, y vitaminas C y E, los cuales brindan importantes beneficios a la salud humana [1].

El aumento de regiones con niveles de carencia de lluvia como consecuencia del cambio climático, junto con el incremento de la población y la producción mundial, hacen que el agua se convierta en una de las principales limitantes para el desarrollo de las actividades agrícolas [2] [3] [4] [5].

El uso del agua y su gestión es un factor esencial para elevar la productividad y asegurar una producción sustentable [4]; la creciente demanda en el consumo de agua para uso humano y para la producción agropecuaria, y su insuficiencia generalizada causada por las variantes climáticas, hacen necesaria la búsqueda de estrategias que permitan hacer un uso más eficiente de este recurso limitado para aumentar el rendimiento y mantener la viabilidad económica, o que permitan contrarrestar los efectos negativos de la carencia de este [6] [2] [7]. Una de estas opciones es el riego deficitario, que se utiliza con el fin de reducir el aporte hídrico sin afectar la producción y calidad, y permite mejorar la eficiencia en el uso del agua [8] [6].

El manejo de la nutrición de la planta en cultivo en sustrato se basa en la aplicación de una solución nutritiva completa por medio de fertirrigación, aplicando un porcentaje específico de drenaje del volumen aplicado; el drenaje renueva la solución del sustrato y previene la salinización por medio de la salida del exceso de nutrientes y otros elementos no absorbidos por las plantas entre cada fertirrigación [9] [10] [11]. Para evitar la pérdida de agua y nutrientes, se puede reducir o inclusive eliminar el drenaje; sin embargo, la fertirrigación sin drenaje puede modificar el requerimiento de nutrientes de las plantas debido a la acumulación de estos en la solución del sustrato [11].

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; uno de los beneficios de usar un menor %D 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) [12] [13].

La existencia de un %D 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, y, además, permite el lavado de sales que se acumulan en el sustrato [12]. El %D óptimo para un cultivo depende de factores como el ritmo de transpiración de las plantas, o de 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 aplicado [12]. El nivel de transpiración de las plantas depende de factores ambientales como la temperatura, humedad relativa, radiación, y velocidad del viento, factores que generalmente varían según la época del año, tanto en condiciones a campo abierto como en invernadero [20], lo que afecta el %D óptimo a usar en cada momento del año. Algunos autores recomiendan que el %D sea entre 20 y 40%D [10], mientras que otros investigadores aconsejan aplicar 30-35%D para el control de la acumulación de sales cerca de las raíces de las plantas [14] [15] [9]. Sin embargo, justificaciones de tipo ambiental o económico podrían sugerir el uso de un %D menor, para evitar la pérdida de nutrientes y ahorrar agua, lo cual es especialmente favorable cuando se cultivan plantas tolerantes a la salinidad [10]. Por otra parte, 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 [12]; el programa de riego se debe ajustar constantemente, para evitar el aumento de la salinidad en la zona de las raíces [16].

En Costa Rica no existe actualmente una investigación que determine cuál es el %D óptimo para la producción de chile dulce bajo invernadero, en las condiciones locales, y según la época del año. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos porcentajes de drenaje sobre el rendimiento y la calidad de chile dulce cultivado bajo condiciones de invernadero, en dos épocas (seca y lluviosa).

2. Materiales y Métodos

El experimento se realizó 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 883msnm, con un promedio de precipitación anual de 1940mm 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. Se usó la metodología de manejo integrado de plagas descrito por otros autores [17], así como un sistema de fertirriego automatizado, con una solución nutritiva validada para la producción de chile dulce en ambiente protegido (tabla 1).

Tabla 1. Programa de fertirrigación.

| CN | Etapa fenológica del cultivo | | | | |
|----|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| | T a PF-1 | PF-1 a PF-2 | PF-2 a PF-3 | PF-3 a PF-5 | PF-5+ |
| N | 110 | 125 | 150 | 161 | 172.5 |
| P | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| K | 170 | 210 | 240 | 265 | 290 |
| Ca | 150 | 160 | 165 | 175 | 175 |
| Mg | 40 | 40 | 40 | 50 | 55 |
| S | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Cu | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| Fe | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Zn | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Mn | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| Mo | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 |
| B | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |

Nota: CN: concentración del nutriente (mg/l); T: trasplante; PF: piso floral; PF-5+: del piso floral 5 en adelante.

Se utilizó el genotipo de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cv. Nathalie, que corresponde a un híbrido F-1, y cuyos frutos son de forma cónica y de color rojo a la madurez. Las plántulas se establecieron en sacos de 1 m 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/m², 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 realizó cuando las plántulas tenían al menos cuatro hojas verdaderas. Se eliminaron todos los

brotos debajo de la bifurcación de la planta, a partir de la cual se dejaron solamente dos ramas principales.

Se evaluaron cuatro tratamientos (tabla 2).

Tabla 2. Tratamientos evaluados.

| Número | Factor | |
|--------|----------|---------|
| | Época | Drenaje |
| 1 | Seca | 10% |
| 2 | Seca | 30% |
| 3 | Lluviosa | 10% |
| 4 | Lluviosa | 30% |

En la época seca, el trasplante se realizó el 10 de diciembre del 2014, y la cosecha inició el 26 de febrero de 2015 (78 días después del trasplante-ddt), y finalizó el 13 de mayo de ese año (154ddt). En la época lluviosa, el trasplante se hizo el 5 de junio de 2015, y la cosecha inició el 14 de agosto (70ddt) y finalizó el 9 de noviembre de ese año (157ddt). La cosecha se realizó en forma semanal, cuando los frutos presentaban coloraciones rojizas.

Los frutos se clasificaron en categorías de calidad (tabla 3).

Tabla 3. Categorías de calidad de chile dulce.

| Característica | Categoría de calidad | | | |
|----------------|----------------------|---------------|---------------|------------|
| | P | S | T | R |
| LF (cm) | Mayor a 14 | Entre 10 y 14 | Entre 6 y 9.9 | Cualquiera |
| DEF | Leves | Leves | Leves | Graves |
| Daños | Ausentes | Ausentes | Ausentes | Presentes |

Nota: LF: longitud del fruto; DEF: deformaciones; P: primera; S: segunda; T: tercera; R: rechazo.

Desde la siembra hasta los 14ddt el cultivo se manejó con niveles óptimos de riego; los diferentes regímenes de humedad (%D) 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 una balanza electrónica marca Ocony, modelo TH-I-EK, de 5000.0 ± 0.1 g de capacidad.

3. Rendimiento por área (kg/m^2): 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 ($^{\circ}\text{Brix}$): 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 $32.0 \pm 0.2^{\circ}\text{Brix}$.

Además, se registraron los datos de temperatura (T), 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.

Los niveles de humedad del sustrato se controlaron con un programador de riego marca Igrow, modelo 1400, por medio de radiación acumulada. Se colocaron 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 %D; 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. Las mediciones del drenaje y los cambios en los tiempos de riego se realizaron diariamente, según la recomendación de [12], y de igual forma se tomaron los datos de pH y CE.

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

3. Resultados y discusión

En la tabla 4 se muestran los datos climáticos que se presentaron dentro del invernadero durante la ejecución del ensayo. En la época seca, la T diurna (promedio y máxima) y la RFA diurna (promedio y máxima) fue superior a la hallada en la época lluviosa; mientras que la

HR diurna (promedio, máxima y mínima) fue inferior en la época seca, en comparación con la lluviosa.

Tabla 4. Variables climáticas dentro del invernadero, según época de siembra.

| Variable climática | Época | |
|---|--------|----------|
| | Seca | Lluviosa |
| T diurna promedio ($^{\circ}\text{C}$) | 29.6 | 27.1 |
| T diurna máxima ($^{\circ}\text{C}$) | 37.0 | 33.4 |
| T diurna mínima ($^{\circ}\text{C}$) | 20.3 | 20.7 |
| T nocturna promedio ($^{\circ}\text{C}$) | 21.1 | 21.4 |
| T nocturna máxima ($^{\circ}\text{C}$) | 24.1 | 23.9 |
| T nocturna mínima ($^{\circ}\text{C}$) | 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^2) | 646.5 | 494.0 |
| RFA diurna máxima (W/m^2) | 1605.6 | 1563.1 |
| RFA diurna mínima (W/m^2) | 1.2 | 1.4 |

Nota: T: temperatura; HR: humedad relativa; RFA: radiación fotosintéticamente activa.

Según varios investigadores, los valores climáticos óptimos para chile dulce en invernadero son: 65-70% de HR; 10-12 $^{\circ}\text{C}$ de T mínima biológica; 22-30 $^{\circ}\text{C}$ de T óptima diurna; 16-20 $^{\circ}\text{C}$ de T óptima nocturna; y 28-32 $^{\circ}\text{C}$ de T máxima biológica [18] [19] [20]. Por otra parte, otros autores indican que, en chile dulce, el umbral mínimo de T es de 13 $^{\circ}\text{C}$, el rango óptimo es de 20-24 $^{\circ}\text{C}$, y el umbral máximo es de 30 $^{\circ}\text{C}$ [21]. Si T excede los 35 $^{\circ}\text{C}$, o se ubica por debajo de 12 $^{\circ}\text{C}$, el cuaje de frutos se ve afectado [19]. Otros autores indican que el chile dulce se desarrolla mejor con una HR superior a 80%; una baja HR junto con alta T, puede causar deshidratación de las células, lo que provoca daños permanentes a la planta y una reducción del crecimiento, y esto produce un menor número de frutos por planta [19].

En este ensayo se presentaron dentro del invernadero temperaturas diurnas máximas que superaron la T máxima biológica y el umbral máximo, en ambas épocas; y también se presentaron valores de HR diurna promedio que fueron inferiores a la HR óptima, principalmente en la época seca. Estos factores pudieron producir estrés en las plantas, lo que eventualmente pudo haber afectado la producción.

Por otra parte, 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 6.0. La CE promedio de la solución nutritiva se mantuvo en 2.2dS/m, mientras que con 10%D la CE promedio del drenaje fue de 4.8dS/m, y para 30%D de 3.2dS/m. Por lo tanto, 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 [14] [15] [9].

En la tabla 5 se presentan los datos obtenidos para el número de frutos por metro cuadrado. En relación con el factor drenaje, el número de frutos por área fue mayor para el tratamiento 30%D para las calidades primera y comercial, en comparación con 10%D. Para el factor época, el número de frutos por área fue mayor en la época lluviosa para las calidades primera, segunda, comercial y total, y fue menor para la calidad rechazo, en comparación con la época seca. La interacción drenaje x época fue muy significativa para el número total de frutos por área; fue altamente significativa para el número de frutos comerciales por área; y fue significativa para el número de frutos de segunda calidad por área; en todos estos casos, el menor valor se obtuvo en la época seca con 10%D. Para el resto de las calidades, dicha interacción no fue significativa.

Tabla 5. Número de frutos por m², según categoría de calidad.

| Ef | Tr | Número de frutos por m ² , según calidad | | | | | |
|-----------|------|---|---------|---------|---------|----------|---------|
| | | Total | C | P | S | T | R |
| D | 10% | 90.79 a | 79.94 a | 20.58 a | 39.26 a | 20.09 a | 10.86 a |
| | 30% | 95.68 a | 87.37 b | 26.77 b | 40.54 a | 20.06 a | 8.20 a |
| E | Seca | 86.11 a | 69.81 a | 15.56 a | 31.16 a | 23.10 a | 16.29 b |
| | Ll | 100.37 b | 97.50 b | 31.80 b | 48.64 b | 17.06 a | 2.76 a |
| Int D x E | | ** | *** | ns | * | ns | ns |
| D x E | | | | | | | |
| 10% | Seca | 78.78 a | 60.75 a | 12.57 a | 27.39 a | 20.80 ab | 18.03 b |
| 30% | Seca | 93.43 b | 78.87 b | 18.54 a | 34.93 b | 25.40 b | 14.56 b |
| 10% | Ll | 102.81 c | 99.12 c | 28.60 b | 51.13 c | 19.39 ab | 3.68 a |
| 30% | Ll | 97.93 bc | 95.88 c | 34.99 b | 46.15 c | 14.73 a | 1.84 a |

Nota: Ef: efecto; Tr: tratamiento; D: drenaje; E: época; Ll: lluviosa; Int: interacción; C: comercial; P: primera; S: segunda; T: tercera; R: rechazo. Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según la prueba LSD Fisher.; *** = altamente significativa

($p \leq 0.001$); ** = muy significativa ($p \leq 0.01$); * = significativa ($p \leq 0.05$); ns = no significativa.

En un ensayo con chile dulce, se comparó 23.1%D y 31.0%D; el número de frutos comerciales por área fue mayor con 31.0%D [22]. Por otra parte, otros investigadores evaluaron diferentes %D en chile dulce (entre 15 y 35%), y con 35%D se obtuvo el mayor número de frutos comerciales por planta [23]. En forma similar, en el presente ensayo también se halló que el mayor número de frutos comerciales por área se obtuvo con un %D cercano a dichos valores. El mayor número de frutos comerciales por área obtenido con 30%D en el presente ensayo se puede explicar por el efecto de la CE, pues otros autores hallaron que un aumento en la salinidad provocó una disminución en el número de frutos por área en chile dulce [24] [25].

De la misma forma, otros autores probaron diferentes %D en fresa (entre 10 y 50%), y el tratamiento 30%D mostró los valores más altos para el número de frutos comerciales por planta [9]; esto mismo sucedió en el presente trabajo con el cultivo de chile dulce.

Para el peso promedio del fruto (tabla 6), con respecto al factor drenaje, solamente se halló diferencias significativas en la calidad de rechazo; el tratamiento 30%D produjo frutos con mayor peso que los de 10%D. En relación con el factor época, el peso de los frutos comerciales y de rechazo, así como el peso promedio total del fruto, fueron mayores en la época lluviosa, en comparación con la época seca. La interacción drenaje x época para el peso de los frutos de rechazo fue significativa; el mayor valor se obtuvo con 30%D en la época lluviosa. Para las otras calidades, esta interacción no fue significativa.

Tabla 6. Peso promedio del fruto, según categoría de calidad.

| Ef | Tr | Peso promedio del fruto (g), según calidad | | | | | |
|-----------|------|--|----------|----------|----------|---------|----------|
| | | Total | C | P | S | T | R |
| D | 10% | 104.05 a | 109.26 a | 148.01 a | 110.03 a | 74.50 a | 75.44 a |
| | 30% | 108.21 a | 111.58 a | 146.53 a | 112.94 a | 67.94 a | 88.46 b |
| E | Seca | 97.45 a | 105.31 a | 150.67 a | 111.23 a | 67.61 a | 63.89 a |
| | Ll | 114.81 b | 115.53 b | 143.87 a | 111.75 a | 74.82 a | 100.00 b |
| Int D x E | | ns | ns | ns | ns | ns | * |
| D x E | | | | | | | |
| 10% | Seca | 95.72 a | 105.14 a | ns | ns | 68.54 a | 62.81 a |

| | | | | | | | |
|-----|------|-------------|--------------|----|----|------------|-------------|
| 30% | Seca | 99.17 a | 105.49 a | ns | ns | 66.68 a | 64.98 a |
| 10% | Ll | 112.38 b | 113.38 ab | ns | ns | 80.45 b | 88.07 b |
| 30% | Ll | 117.25 b | 117.68 b | ns | ns | 69.19 a | 111.94 c |

Nota: Ef: efecto; Tr: tratamiento; D: drenaje; E: época; Ll: lluviosa; Int: interacción; C: comercial; P: primera; S: segunda; T: tercera; R: rechazo. Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según la prueba LSD Fisher.; * = significativa ($p \leq 0.05$); ns = no significativa.

Otros autores evaluaron diferentes %D en chile dulce (desde 3.4 hasta 26.3%D), tanto en sustrato de lana de roca como en fibra de coco, y no hubo diferencias entre 23.1-26.3%D y 7.5-8.8%D para la variable peso del fruto [26]; este resultado fue similar al hallado en el presente trabajo para todas las categorías de calidad excepto la de rechazo.

Sin embargo, en forma contraria a lo obtenido en el presente ensayo, otros investigadores ensayaron varios %D en chile dulce (entre 15 y 35%), y con 35%D se obtuvo un mayor peso del fruto [23]; de la misma forma, otros autores hallaron que un aumento en la CE provocó una disminución en el peso promedio del fruto de chile dulce [25]. Igualmente, otros autores probaron diferentes %D en fresa (entre 10 y 50%), y el tratamiento 30%D mostró el mayor valor para el peso del fruto [9].

Para el rendimiento por área (tabla 7), en relación con el factor drenaje, el valor obtenido fue mayor para el tratamiento 30%D en las calidades primera, comercial y total, en comparación con 10%D. Para el factor época, el rendimiento fue mayor en la época lluviosa para las calidades primera, segunda, comercial y total, y fue menor para la calidad rechazo, en comparación con la época seca. La interacción drenaje x época para el rendimiento total y comercial por área fue significativa; en ambos casos, el menor valor se obtuvo con 10%D en la época seca. Además, la interacción drenaje x época fue significativa para el rendimiento de tercera calidad; el menor valor se obtuvo en la época lluviosa con 30%D.

Tabla 7. Rendimiento por área, según categoría de calidad.

| Ef | Tr | Rendimiento (kg/m ²), según calidad | | | | | |
|----|------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Total | C | P | S | T | R |
| D | 10% | 9.51 a | 8.80 a | 3.02 a | 4.30 a | 1.47 a | 0.71 a |
| | 30% | 10.39 b | 9.81 b | 3.87 b | 4.60 a | 1.34 a | 0.57 a |
| E | Seca | 8.36 a | 7.34 a | 2.33 a | 3.48 a | 1.53 a | 1.02 b |

| | | | | | | | |
|-----------|------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|
| | Ll | 11.53 b | 11.27 b | 4.56 b | 5.42 b | 1.28 a | 0.27 a |
| Int D x E | | * | * | ns | ns | * | ns |
| D x E | | | | | | | |
| 10% | Seca | 7.46 a | 6.35 a | 1.89 a | 3.07 a | 1.39 ab | 1.11 b |
| 30% | Seca | 9.27 b | 8.32 b | 2.77 a | 3.88 a | 1.67 b | 0.94 b |
| 10% | Ll | 11.56 c | 11.24 c | 4.16 b | 5.53 b | 1.55 b | 0.32 a |
| 30% | Ll | 11.50 c | 11.29 c | 4.96 b | 5.31 b | 1.02 a | 0.21 a |

Nota: Ef: efecto; Tr: tratamiento; D: drenaje; E: época; Ll: lluviosa; Int: interacción; C: comercial; P: primera; S: segunda; T: tercera; R: rechazo. Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según la prueba LSD Fisher.; * = significativa ($p \leq 0.05$); ns = no significativa.

Varios autores han informado que, en el cultivo de chile dulce, las altas temperaturas durante la floración perjudican la producción y germinación del polen, el crecimiento del tubo polínico y la fertilización, e inducen el fenómeno de heterostilia, lo que provoca la abscisión de la flor y la disminución en el cuajado de frutos; además, cuando se dan temperaturas diurnas mayores a 34°C, y temperaturas nocturnas mayores a 21°C, el aborto de yemas florales constituye un serio problema en este cultivo [27]. También se ha informado que, cuando se presentan altas temperaturas durante el día en un invernadero, hay una reducción progresiva en el peso del fruto del chile dulce [27]. En el presente ensayo se presentaron temperaturas diurnas máximas de hasta 37.0°C en la época seca, y de hasta 33.4°C en la época lluviosa, lo que pudo haber causado un alto nivel de estrés térmico. Por lo tanto, las mayores temperaturas que se presentaron durante la época seca podrían explicar los menores valores obtenidos para el número de frutos totales por área, el peso promedio del fruto, y el rendimiento total y comercial, en comparación con la época lluviosa; en el cultivo de tomate se ha informado que la alta T provocó una disminución en el peso del fruto y el rendimiento [28].

Por otra parte, se ha informado que la HR es un factor ambiental que afecta seriamente la polinización y el cuajado de frutos en chile dulce, especialmente cuando se cultiva en invernadero; la HR afecta en forma importante la liberación de los granos de polen de las anteras, así como la receptividad del estigma, ya sea previniendo o induciendo su desecación; para lograr un aumento en el cuajado de frutos y el rendimiento total, es deseable que la HR dentro del invernadero se mantenga alta (80-90%) durante el día, y baja (60-70%) durante la

noche [27]. En el presente trabajo, la HR diurna promedio fue de 50.5% en la época seca, y de 72.3% en la época lluviosa; además, la HR nocturna promedio fue de 75.3% en época seca y 89.2% en época lluviosa, con extremos máximos de 82.4% en época seca y 94.2% en época lluviosa; todo esto indica claramente que estas condiciones de HR no fueron las óptimas para el cultivo de chile dulce, lo que pudo haber afectado la fisiología de la planta en forma importante, causando la desecación del estigma. Por lo tanto, la mayor T máxima y la menor HR que se presentaron durante la época seca, junto con la mayor salinidad del sustrato obtenida con 10%D, pueden explicar el menor número de frutos totales por área y el menor rendimiento total que se obtuvieron con el tratamiento de 10%D en época seca, en comparación con los demás tratamientos.

En otra investigación con chile dulce Nathalie en invernadero, se obtuvo un rendimiento total entre 3.36 y 4.20kg/m² [29]; en el presente trabajo se obtuvo un valor muy superior para esta variable, probablemente debido a diferencias en el sustrato utilizado, en las condiciones climáticas, y en el manejo del cultivo.

Otros autores evaluaron diferentes %D en chile dulce (entre 15 y 35%), y el rendimiento de rechazo fue mayor con 15%D [23]; sin embargo, en el presente trabajo no se presentaron diferencias en el rendimiento de rechazo entre 10%D y 30%D.

En otro ensayo se evaluaron varios %D en chile dulce (entre 3.4 y 26.3%), tanto en sustrato de lana de roca como en fibra de coco; no hubo diferencias entre 23.1-26.3%D y 7.5-8.8%D, para las variables rendimiento comercial y total [26]; en el presente trabajo se obtuvo el resultado contrario, pues sí se hallaron diferencias para ambas variables entre 10%D y 30%D.

Otros investigadores estudiaron diversos %D en tomate (entre 10 y 40%), y encontraron que el rendimiento total disminuyó conforme se redujo el %D [30], de manera similar a lo hallado en la presente investigación para el chile dulce. Esto se puede explicar por el efecto de la salinidad, pues otros autores hallaron que un aumento en la CE provocó una disminución en el rendimiento en chile dulce [24] [25].

En forma contraria a lo hallado en el presente trabajo, otros autores encontraron para el cultivo del tomate, que el rendimiento obtenido con 15%D fue muy similar al registrado con 30%D, a pesar de las diferencias en el contenido de sales del sustrato [10].

Otros investigadores probaron diferentes %D en fresa (entre 10 y 50%), y el tratamiento 30%D mostró el mayor

rendimiento total [9], al igual que el resultado hallado en la presente investigación con chile dulce.

Se ha indicado que, para prevenir problemas de salinidad en chile dulce, el %D debe ser al menos de 29%D para mantener un rendimiento aceptable [16]; esto se confirmó en la presente investigación, pero únicamente en la época seca. Por otra parte, en la época lluviosa, el tratamiento 10%D no causó disminución en el rendimiento con respecto a 30%D, por lo que en este caso se recomienda su utilización; otros autores indican que 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 [14], por lo que el uso de 10%D en la época lluviosa aumenta la sostenibilidad ambiental y económica del sistema productivo.

Con relación al porcentaje de sólidos solubles totales del fruto (tabla 8), para el factor drenaje no se presentaron diferencias entre los tratamientos; mientras que para el factor época, el valor obtenido para esta variable fue superior en la época seca. La interacción drenaje x época fue altamente significativa; el mayor valor se obtuvo con 10%D en la época seca.

Tabla 8. Porcentaje de sólidos solubles totales del fruto.

| Efecto | Tratamiento | Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix) |
|-------------------|-------------|--|
| D | 10% | 8.80 a |
| | 30% | 8.61 a |
| E | Seca | 8.84 b |
| | Lluviosa | 8.57 a |
| Interacción D x E | | *** |
| D x E | | |
| 10% | Seca | 9.12 b |
| 30% | Seca | 8.55 a |
| 10% | Lluviosa | 8.48 a |
| 30% | Lluviosa | 8.67 a |

Nota: D: drenaje; E: época; C: comercial; P: primera; S: segunda; T: tercera; R: rechazo. Datos que comparten una misma letra no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según la prueba LSD Fisher.; *** = altamente significativa ($p \leq 0.001$).

El rango óptimo de porcentaje de sólidos solubles totales para el cultivo de chile dulce es de 6.0 – 9.0°Brix [31]; los valores hallados en el presente trabajo se encontraron mayoritariamente en dicho rango, aunque fue levemente superior en el tratamiento de 10%D en época seca. Dichos autores también indican que factores como una disminución en los niveles de humedad y el

aumento de la CE favorecen el aumento de los valores de esta variable [31], pero en la presente investigación no hubo diferencia entre 10%D y 30%D, a pesar de la mayor CE registrada con 10%D. El mayor valor obtenido para esta variable con 10%D en época seca se puede explicar por la mayor salinidad y la mayor T, que ayudaron a reducir el contenido de agua en el fruto, y por lo tanto, a concentrar los azúcares y demás fotosintatos. Otros autores hallaron que el aumento en la salinidad provocó un incremento en el porcentaje de sólidos solubles totales en chile dulce [24]; sin embargo, otros investigadores registraron el efecto contrario [25]. Por otra parte, en el cultivo de tomate se ha informado que la alta T provocó un aumento en el porcentaje de sólidos solubles totales [28].

En otro ensayo se evaluaron diferentes %D en chile dulce (entre 3.4 y 26.3%), tanto en sustrato de lana de roca como en fibra de coco; no hubo diferencias entre 23.1-26.3%D y 7.5-8.8%D, para la variable porcentaje de sólidos solubles totales [26], en forma similar a lo hallado en el presente trabajo entre 10%D y 30%D.

En forma contraria a lo encontrado en la presente investigación con chile dulce, otros autores hallaron que, al reducir el %D en el cultivo de tomate, aumentó el porcentaje de sólidos solubles totales en el fruto [32].

4. Conclusiones

Bajo las condiciones en que se desarrolló el ensayo, en la época seca se recomienda cultivar el chile dulce con 30%D, mientras que en la época lluviosa se recomienda usar 10%D, con el fin de ahorrar agua y nutrientes, y así aumentar la rentabilidad del cultivo sin afectar el rendimiento.

AGRADECIMIENTOS

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

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

J.E.M.P. colaboró en el trabajo de campo, recolección y análisis de datos, y redacción del documento (40 %).

W.S.S. colaboró en el trabajo de campo, recolección y análisis de datos, y redacción del documento (25 %).

J.C.L.A. colaboró en el trabajo de campo, recolección y análisis de datos, y redacción del documento (25 %).

M.L.C. colaboró en el análisis de datos (10 %).

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] S. Reale, A. Biancolillo, C. Gasparini, L. Di Martino, V. Di Cecco, A. Manzi, M. Di Santo y A. A. D'Archivio, «Geographical discrimination of bell pepper (*Capsicum annuum*) spices by (HS)-SPME/GC-MS aroma profiling and chemometrics,» *Molecules*, vol. 26, n° 6177, pp. 1-13, 2021.
- [2] H. Vila, «Regulación de la hidratación y la turgencia foliares por mecanismos evitadores del estrés, y resistencia al déficit hídrico en vid modelo vs experimentos,» Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina, 2011.
- [3] E. Cantero, «Influencia hormonal en el uso eficiente del agua y en respuesta al estrés abiótico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.),» Universidad de Murcia, Murcia, España, 2014.
- [4] J. Hernández, «Respuestas fisiológicas y eficiencia de uso de agua en *Capsicum annuum* L., en un sistema hidropónico con déficit de riego y drenaje cero,» Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México, 2014.
- [5] J. Roldán, M. Díaz, R. Pérez y M. F. Moreno, «Mejora de la gestión del agua de riego mediante el uso de indicadores de riego,» *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, vol. 42, n° 1, pp. 107-124, 2010.
- [6] R. Rodríguez, L. Rázuri, A. Swaroesky y J. Rosales, «Efecto del riego deficitario y diferentes frecuencias en la producción del cultivo de pimentón,» *Interciencia*, vol. 39, n° 8, pp. 591-596, 2014.
- [7] Y. Meriño, T. Boicet, G. González, A. Boudet, Y. Gómez y O. Zambrano, «Respuesta agronómica del cultivo del pimiento (*Capsicum annuum* L.) al déficit hídrico y la aplicación de Biobrás-plus,» *Centro Agrícola*, vol. 41, n° 3, pp. 71-77, 2014.
- [8] L. Rázuri, G. Romero, E. Romero, J. Hernández y J. Rosales, «Efecto del riego deficitario controlado en la producción del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.) bajo riego controlado,» *Agricultura Andina*, vol. 14, pp. 31-48, 2008.
- [9] M. L. Gontijo, A. V. Diotto, F. S. d. Souza y F. L. Gontijo, «Water productivity and agronomic performance of strawberries with different leaching fractions application,» *Scientia Plena*, vol. 16, n° 5, pp. 1-7, 2020.
- [10] F. Giuffrida, S. Argento, V. Lipari y C. Leonardi, «Methods for controlling salt accumulation in substrate cultivation,» *Acta Horticulturae*, vol. 614, pp. 799-803, 2003.

- [11] A. F. Wamser, A. B. Cecilio Filho, R. H. D. Nowaki, J. W. Mendoza-Cortez y M. Urrestarazu, «Influence of drainage and nutrient-solution nitrogen and potassium concentrations on the agronomic behavior of bell-pepper plants cultivated in a substrate,» *Plos One*, vol. 12, n° 7, pp. 1-14, 2017.
- [12] M. Urrestarazu, *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*, Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa, 2015, p. 267.
- [13] C. E. Krofft, J. M. Pickens, A. F. Newby, J. L. Sibley y G. B. Fain, «The effect of leaching fraction-based irrigation on fertilizer longevity and leachate nutrient content in a greenhouse environment,» *Horticulturae*, vol. 6, n° 43, pp. 1-8, 2020.
- [14] A. Pardossi, F. Malorgio, L. Incrocci, G. Carmassi, R. Maggini, D. Massa y F. Tognoni, «Simplified models for the water relations of soilless cultures: what they do or suggest for sustainable water use in intensive horticulture,» *Acta Horticulturae*, vol. 718, pp. 1-10, 2006.
- [15] G. Nikolaou, D. Neocleous, N. Katsoulas y C. Kittas, «Irrigation of greenhouse crops,» *Horticulturae*, vol. 5, n° 7, pp. 1-20, 2019.
- [16] M. Yildirim, «Water management in coastal areas with low quality irrigation water for pepper growth,» *Journal of Coastal Research*, vol. 26, n° 5, pp. 869-878, 2010.
- [17] E. Elizondo-Cabalceta y J. E. Monge-Pérez, «Pimiento (*Capsicum annuum*) cultivado bajo invernadero: correlaciones entre variables,» *Revista Posgrado y Sociedad*, vol. 17, n° 2, pp. 33-60, 2019.
- [18] G. Nuez, J. Costa y O. Gil, *El cultivo de pimientos, chiles y ajíes*, Barcelona, España: Ediciones Mundi-Prensa, 2003, p. 611.
- [19] K. Pramanik, P. P. Mohapatra, J. Pradhan, L. K. Acharya y C. Jena, «Factors influencing performance of *Capsicum* under protected cultivation: a review,» *International Journal of Environment and Climate Change*, vol. 10, n° 12, pp. 572-588, 2020.
- [20] A. J. López-López y C. Benavides-León, «Respuesta térmica del invernadero de la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica,» *Agronomía Mesoamericana*, vol. 25, n° 1, pp. 121-132, 2014.
- [21] N. F. Chaves-Barrantes y M. V. Gutiérrez-Soto, «Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos,» *Agronomía Mesoamericana*, vol. 28, n° 1, pp. 237-253, 2017.
- [22] J. H. Shin y J. E. Son, «Development of a real-time irrigation control system considering transpiration, substrate electrical conductivity, and drainage rate of nutrient solutions in soilless culture of paprika (*Capsicum annuum* L.),» *European Journal of Horticultural Science*, vol. 80, n° 6, pp. 271-279, 2015.
- [23] C. G. An, Y. H. Hwang, H. S. Yoon, H. Hwang, G. M. Shon, G. W. Song y B. R. Jeong, «Effect of drain ratio during fruiting period on growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* 'Jubilee') in rockwool culture,» *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, vol. 23, n° 3, pp. 256-260, 2005.
- [24] A. Kurunc, A. Unlukara y B. Cemek, «Salinity and drought affect yield response of bell pepper similarly,» *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science*, vol. 61, pp. 514-522, 2011.
- [25] J. M. Navarro, C. Garrido, M. Carvajal y V. Martínez, «Yield and fruit quality of pepper plants under sulphate and chloride salinity,» *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, vol. 77, n° 1, pp. 52-57, 2002.
- [26] C. G. An, Y. H. Hwang, J. U. An, H. S. Yoon, Y. H. Chang, G. M. Shon, S. J. Hwang, K. S. Kim y H. C. Rhee, «Effect of irrigation methods for reducing drainage on growth and yield of paprika (*Capsicum annuum* 'Coletti') in rockwool and cocopeat culture,» *Journal of Bio-Environment Control*, vol. 21, n° 3, pp. 228-235, 2012.
- [27] I. C. Karapanos, S. Mahmood y C. Thanopoulos, «Fruit set in solanaceous vegetable crops as affected by floral and environmental factors,» *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, vol. 2, n° Special Issue 1, pp. 88-105, 2008.
- [28] A. Vijayakumar, S. Shaji, R. Beena, S. Sarada, T. S. Rani, R. Stephen, R. V. Manju y M. M. Viji, «High temperature induced changes in quality and yield parameters of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and similarity coefficients among genotypes using SSR markers,» *Heliyon*, vol. 7, n° e05988, pp. 1-15, 2021.
- [29] A. E. Chavarría, «Eficiencia de tres fuentes fertilizantes sobre la producción de chile dulce (*Capsicum annuum*) c.v. Natali y sus curvas de absorción, en la producción de chile dulce en invernadero,» *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 3, n° 1, pp. 29-39, 2013.
- [30] I. H. Tüzel, Y. Tüzel, A. Gül, G. B. Öztekin, F. Oztan, K. M. Meric y F. Ücer, «Effects of different leaching fractions on tomato production,» *Acta Horticulturae*, vol. 729, pp. 373-378, 2007.
- [31] M. D. Kleinhenz y N. R. Bumgarner, «Using °Brix as an indicator of vegetable quality: linking measured values to crop management,» 18 Enero 2013. [En línea]. Available: <http://ohioline.osu.edu/factsheet/HYG-1651>.
- [32] R. d. I. Rosa-Rodríguez, A. Lara-Herrera, L. E. Padilla-Bernal, J. J. Avelar-Mejía y M. P. España-Luna, «Proportion of drainage of the nutritive solution in the yield and quality of tomato in hydroponics,» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. Especial, n° 20, pp. 4343-4353, 2018.