

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL AMBIENTE GENERADO EN CUATRO SISTEMAS PRODUCTIVOS SOBRE EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO Y ADAPTABILIDAD DE CUATRO CULTIVARES DE CHILE DULCE TIPO BELL

Roberto Ramírez Matarrita¹

RESUMEN

Evaluación del efecto del ambiente generado en cuatro sistemas productivos sobre el rendimiento productivo y adaptabilidad de cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell. Se evaluaron cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell (*Capsicum annum*), en dos casas de mallas de 3 y 5 m de altura, un invernadero y en campo abierto, en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, ubicada en Cañas, Guanacaste, durante los meses de diciembre del 2019 a mayo del 2020. El objetivo de la investigación fue analizar la interacción entre el ambiente y el rendimiento productivo de los cultivares de chile. Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño de bloques completos al azar, con un arreglo de parcelas divididas. Los sistemas productivos en ambiente protegido obtuvieron en la unidad de muestreo de 6 plantas, el mayor número de frutos comerciales con un rango entre 65,92 a 78,58 unidades, el mejor peso de frutos con valores entre 122,69 a 135,41 g, el mayor rendimiento con una producción entre 6102,29 a 7639,17 g y la mejor calidad de frutos que cumplen con las dimensiones de exportación. En estos mismos sistemas se alcanzó el más notable aumento de biomasa y el mejor desarrollo del índice de área foliar (IAF), con un nivel máximo de 3,41 a los 75 DDT. El clima espontáneo fue muy similar en cuanto a temperatura y humedad relativa, pero varió en los niveles de radiación entre los tratamientos de ambiente protegido y campo abierto.

Palabras clave: Sistema productivo, Cultivares, rendimiento, Agro climatología, Rentabilidad.

Keywords: Production system, Cultivars, Yield, Agroclimatology, Profitability.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del chile es una de las hortalizas más importantes del mundo debido a su amplia variabilidad de formas, colores, aromas, sabores y tamaños (De la Cruz; *et al.*, 2017). En el año 2018, se sembró a nivel mundial 1,99 millones de hectáreas para una producción de 36,77 millones de toneladas de fruta fresca, siendo los países más productores China con un rendimiento de 12,35 millones de toneladas, obtenidas en un área de siembra de 771 634 ha y México con una producción de 1,96 millones de toneladas alcanzada en 156 799 ha (FAO, 2019).

¹ MSc. R. Ramírez, Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. Costa Rica. Correo: rramirez@inta.go.cr

Según Morales y Rodríguez (2010), citado por Ramírez *et al.* (2018), el rendimiento promedio nacional del chile dulce es de 15 t/ha, lo que significa una media de 0,6 kg/planta (p.14). En la provincia de Guanacaste esta actividad hortícola es una de las de mayor extensión, ya que esta especie se adapta a diferentes entornos, lo que ha motivado a los productores a su siembra (INEC, 2015). Cabe destacar que este cultivo no se escapa de la dinámica de la oferta y la demanda, por lo que no mantiene un precio estable durante el año, lo que hace que en ciertos meses los precios bajen, hasta un 62 % con respecto al mayor valor alcanzado en las plazas ocurridas en el año 2018 en PIMA-CENADA (PIMA, 2018).

Se avecinan nuevos retos en la Región Chorotega, como lo son: construir sistemas productivos resilientes ante las variaciones climáticas, mejorar la competitividad del pequeño y mediano productor; así como aprovechar las oportunidades de comercialización tanto a nivel nacional como

internacional con la apertura del Mercado Regional Chorotega, que tiene como premisa dinamizar la economía de esta región (PIMA, 2020).

La competitividad de los sistemas productivos está ligado a la adaptabilidad y productividad de actividades alternativas que se manejen de manera eficiente y sostenible, con el fin de mejorar la economía del medio rural (Bastidas, 2018). Por lo tanto, se hace imprescindible mejorar las técnicas de producción en ambiente protegido, enfocado en un uso óptimo del recurso hídrico, un aumento del rendimiento productivo y el cumplimiento de los requisitos fitosanitarios de los mayores socios comerciales de Costa Rica, con el fin de ofrecer posibilidades de exportación de chile dulce tipo Bell desde Guanacaste.

El objetivo general fue evaluar el efecto de las condiciones ambientales generadas en 4 sistemas productivos sobre el rendimiento, calidad y adaptabilidad de 4 cultivares de chile dulce tipo Bell.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicada en Cañas, Guanacaste, (E00411952 y N00258587). Durante el periodo de diciembre del 2019 a mayo del 2020. El sitio, según la clasificación de Holdridge posee una temperatura promedio de 28 °C, una precipitación promedio de 1600 mm y se encuentra a 14 m s.n.m., dentro de la zona de vida Bosque Tropical Seco (Quesada, 2007). Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño de bloques completos al azar, con un arreglo de parcelas divididas (DPD) con tres repeticiones. El factor A estuvo determinado por el sistema productivo y el factor B (subparcelas) se le asignó los cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell.

Parcela grande (Factor A): sistemas productivos

Casa de malla de 5 m de altura (SP1)

El primer sistema productivo fue una casa de malla de 5 m de altura por 7 m de ancho por 14 m de largo, cerrada tanto en el techo como en las paredes con una malla de cedazo de 32 x 32 (32 huecos verticales / 32 huecos horizontales por pulgada lineal). En el interior del módulo se colocó una pantalla de sombreado a 2,90 m de altura para reducir la radiación.

Casa de malla de 3 m de altura (SP2)

El segundo sistema productivo fue una casa de malla de 3 m de altura por 7 m de ancho por 14 m de largo, cerrada tanto en el techo como en las paredes con una malla de cedazo de 32 x 32 (32 huecos verticales / 32 huecos horizontales por pulgada lineal). En el interior del módulo se colocó una pantalla de sombreado a 2,90 m de altura para reducir la radiación.

Invernadero (SP3)

El tercer sistema productivo fue un invernadero de 7 m de ancho por 14 m de largo por 5 m de altura, la cual dispondrá de una ventana cenital de 0,8 m. El techo estará provisto con un sistema de bandas de plástico de polietileno de 150 micras y las paredes con una malla de cedazo de 32 x 32 (32 huecos verticales / 32 huecos horizontales por pulgada lineal). En el interior del módulo se colocó una pantalla de sombreado a 2,90 m de altura para reducir la radiación.

Parcela sin protección (SP4)

El cuarto sistema productivo fue una parcela de 7 m de ancho por 17 m de largo, la cual no contó con ningún tipo de protección contra la lluvia o la radiación.

Parcela pequeña (Factor B): cultivares de chile dulce

Todos los cultivares de chile dulce fueron de tipo Bell, con maduración a rojo y de forma cuadrada. Dentro de cada sistema de producción (factor A) se colocaron 4 hileras con los cultivares de manera aleatoria que representaron la parcela pequeña.

La combinación de los factores dio como resultado un total de 16 tratamientos (ver Cuadro 1). Las unidades experimentales en el interior de cada sistema productivo, fueron de 10 m de longitud por 0,60 m de ancho para un área efectiva de 6 m², donde se sembraron 25 plantas de cada cultivar en forma aleatoria, a una distancia entre plantas de 40 cm y una separación entre lomillos de 1,20 m para una densidad de siembra de 2,08 plantas/m², resultando 20 833 plantas/ha.

Cuadro 1. Nomenclatura de los tratamientos combinando Factor A y B.

Sistema productivo	Cultivar	Código
Casa de malla de 5 m de altura	Canzion	SP1-01
	Fabris	SP1-02
	Rojo Americano	SP1-03
	Zidencá	SP1-04
Casa de malla de 3 m de altura	Canzion	SP2-01
	Fabris	SP2-02
	Rojo Americano	SP2-03
	Zidencá	SP2-04
Invernadero de 5 m de altura	Canzion	SP3-01
	Fabris	SP3-02
	Rojo Americano	SP3-03
	Zidencá	SP3-04
Parcela sin protección	Canzion	SP4-01
	Fabris	SP4-02
	Rojo Americano	SP4-03
	Zidencá	SP4-04

El riego y la fertilización fueron igual para todos los tratamientos y se realizó mediante un sistema presurizado, el cual empleó cintas de goteo con una descarga de 2,1 l/h y una separación entre emisores de 0,20 m, agregándose diariamente una lámina de 6 mm de agua, que es la evapotranspiración de referencia (ET_o) para esta época del año. Según el resultado del análisis de suelo, el mismo presenta niveles óptimos para todos los elementos, por esta razón la nutrición se calculó en función a un rendimiento esperado de 60 t/ha. El manejo fitosanitario se realizó según la presión de enfermedades y plagas en el momento donde se desarrolló la prueba.

Mediante un muestreo probabilístico al azar, se estimó la muestra en 6 plantas por parcela útil. Los datos obtenidos se le estimaron los componentes de varianza por medio del modelo lineal general y mixto, utilizando un procedimiento de corrección de p-valores mediante la prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC), a un nivel de significancia del 5 %, donde el efecto fijo fueron los sistemas productivos y el efecto aleatorio los cultivares. Las variaciones de datos de temperatura, humedad relativa y radiación se interpretaron en forma gráfica, a través de los valores máximos y mínimos durante cada mes de la prueba; así como las mediciones en promedio durante las 24 horas del día.

VARIABLES DE RESPUESTA:

- a) Rendimiento. Se cuantificó el rendimiento por parcela, según número de frutos/planta, frutos/m², t/ha, peso promedio de fruto.
- b) Calidad. Se utilizó la clasificación utilizada por Del Monte según Carrillo (2016), distribuyendo la producción en primera calidad (largo y ancho mínimo de 7,5 cm x 7,5 cm, sin deformidades), segunda calidad (largo y ancho menor de 7,5 cm x 7,5 cm con puntas deformes, manchas y heridas < 1 cm² y estrías y grietas < 3 cm) y rechazo (largo y ancho menor de 7,5 cm x 7,5 cm, muy deformes).
- c) Grados Brix. Una vez clasificado el fruto según los parámetros de calidad, se midió los grados Brix con un refractómetro, en todos los frutos la cosecha en la parcela útil.
- d) Área foliar: Se estimó el área foliar por planta en tres estados del cultivo (30, 75 y 120 ddt). Utilizando el modelo matemático no destructivo propuesto por De Swart *et al.*, (2004).
- e) Índice de Área foliar. Se calculó mediante la fórmula de Escalante y Kohashi (1993), transformando el área total por planta en centímetros cuadrados (cm²) a metros cuadrados (m²) y se dividirá entre el área efectiva de suelo en (m²).
- f) Altura de la planta. Se midió la altura de la planta desde la base del tallo hasta el ápice apical de la planta con ayuda de una cinta métrica; se realizará una sola medición al final del ciclo productivo.
- g) Temperatura. Se midió la temperatura en intervalos de cada 10 minutos tanto en el interior como en el exterior de los sistemas productivos durante todo el ciclo del cultivo con un medidor Hobo U12-012.
- h) Humedad relativa. Se midió la humedad relativa en intervalos de cada 10 minutos tanto en el interior como en el exterior de los sistemas productivos durante todo el ciclo del cultivo con un medidor Hobo U12-012.
- i) Radiación. Se midió la radiación (lux) en intervalos de cada 10 minutos tanto en el interior como en el exterior de los sistemas productivos durante todo el ciclo del cultivo con un medidor Hobo U12-012 y posteriormente se transformó a energía fotosintética activa (PAR) mediante el modelo sugerido por (McCree, 1972), (1W·m⁻² PAR = 247 lux).
- j) Contenido de humedad volumétrica por tratamiento una vez por semana. (Medido con una sonda TDR).
- k) Evapotranspiración de referencia (ET_o). Se determinó mediante un tanque evaporímetro clase A, en cada tratamiento, tomado lecturas diarias (mm/día).
- l) Evapotranspiración del cultivo (ET_c). Se determinó diariamente multiplicando el ET_o por el KC del momento (mm/día).
- m) Productividad agronómica del agua utilizada por riego (WP) (kg m⁻³). La WP se estimó para los rendimientos de fruto comercial (EUA_c) y total (EUA_t), como el cociente entre rendimiento (kg) y la ET_c (m³).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de frutos por unidad de muestreo

No hubo interacción entre el factor sistema productivo y el factor cultivar ($P > 0,05$), sobre las variables de respuesta número de frutos comerciales y de rechazo, pero si hubo un efecto independiente ($P \leq 0,05$) de ambos factores por separado sobre esta variable.

Los sistemas productivos en ambiente protegido: casa de malla de 5 m (SP1), casa de malla de 3 m (SP2) e invernadero (SP3), obtuvieron el mayor número de frutos con características óptimas para ser comercializables en una muestra de 6 plantas (2,90 m²), con un rango entre 65,92 a 78,58 unidades, los cuales mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con los frutos obtenidos en campo abierto (SP4) que fue de 27,33 unidades (ver Cuadro 2).

El tratamiento SP4 fue el que alcanzó el mayor número de frutos de rechazo con 67,50 unidades, el cual presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con los tratamientos SP1, SP2 y SP3 que presentaron valores entre 26 y 31,75 unidades (Cuadro 2). Estos frutos no cumplieron con las normas de clasificación de la calidad de fruta de chile Bell, por presentar deformidades y quemaduras en la cutícula, por lo cual no tienen un valor económico en el mercado.

Cuadro 2. Número de frutos promedio comerciales y de rechazo por parcela de muestreo (6 plantas) según el sistema productivo: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Sistema productivo	N° de Frutas comerciales	N° de Frutas de rechazo
SP3	77,58 a	31,75 b
SP1	66,25 a	24,17 b
SP2	65,92 a	26,00 b
SP4	27,33 b	67,50 a

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

El cultivar Canzion fue el que obtuvo el mayor número de frutos comerciales y de rechazo con valores de 79,92 y 53,67 unidades respectivamente, quien mostró en ambos casos diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con Zidenca, Rojo Americano y Fabris (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de frutos promedio comerciales y de rechazo por parcela de muestreo (6 plantas) según el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Cultivar	N° de Frutas comerciales	N° de Frutas de rechazo
Canzion	79,92 a	53,67 a
Zidenca	55,25 b	31,25 b
R. Americano	52,83 b	34,33 b
Fabris	49,08 b	30,17 b

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

Las plantas de chile dulce sembradas a campo abierto (SP4), produjeron en promedio un 71 % de frutos que no cumplieron con las exigencias del mercado (rechazo), debido a la presencia de deformaciones o quemaduras en los frutos, provocada principalmente por alta radiación característica de la época seca en Guanacaste, durante los meses de diciembre a abril, ya que estas parcelas no contaron con ningún tipo de protección contra la irradiación solar.

Peso de fruta comercial

La combinación de los factores sistema productivo (A) y cultivar (B), afectó el peso promedio de las frutas de chile dulce, lo que demuestra que existe una interacción entre estas combinaciones ($P \leq 0,05$). En los sistemas de producción de casa de malla de 5 m (SP1), casa de malla de 3 m (SP2) e invernadero (SP3), el cultivar Rojo Americano fue el que obtuvo el mayor peso promedio de frutas que cumplían con los parámetros para comercializarse en el mercado según las normas de clasificación de los Estados Unidos de Norteamérica, con un rango de 122,69 a 135,41 g, el cual mostró diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

El cultivar Fabris en los sistemas de producción anteriormente mencionados, alcanzó el segundo mejor rendimiento de peso por fruta para la misma categoría con un rango de 95,02 a 107,13 g, quien mostró diferencias significativas con el resto de las combinaciones (ver Cuadro 4).

Cuadro 4. Peso promedio (g) de frutos comerciales de cuatro cultivares de chile dulce según, el sistema productivo: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4) y el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Interacción SP-Cultivar	Peso (g)
SP2-R. Americano	135,41 a
SP3-R. Americano	132,25 a
SP1-R. Americano	122,69 a
SP3-Fabris	107,13 b
SP1-Fabris	95,60 c
SP2-Fabris	95,02 c
SP3-Zidenca	87,94 d
SP4-R. Americano	86,03 d
SP3-Canzion	83,96 d
SP4-Fabris	80,08 d
SP2-Zidenca	79,41 d
SP1-Zidenca	78,14 d
SP1-Canzion	76,98 d
SP4-Zidenca	74,95 d
SP2-Canzion	72,86 d
SP4-Canzion	69,10 d

Todos los cultivares sembrados en el sistema productivo a campo abierto (SP4), más los cultivares Canzion y Zidenca, indistintamente el sistema productivo donde se desarrollaron, llegó a obtener los menores pesos de fruta promedio con un rango de 69,10 a 87,94 g, lo que mostró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con el resto de los tratamientos. El cultivar Rojo Americano, fue el que obtuvo el mayor peso de fruta comercial, cuando se sembró en un sistema de ambiente protegido, con una diferencia en promedio de 44,10 g por fruta, con respecto a lo obtenido en campo abierto. Mientras que para el cultivar Fabris, en los sistemas anteriormente descritos, la diferencia promedio de peso fue de 19,17 g.

Peso de frutas de rechazo

Los factores de sistema productivo y cultivar tuvieron un efecto independiente sobre el peso promedio de las frutas de chile dulce de rechazo ($P > 0,05$), donde se presentaron las de mayor peso en los sistemas productivos de ambiente protegido (SP1, SP2 y SP3) con un rango de 63,66 a 70,37 g, las cuales mostraron diferencias significativas con el tratamiento de campo abierto (SP4), cuyo peso promedio fue de 42,51 g (ver Cuadro 5).

Cuadro 5. Peso (g) promedio de frutos comerciales y de rechazo según sistema productivo: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Sistema productivo	N° de Frutas comerciales	N° de Frutas de rechazo
SP3	77,58 a	31,75 b
SP1	66,25 a	24,17 b
SP2	65,92 a	26,00 b
SP4	27,33 b	67,50 a

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

Rojo Americano y Fabris fueron los cultivares que desarrollaron los mayores pesos promedios de fruta de rechazo con 74,62 y 64,98 g respectivamente, los cuales presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con Zidenca y Canzion. Estos pesos obtenidos por Rojo Americano y Fabris nos indica que las frutas lograron alcanzar un desarrollo importante, pero no cumplieron con las normativas de calidad, debido a deformaciones o presencia de quemaduras en la epidermis (ver Cuadro 6).

Cuadro 6. Peso (g) promedio de frutos de rechazo según el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Cultivar	N° de Frutas comerciales	N° de Frutas de rechazo
Canzion	79,92 a	53,67 a
Zidenca	55,25 b	31,25 b
R. Americano	52,83 b	34,33 b
Fabris	49,08 b	30,17 b

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

Rendimiento

Se dio un efecto independiente ($P > 0,05$) de los factores del sistema productivo (A) y cultivar (B), sobre el rendimiento productivo de frutos de chile dulce obtenidos en la parcela útil.

Todos los cultivares iniciaron la cosecha a finales del mes de febrero, a los 72 días después del trasplante y se extendieron por un periodo de 68 días, hasta inicios del mes de mayo. La producción de chile dulce comercial obtenida en las casas de malla de 3 y 5 m; así como en el invernadero alcanzaron en la parcela útil (6 plantas), en un área de 2,88 m², con un rango de 6102,29 a 7639,17 g, los cuales presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con campo abierto, el cual obtuvo un rendimiento de 2077,71 g (ver Cuadro 7).

El mayor rendimiento productivo de chiles de rechazo se produjo en campo abierto con un valor promedio de 2868,42 g, el cual es estadísticamente diferente ($P \leq 0,05$) a los otros sistemas productivos. Este aspecto nos sugiere que existió una mejor condición agroclimática para el desarrollo fisiológico y de producción de chiles dulces, cuando fueron sembrados en sistemas de ambiente protegido, como las casas de malla o invernadero. En el invernadero se logró el mayor rendimiento total de chile dulce (comercial + rechazo) con 9707,88 g, debido a lo cual presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con el resto de los sistemas productivos.

Cuadro 7. Rendimiento productivo (g) en la unidad de muestreo (2,88 m²) de chile dulce tipo Bell clasificado por calidad de fruta (comercial y rechazo) y total, según el sistema productivo: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Sistema productivo	Chile Comercial (g)	Chile de Rechazo (g)	Rendimiento Total (g)
SP3	7639,17 a	2068,71 b	9707,88 a
SP1	6133,33 a	1479,17 b	7612,50 b
SP2	6102,29 a	1452,04 b	7554,33 b
SP4	2077,71 b	2868,42 a	4946,13 c

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

Los cultivares con el mayor rendimiento productivo de chiles comerciales en la parcela útil fueron Rojo Americano y Canzion con 6643,96 y 6278,21 g respectivamente, quienes presentaron diferencias significativas con Zidencá y Fabris. Estos mismos cultivares obtuvieron el mayor rendimiento de chiles de rechazo con valores de 2183,13 y 2477,13 g; así como de rendimiento total, con valores de 8827,08 y 8755,33 g, lo que demostró que en ambos casos hubo diferencias significativas con el resto de los cultivares (ver Cuadro 8).

Cuadro 8. Rendimiento productivo (g) en la unidad de muestreo (2,88 m²) de chile dulce tipo Bell clasificado por calidad de fruta (comercial y rechazo) y total, según el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Cultivar	Chile Comercial (g)	Chile de Rechazo (g)	Rendimiento Total (g)
R. Americano	6643,96 a	2183,13 a	8827,08 a
Canzion	6278,21 a	2477,13 a	8755,33 a
Fabris	4617,13 b	1615,25 b	6232,38 b
Zidencá	4413,21 b	1592,83 b	6006,04 b

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

Según las normas de calidad para exportar a los Estados Unidos de Norteamérica (Carrillo, 2016) el chile dulce tipo Bell se puede clasificar en grande y mediano, dependiendo de las dimensiones de ancho y largo de la fruta. Bajo estos parámetros en el invernadero se obtuvo el mayor rendimiento por hectárea de fruto grandes y medianos con valores de 1977 y 24 563 kg respectivamente (ver Figura 1).

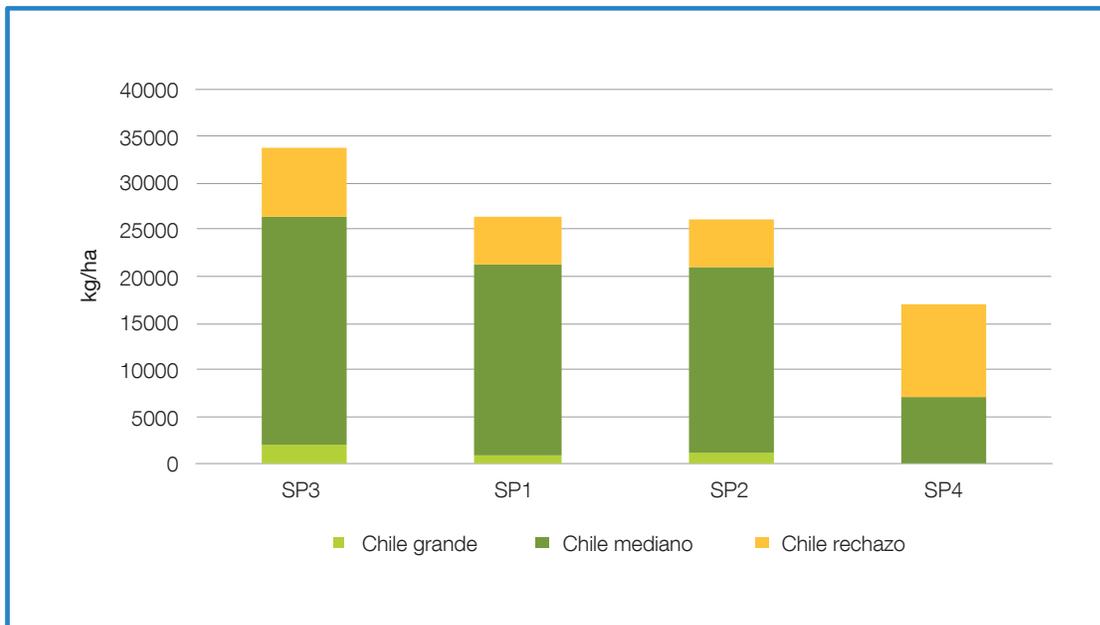


Figura 1. Rendimiento productivo (kg/ha) de frutos comerciales y de rechazo por hectárea en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Este rendimiento supera el promedio mundial de chile dulce de 18 470 kg/ha (FAO, 2019) pero está por debajo de los rendimientos productivos reportados en España, cuando se cultiva en invernadero de 65 000 kg/ha (Reche,2010) y también por los alcanzados en el mismo centro de Investigación donde se desarrolló esta prueba con una producción total de 39 600 kg/ha, durante el periodo comprendido de octubre 2011 a marzo del 2012, en un invernadero multi capilla (Ramírez *et al.*, 2012).

En la casa de malla de 3 m de altura se logró un rendimiento de frutos grandes y medianos de 1307 y 19 713 kg/ha respectivamente; mientras que, en la casa de malla de 5 m de altura, se situó en 1062 y 20 194 kg/ha correspondientemente. Estos rendimientos, aunque superan el promedio mundial, no alcanzaron los obtenidos en el Estado de Tamaulipas en México, con este mismo sistema productivo, cuando se utilizó el híbrido de chile dulce Bell F1 Abadía con un promedio de 46 000 kg/ha, durante los meses de mayo a agosto del 2013 (INIFAP, 2013). En el sistema productivo en campo abierto, no se produjeron chiles dulces grande y los medianos llegaron a alcanzar un rendimiento promedio de 7220 kg/ha.

Con respecto a la distribución de la producción total, el mayor porcentaje de frutos grandes provino del invernadero (SP3) con 5,86 %, seguido de la casa de malla de 3 m (SP2) con 4,98 % y finalmente la casa de malla de 5 m (SP1) con 4,02 %. En cuanto a los frutos medianos, la mayor proporción se encontró en el SP1 con un 76,40 %, le continuó el SP2 con 75,16 %, posteriormente el SP3 con 72,87 % y finalmente campo abierto (SP4) con 42,04 %. Por su parte la mayor fracción de chiles de rechazo se presentó en el SP4 con 57,96 %, en segundo lugar, el invernadero con 21,26 % y los sistemas de casa de malla SP1 y SP2 obtuvieron un 19,86 %).

Cuando se comparó la información anteriormente expuesta con los resultados obtenidos por Carrillo (2016), en el mismo sitio del estudio durante los meses de julio del 2015 a marzo del 2016, donde se obtuvo una proporción de chiles grandes, medianos y de rechazo de 19,39, 57,02 y 23,35 % respectivamente, con el híbrido de chile dulce Bell F1 Polaris con maduración a amarillo, se pudo apreciar que la relación de frutas de rechazo anduvo muy similar con el actual experimento, pero aunque el porcentaje de chiles comerciales también se comportó parecido, la proporción de frutas grandes fue muy diferente, lo cual se puede deber a la época del año en que se desarrolló la prueba y a la adaptabilidad del material genético.

Longitud de fruta comercial

Se presentó un efecto ($P \leq 0,05$) sobre la longitud de frutas de chile dulce comercial a causa de las variaciones en los niveles de los factores sistema productivo (A) y cultivar (B). El cultivar Rojo Americano obtuvo la mayor longitud de fruta cuando fue sembrado en la casa de malla de 3 m de altura con un promedio de 9,80 cm, el cual presentó diferencias significativas con el resto de los tratamientos. Este mismo cultivar en el resto de los sistemas productivos en conjunto con el cultivar Fabris en los sistemas de ambiente protegido (SP1, SP2 y SP3) alcanzaron longitudes con un rango de 7,52 a 8,27 cm, lo que mostró diferencias significativas con el resto de las combinaciones (ver Cuadro 9).

Cuadro 9. Longitud promedio (cm) de frutos comerciales de cuatro cultivares de chile dulce, según el sistema productivo: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4) y el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Interacción SP-Cultivar	Longitud (cm)
SP2-R. Americano	9,60 a
SP3-R. Americano	8,27 b
SP1-R. Americano	8,20 b
SP3-Fabris	8,06 b
SP1-Fabris	7,75 b
SP2-Fabris	7,71 b
SP4-R. Americano	7,52 b
SP4-Fabris	7,30 c
SP1-Canzion	7,16 c
SP3-Canzion	6,92 c
SP2-Canzion	6,76 c
SP4-Canzion	6,46 c
SP3-Zidencá	6,36 c
SP1-Zidencá	5,77 d
SP4-Zidencá	5,67 d
SP2-Zidencá	5,50 d

El cultivar Zidencá sembrado en los sistemas productivos de casas de mallas (SP1 y SP2) y en campo abierto (SP4) obtuvo la menor longitud de fruta con un rango de 5,50 a 5,77 cm, por lo tanto, resultó ser estadísticamente diferente ($P \leq 0,05$)

al resto de los tratamientos. Según las normas de calidad para exportar a Estados Unidos de Norteamérica, la longitud mínima para clasificarse como chile grande deber ser mayor a 7,5 cm, por tal motivo Rojo Americano, indistintamente del sistema de producción donde se siembre y Fabris en los sistemas de producción de ambiente protegido, cumple con la altura mínima de fruta para ser seleccionados como de talla grande.

Ancho de fruta

No hubo interacción ($P > 0,05$) entre los factores sistema productivo (A) y cultivar (B), por lo que se dio un efecto independiente de los factores sobre la variable ancho de fruta. En los 4 sistemas productivos se obtuvo un ancho de fruta con un rango entre 5,94 a 6,37 cm, sin que se observan diferencias significativas entre ellos ($P > 0,05$). El cultivar que presentó el mayor valor promedio fue Rojo Americano con 6,66 cm, con lo cual mostró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con el resto de los cultivares (ver Cuadro 10).

Cuadro 10. Ancho promedio de frutos comerciales (cm), según el sistema productivo: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Sistema productivo	Ancho (cm)
SP3	6,37
SP2	6,05
SP4	5,95
SP1	5,94

Al analizar estos datos, con los de longitud promedio de fruta, nos permitió deducir que los cultivares Rojo Americano, Fabris y Canzion, presentaron una geometría rectangular, mientras que Zidencá una forma cuadrada. Además, se puede apreciar que si bien, los cultivares como Rojo Americano y Fabris cumplieran con la longitud óptima para clasificarse como talla grande, no ocurre lo mismo con el ancho mínimo de esta categoría que es de 7,50 cm, lo que indujo que una gran proporción de la producción se catalogara como mediana (ver Cuadro 11), lo que les resta un valor económico de alrededor de un 50 % por cada kilogramo de fruta.

Cuadro 11. Ancho promedio de frutos comerciales (cm), según el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Cultivar	
R. Americano	6,66 a
Fabris	6,08 b
Zidencá	5,83 b
Canzion	5,73 b
Significancia ($p \leq 0,05$)	*

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

Grados Brix

No hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) en la interacción, ni de forma independiente de los factores sistema productivo (A) y cultivar (B) sobre la variable de respuesta de los grados Brix, la cual presentó una fluctuación de 6,31 a 6,73 °Brix entre los diferentes cultivares.

Aunque las normas de calidad para exportación de chile dulce tipo Bell no especifica el nivel mínimo de grados Brix, al comparar estos datos con los obtenidos por Báez *et al.* (2015), en plantaciones de chile dulce tipo Bell, desarrollados en casas de mallas en Sinaloa, México, los cuales fueron de 8,12 °Brix. Este aspecto evidencia que, con los materiales genéticos y el ambiente agroclimático generado en los sistemas productivos en la provincia de Guanacaste, la calidad de las frutas en términos de concentración de azúcares fue menor, que el obtenido en el norte de México.

Índice de Área Foliar (IAF)

Existe una interacción significativa ($P \leq 0,05$) entre las variables de clasificación sistema productivo y los días después del trasplante (DDT), en los tiempos en que se realizaron los muestreos (30, 75 y 120 DDT), sobre la variable de respuesta, que fue el índice de área foliar (IAF). Mientras que en el factor cultivar se presentó un efecto independiente sobre el IAF ($P \leq 0,05$).

Los mayores IAF promedio en los tres tiempos de muestreo, lo obtuvieron los cultivares Fabris y Canzion con valores de 1,79 y 1,77, por lo que mostraron diferencias significativas con Rojo Americano y Zidencá que desarrollaron un

IAF promedio de 1,62 y 1,61 respectivamente (ver Cuadro 12).

Cuadro 12. Promedio de índice de área foliar (IAF) por cultivar de chile dulce tipo Bell, obtenido en 3 epatas del ciclo productivo (30, 75 y 120 ddt). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Cultivar	IAF
Fabris	1,79 a
Canzion	1,77 a
R. Americano	1,62 b
Zidencá	1,61 b

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

En promedio las plantas de chile dulce sembradas en el invernadero (SP3), la casa de mallas de 5 m de altura (SP1) y de 3 m de altura (SP2), presentaron los mayores IAF de la prueba, a los 75 DDT con valores de 3,41, 2,94 y 2,65 correspondientemente, de modo que obtuvieron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con el resto de las combinaciones entre sistema productivo y tiempo de muestreo (ver Cuadro 13).

La unidad experimental sembrada a campo abierto (SP4), la cual fungió como testigo, tuvo un desarrollo de IAF muy por debajo de los rendimientos anteriormente expuestos, llegando a obtener valores de 0,42, 0,92 y 1,14 a los 30, 75 y 120 DDT respectivamente. El desarrollo del IAF tiene una clara respuesta entre otros factores a los niveles de radiación y temperatura, ya que, a niveles por arriba del límite superior del rango de suficiencia fotosintética, pueden afectar el crecimiento de las plantas, las tasas de transpiración y la posible destrucción de la clorofila (Langhams y Tibbitts, 1997).

Según Giménez (1992), indistintamente del sistema productivo se considera necesario un IAF entre 3 y 4 en el cultivo de chile dulce, para que la interceptación de luz sea de un 95 %, por lo que si comparamos este dato, con los resultados de la presente investigación, se puede deducir que para el mes de marzo a los 75 DDT, las plantas ubicadas en los sistemas en ambiente protegido (SP1, SP2 y SP3), lograron desarrollar una superficie de área foliar lo suficientemente extensa, para no tener limitaciones en la captación de radiación proveniente del sol y su posterior transformación en foto asimilados.

Cuadro 13. Promedio de índice de área foliar de chile dulce, evaluado en tres etapas del ciclo productivo (30, 75 y 120 DDT), según el sistema productivo: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Sistema productivo	DDT	IAF
SP3	75	3,41 a
SP1	75	2,94 a
SP2	75	2,65 a
SP1	120	2,04 b
SP2	120	2,02 b
SP3	120	2,01 b
SP4	120	1,14 c
SP1	30	0,99 c
SP3	30	0,97 c
SP4	75	0,92 c
SP2	30	0,90 c
SP4	30	0,42 d

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

Según Castilla (2005), lo normal de una plantación como el chile dulce es que ocurra un crecimiento exponencial de IAF durante la mayor parte del ciclo productivo, por efecto del desarrollo de nuevas hojas en la planta, pero en caso del presente estudio a los 120 DDT en los sistemas productivos de ambiente protegido se presentó una reducción de un 33 % de la biomasa con respecto al segundo muestreo a los 75 DDT. Este fenómeno se debió a un ataque severo del hongo *Sclerotium rolfsii*, lo que confirma lo citado por Lopes y de Ávila (2003), donde indican que un ambiente favorecido por una alta humedad y temperatura del suelo, induce una alta presión de este organismo fitopatógeno, lo cual provoca una muerte descendente, con un alto nivel de defoliación, por tanto, la fase de senescencia del ciclo productivo del cultivo inicia en forma anticipada.

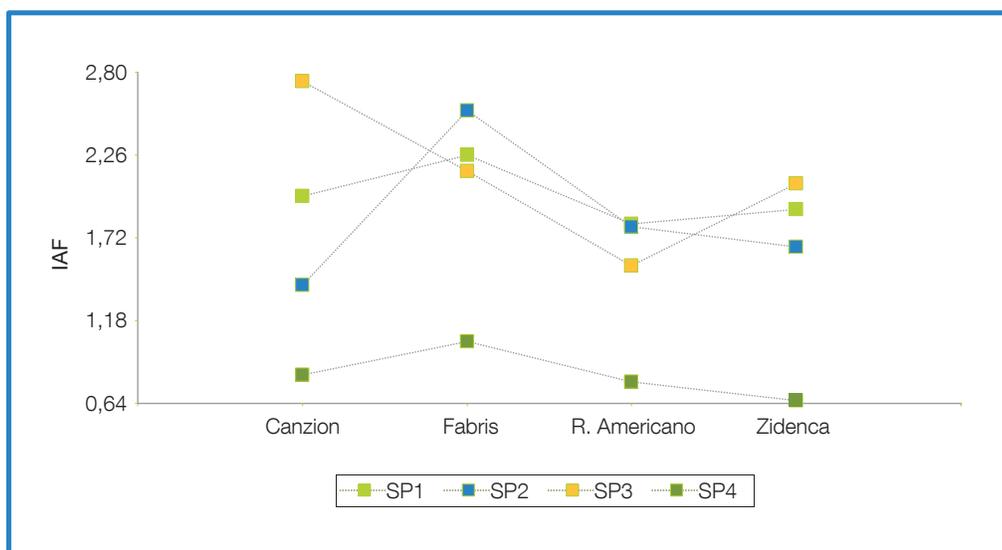


Figura 2. Comportamiento del índice de área foliar (IAF) de cada cultivar de chile dulce tipo Bell, según el sistema productivo donde se sembró: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

La mejor respuesta en cuanto al desarrollo de doseles independientemente del cultivar analizado, se obtuvo en los sistemas productivos en ambiente protegido, el cual llegó a ser hasta 3 veces mayor comparado con el de campo abierto, como fue el caso del cultivar Canzion en invernadero o Rojo Americano que duplicó su IAF cuando se sembró en casa de malla indistintamente de la altura del módulo, lo que indica que los niveles de radiación que llegaron al exterior de estas estructuras, fue contraproducente, ya que según Hanan (1998), las plantas debido a la incapacidad de almacenar todo el almidón producido en la fotosíntesis, una vez que llega al punto de saturación de radiación, provoca que las hojas cesen su actividad asimiladora, por lo que el uso de la cobertura de sombreado para reducir un 50 % la incidencia de la luz sobre el cultivo, fue un método efectivo para revertir esta situación y promover un mayor índice de biomasa (ver Figura 2).

Altura de planta

La mayor altura promedio de las plantas de chile dulce se obtuvo dentro del sistema productivo: casa de malla de 3 m de altura (SP2), casa de malla de 5 m de altura (SP1) e invernadero (SP3) con un rango entre 103,69 a 98,42 cm, de modo que presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con las plantas sembradas a campo abierto (SP4) (ver Cuadro 14).

Estos resultados indican, que los sistemas productivos en ambiente protegido, generaron un clima espontáneo más óptimo en su interior, para el desarrollo fisiológico de la planta, comparado con el acontecido en campo abierto, lo que favoreció el crecimiento, asociado a un mayor IAF y número de entrenudos, donde se encuentran los meristemos que inducen la floración, que en consecuencia definieron el potencial de producción, aspecto que quedó demostrado, con los rendimientos obtenidos en cada uno de los sistemas de ambiente protegido.

Cuadro 14. Altura promedio de plantas (cm) según sistema productivo: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Sistema productivo	Altura (cm)
SP2	103,69 a
SP1	99,28 a
SP3	98,42 a
SP4	73,83 b

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$)

Temperatura y humedad relativa por hora del día

Las menores temperaturas en todos los sistemas productivos (SP1, SP2, SP3 y SP4), se presentaron en horas de la madrugada (00 a las 06 horas) con valores cercanos a los 25 °C. A partir de las 08 horas la temperatura superó los 31 °C, para llegar a las máximas lecturas a las 14 horas (2 p.m.), con registros promedios de 34,75 °C en la casa de malla de 5 m de altura (SP1), de 36,70 °C en la casa de malla de 3 m de altura (SP2), de 35,81 °C en el invernadero (SP3) y de 35,65 °C en campo abierto (SP4).

Los mayores niveles de humedad relativa que fueron alrededor del 74 %, coincidieron con el mismo horario (00 a las 06 horas) donde se registraron las menores temperaturas del día. Mientras que los menores registros de humedad también concordaron en las horas donde se observaron las mayores temperaturas (09 a las 15 horas). Esta dinámica de la temperatura y humedad relativa despejó las incógnitas de los tiempos en el día en que se puede humidificar el ambiente con el uso de nebulizadores, sin llegar a una higrometría del aire que sobrepase los límites cercanos a la saturación, para así; no promover el desarrollo de organismos fitopatógenos (ver Figura 3).

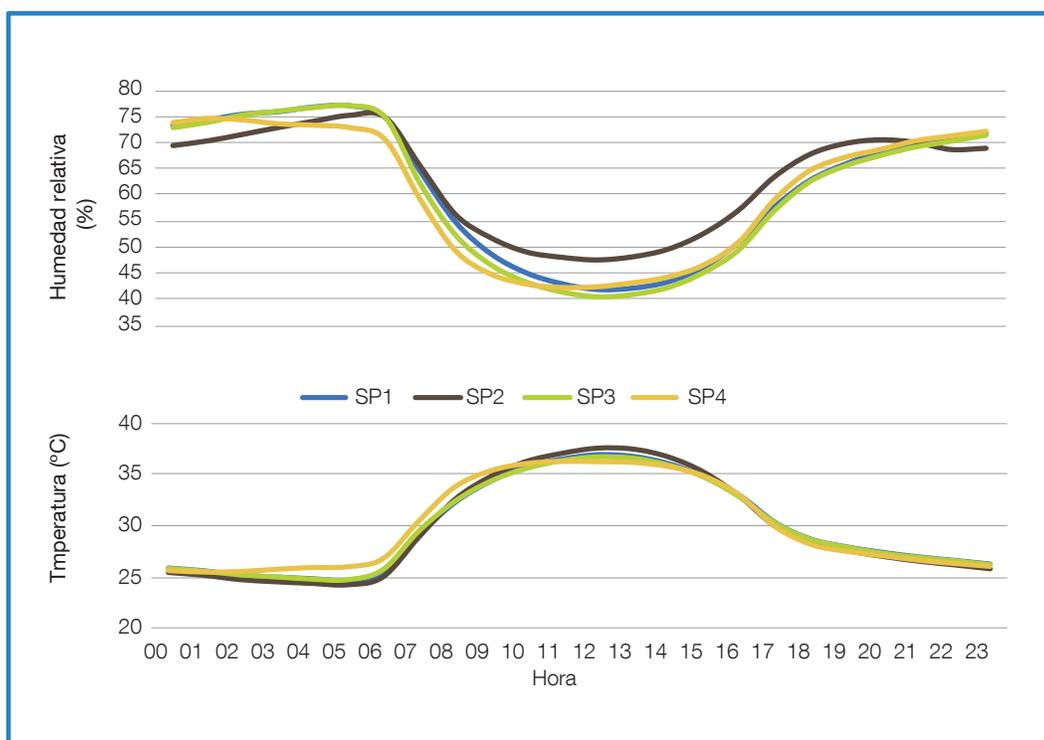


Figura 3. Relación de la temperatura (°C) y la humedad relativa (%) durante las 24 hrs del día registradas en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), de diciembre del 2019 a abril del 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

La temperatura y humedad relativa, aunque no son inversamente proporcionales, si tienen un estrecho vínculo entre ellos. A partir de las 8 horas iniciaron los cambios más drásticos del día, que provocaron un incremento en la temperatura del 22 % y una disminución de la humedad relativa de un 27 %, después de la salida del sol. Conforme la temperatura promedio llegó a los máximos niveles, a partir de las 10 hasta las 14 horas, la humedad relativa se situó en los niveles más bajos, lo que indica que este periodo de tiempo es cuando se deben intensificar las prácticas de manejo, especialmente lo que se refiere al riego, para mitigar los efectos de la alta temperatura y baja humedad relativa que puede afectar la apertura estomática, limitando la transpiración de la planta y por consiguiente el transporte de agua y nutrientes (Castilla, 2005).

Temperatura mínima y máxima

Las temperaturas mínimas promedio registradas en cada uno de los sistemas productivos fue muy similar, durante todo el periodo en que se realizaron las mediciones (diciembre del 2019 a abril del 2020), con un rango entre 22,53 °C obtenido en campo abierto (SP4) en el mes de diciembre a 24,54 °C en la casa de malla de 5 m de altura (SP1), en el mes de marzo (ver Cuadro 15). Estos datos señalan que durante el periodo de tiempo en que se realizó el estudio las temperaturas mínimas fueron altas, lo que indicó que las madrugadas no fueron tan frías como en otros años.

Cuadro 15. Promedio de temperaturas (°C) mínimas y máximas registradas en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), de diciembre del 2019 a abril del 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Mes	Temperatura mínima (°C)				Temperatura máxima (°C)			
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP1	SP2	SP3	SP4
Diciembre	23,15	22,75	22,98	22,53	37,49	37,29	36,47	37,53
Enero	23,71	23,35	23,69	23,10	36,88	38,27	37,25	38,53
Febrero	23,60	23,22	23,56	22,87	38,08	38,21	37,73	38,78
Marzo	24,57	24,04	24,54	23,93	38,74	39,54	38,17	39,31
Abril	23,87	23,55	24,09	23,43	40,87	41,44	39,87	41,36
\bar{x}	23,78	23,38	23,77	23,17	38,41	38,95	37,90	39,10
Desv.stand.	0,52	0,47	0,58	0,54	1,54	1,60	1,27	1,42

Las máximas temperaturas, indistintamente del sistema productivo se alcanzaron en el mes de abril con valores cercanos a los 40 °C, con lo que se superó el límite óptimo para la mayoría de cultivos hortícolas como el chile dulce que es de 35 °C, para una eficiente respuesta a la actividad fotosintética (Urban, 1997), lo que reveló que los cultivares seleccionados en la prueba, tienen tolerancia para soportar esta temperatura en un lapso de tiempo limitado durante el día.

Humedad Relativa mínima y máxima

El sistema productivo donde se presentó la menor humedad relativa (%) durante el transcurso del día, fue en campo abierto, con un promedio de 35,52 % durante el periodo donde se registraron variables climáticas en el estudio (diciembre del 2019 a abril 2020), mientras que en los sistemas de ambiente protegido se obtuvo una higrometría similar, llegando a 37,82 % en la casa de malla de 5 m de altura (SP1) (ver Cuadro 16), lo que evidenció que a parte de la evaporación del suelo, las plantas tuvieron algún nivel de transpiración, aportando vapor de agua al ambiente, lo que significó que las raíces absorbieron de la solución nutritiva en las horas más calientes del día.

Cuadro 16. Promedio de humedad relativa (%) mínimas y máximas registradas en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), de diciembre del 2019 a abril del 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Mes	Humedad relativa mínima (%)				Humedad relativa máxima (%)			
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP1	SP2	SP3	SP4
Diciembre	44,33	42,17	40,87	42,19	89,60	91,48	90,04	92,61
Enero	40,23	40,71	39,55	37,62	82,41	83,42	82,47	84,88
Febrero	35,25	35,10	35,92	34,10	79,08	80,29	78,95	81,80
Marzo	33,51	31,01	32,36	31,21	72,11	74,65	71,69	74,22
Abril	35,80	32,70	34,61	32,50	89,16	89,71	86,09	89,34
\bar{x}	37,82	36,34	36,66	35,52	82,47	83,91	81,85	84,57
Desv.Stand.	4,40	4,91	3,51	4,43	7,32	6,89	7,02	7,11

La mayor humedad relativa promedio de los 5 meses del estudio se presentó en campo abierto (SP4) con 84,57 %, pero los sistemas de producción en ambiente protegido (SP1, SP2 y SP3) alcanzaron valores muy cercanos entre 81,85 y 83,91 % (Cuadro 17). A parte de esto, el rango de la humedad máxima (noche) y mínima (día), demostró lo agreste de las condiciones de humedad en la Región Chorotega, pasando de niveles cercanos al punto de saturación en horas de la noche a higrometrías muy bajas en el día, lo que induce a la planta a una constante apertura y cierre estomático para adaptarse al medio (Castilla, 2005).

Radiación PAR por hora del día

A partir de las 6 horas el único sistema productivo que alcanzó un nivel de radiación óptimo para iniciar el proceso fotosintético fue campo abierto (SP4) con 14,45 $W \cdot m^{-2}$ de radiación PAR. Según Langhams y Tibbitts (1997), los niveles ideales de radiación para cultivos como el chile dulce

oscila entre 12 y 24 $W \cdot m^{-2}$ PAR. Los sistemas de ambiente protegido casa de malla de 5 m de altura (SP1), casa de malla de 3 m de altura (SP2) e invernadero (SP3), estuvieron provistas permanentemente por una pantalla de sombreo de 50 % de reducción de luz, ubicada a 3 m de altura, durante todo el periodo del estudio, por lo que a partir de las 07 horas lograron empezar a captar la energía irradiada por el sol, lo que indica que a tempranas horas del día las plantas en estos sistemas productivos no tuvieron limitaciones para iniciar la producción de foto asimilados.

Desde las 08 hasta las 15 horas se logró registrar niveles de radiación en los sistemas antes descritos, que fluctuaron entre 20,04 a 31,44 $W \cdot m^{-2}$ PAR, lo que indica que las plantas de chile dulce estuvieron cercanas al punto de saturación para potencializar su sistema fotosintético, lo que demostró que en el sitio del estudio los niveles de radiación provenientes del sol, cumplen con los requerimientos de luminosidad del cultivo de chile dulce, aun cuando se utilice un sistema de sombreo (ver Figura 4).

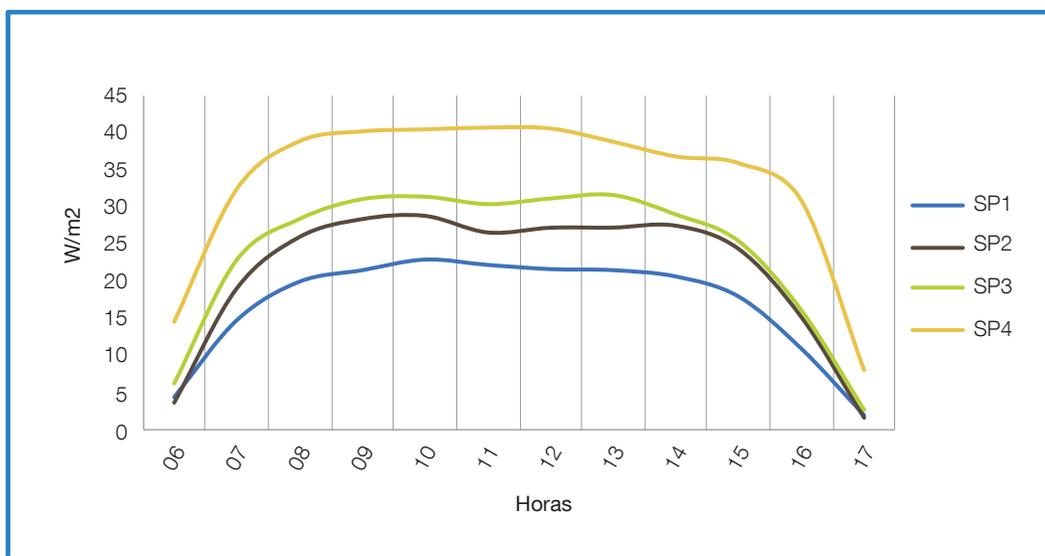


Figura 4. Dinámica de la radiación PAR ($W \cdot m^{-2}$) de las 06 a las 17 horas, en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), de diciembre del 2019 a abril del 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

En promedio el sistema que redujo en mayor proporción el paso de la luz, con respecto al sistema productivo a campo abierto (SP4), una vez traspasada la cobertura plástica o la malla anti insecto y la pantalla de sombreo fueron: la casa de malla de 5 m de altura con un 49 %, seguido por la casa de malla de 3 m de altura (SP2) con un 36 % y por último el invernadero (SP3) con un 28 %.

Eficiencia del uso del agua

Para determinar la eficiencia del uso del agua en cada uno de los sistemas productivos se midió el contenido de humedad volumétrica del suelo y se determinaron las pérdidas por transpiración de la planta a través de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y la evapotranspiración de cultivo (ET_c), para realizar una relación entre el consumo de agua y la producción obtenida.

Humedad volumétrica del suelo

El suelo donde se realizó la investigación se clasificó como franco arcilloso, con una determinación de los parámetros hídricos sobre el contenido de humedad volumétrica en capacidad de campo (CC) de 40 % y del punto de marchitez permanente (PMP) de 21 %.

En el mes de mayo se presentaron los mayores contenidos de humedad volumétrica del suelo, en todos los sistemas productivos, lo que coincide con la mayor incidencia del hongo *Sclerotium rolfsii*, el cual se favorece para su desarrollo y reproducción de condiciones de alta humedad y temperatura del suelo (Lopes y de Avila, 2003). Esto explica la razón del adelantamiento de la etapa de senescencia, en el ciclo de vida del

cultivo de chile dulce, la cual llegó a los 68 días después de iniciada la producción.

En campo abierto (SP4) se presentaron los mayores niveles promedios de humedad volumétrica durante los meses en que se desarrolló la prueba con un 66,27 %. Esta condición se pudo deber a la relación que existió, entre el bajo valor de IAF obtenido en este tratamiento y el limitado potencial de transpiración de vapor de agua a través de las hojas proveniente del suelo, ocasionado por el escaso desarrollo vegetativo, lo que hizo que los sistemas de ambiente protegido (SP1, SP2 y SP3), debido a la modificación de las condiciones ambientales, que favorecieron una mayor crecimiento del área foliar, pudieran aprovechar más el contenido de humedad de suelo para llevar a cabo sus funciones fisiológicas, las cuales se transformaron en un rendimiento productivo superior.

La casa de malla de 5 m de altura (SP1), presentó el menor nivel de humedad volumétrica en el suelo con un rango de 46,30 a 66,78 %, lo que concuerda con el menor registro radiación PAR promedio que ingresó a este módulo. Esto evidenció, que los niveles de evapotranspiración en este sistema productivo fueron mayores que en el resto de los tratamientos de ambiente protegido (ver Figura 5).

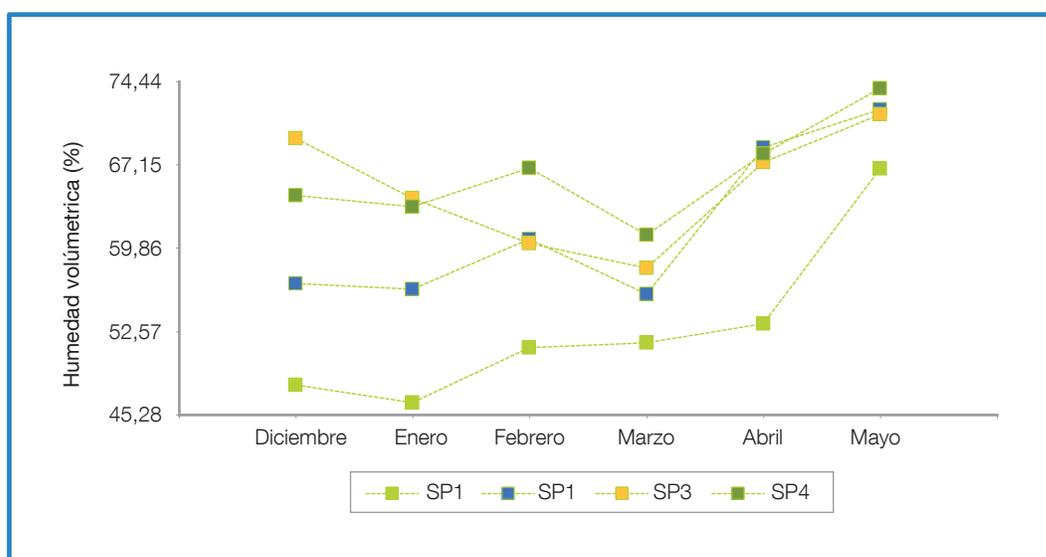


Figura 5. Promedio de humedad volumétrica (%) presente a 20 cm de profundidad en cada sistema productivo: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), desde diciembre del 2019 hasta mayo del 2020. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La evapotranspiración de referencia (ET_o), se obtuvo con mediciones diarias en los tanques evaporímetros clase A, ubicados en cada uno de los sistemas productivos en estudio. Estos tanques proporcionaron una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo.

La mayor ET_o se presentó en el sistema productivo de campo abierto (SP4) con un promedio de 4,51 mm, esto debido a que la radiación que llegó a este tanque fue directa, mientras que en los sistemas de ambiente protegido al tener una cobertura plástica o de malla anti insecto y una pantalla de sombreado, provocó que la luz se difuminará y la energía se distribuyera en los tanques, reduciendo la evaporación en un 3 % en la casa de malla de 5 m de altura (SP1), mientras que en la casa de malla de 3 m de altura (SP2) y en el invernadero (SP3) en un 15 % (ver Cuadro 17).

Cuadro 17. Evapotranspiración de referencia (ET_o) promedio de diciembre del 2019 a mayo del 2020, en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), desde diciembre del 2019 hasta mayo del 2020. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Mes	SP1	SP2	SP3	SP4
Diciembre	4,96	4,00	3,86	6,80
Enero	2,80	3,71	2,78	3,84
Febrero	3,92	3,14	4,30	3,60
Marzo	5,04	5,34	4,88	4,72
Abril	4,18	3,44	3,68	3,84
Mayo	4,56	3,38	3,44	4,24
\bar{X}	4,24	3,83	3,82	4,51

Evapotranspiración de cultivo (ET_c)

Según el manual 56 de FAO (2006), para el cultivo de chile dulce se considera un K_c de 0,6 para el primer mes después del trasplante, posteriormente hasta un mes antes de finalizar el ciclo productivo el K_c corresponde a 1,15 y por último se concluye con un K_c de 0,90.

La mayor ET_c lo obtuvo el sistema productivo a campo abierto (SP4), con un promedio de 4,38 mm, seguido de la casa de malla de 5 m (SP1) de altura con 4,24 mm y tanto la casa de malla de 3 m de altura (SP2), como el invernadero (SP3) presentaron un promedio de 3,90 mm (ver Cuadro 18).

Estos datos nos indican que la menor demanda evapotranspirativa provino de la casa de malla de 3 m de altura (SP2) y del invernadero (SP3), lo que potencialmente significó un ahorro en el ciclo productivo de 150 días de 720 m³ de agua, comparándolo con el tratamiento a campo abierto (SP4), lo que sugiere que estos sistemas de ambiente protegido no solamente aumentaron el rendimiento productivo, sino también mejoraron las condiciones ambientales para propiciar un menor consumo de agua para riego.

Cuadro 18. Evapotranspiración de cultivo (ETc) luego de aplicar un coeficiente de cultivo (Kc), según sistema productivo evaluado de diciembre del 2019 a mayo del 2020. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Mes	*Kc	SP1	SP2	SP3	SP4
Diciembre	0,60	2,98	2,40	2,31	4,08
Enero	1,15	3,22	4,27	3,19	4,42
Febrero	1,15	4,51	3,61	4,95	4,14
Marzo	1,15	5,80	6,15	5,61	5,43
Abril	1,15	4,81	3,96	4,23	4,42
Mayo	0,90	4,10	3,04	3,10	3,82
\bar{x}	-	4,24	3,90	3,90	4,38

* FAO, 2006.

El comportamiento de las fluctuaciones de la ETc en los diferentes meses de las evaluaciones, fue inversa a la dinámica de la humedad volumétrica del suelo, lo que demostró que existe una relación entre ambas variables, por lo que a mayores niveles de ETc, se presentó un aumento en la evaporación del agua contenida en el suelo.

Productividad agronómica del agua utilizada para riego (WP)

La productividad del agua aplicada por riego (WP), es un factor que relacionó el rendimiento productivo y el consumo de agua, lo que nos permitió evaluar la eficiencia del uso del agua para producir los frutos de chile dulce.

El invernadero (SP3) fue el sistema productivo que obtuvo el mayor WP, al tomar en cuenta la totalidad de la producción (frutas comerciales y de rechazo) con un valor de $5,76 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, lo que significó que se necesitó de un metro cúbico de

agua para producir 5,76 kilogramos de frutas de chile dulce (ver Cuadro 19).

Los sistemas productivos de casas de mallas de 5 m y 3 m de altura (SP1 y SP2), tuvieron valores de WP de 4,03 y $4,48 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ respectivamente, para el total de la producción; mientras que en campo abierto se presentó la mayor demanda de agua para producir un kilogramo de fruta con un WP de $2,61 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Cuadro 19. WP ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), en 4 sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), desde diciembre del 2019 hasta mayo del 2020. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Sistema Productivo	ETc (m^3/ha)	Producción comercial (kg/ha)	Producción total (kg/ha)	WP producción comercial (kg/m^3)	WP total (kg/m^3)
SP1	6554	21256	26432	3,24	4,03
SP2	5854	21021	26230	3,59	4,48
SP3	5849	26540	33707	4,54	5,76
SP4	6574	7220	17174	1,10	2,61

Al comparar los datos alcanzados en esta prueba, con los publicados por González *et al.* (2014), en el cual se determinó una variación entre $3,10$ a $26,20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ de WP, para el cultivo de chile dulce en un periodo de 30 años, en Cuba, se puede determinar que los resultados obtenidos se encuentran en el límite inferior de esta escala, por lo que todavía hay margen para mejorar este indicador y aumentar la del del uso de agua para riego en este cultivo.

El mayor índice de eficiencia de WP lo obtuvo el invernadero (SP3), al producir 4,13 veces más fruta comercial y 2,21 mayor rendimiento de la producción total por cada metro cúbico de agua consumido, comparado con el sistema de producción en campo abierto (SP4) (ver Figura 6).

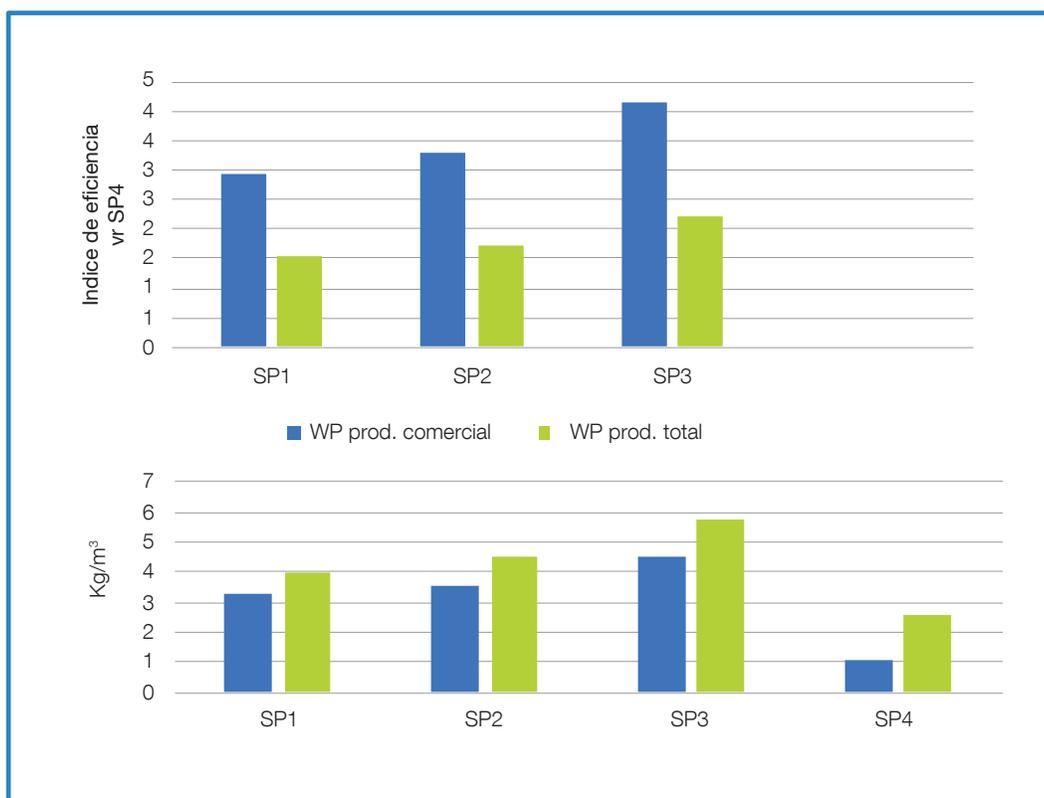


Figura 6. WP ($\text{kg} \cdot \text{m}^3$), en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), e índice de eficiencia del WP de los sistemas en ambiente protegido comparado con SP4. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Los sistemas productivos de casas de malla de 5 y 3 m (SP1 y SP2), lograron un índice de eficiencia para frutas comerciales de 2,95 y 3,27 respectivamente, mientras que producción total el indicador se fijó en 1,54 y 1,72 correspondientemente, lo que demostró que la producción de chile dulce en ambiente protegido indistintamente del sistema productivo (SP1, SP2 y SP3), aparte de inducir a mayores rendimientos productivos, aumenta la eficiencia biológica y económica del uso de agua para riego.

LITERATURA CITADA

Báez, M., Contreras, R., Félix, Y. (2015). Análisis de calidad poscosecha de pimiento 'amarillo' producido bajo malla sombra e invernadero de techo retráctil con y sin malla anti-insectos en Culiacán, México. http://www.cravo.com/libs/ckeditor/uploads/file/REPORTE_calidad_poscosecha_de_pimientos_producidos_en_techo_retr%C3%A1ctil_y_malla-sombra.pdf

Bastidas, V. (2018). La estructura organizacional y su relación con la calidad de servicio en centros de educación inicial [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. Repositorio Universidad Andina Simón Bolívar. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6233/1/T2664-MAE-Bastidas-La%20estructura.pdf>

- Carrillo, K. (2016). Efecto de la densidad de siembra y el tipo de poda de formación, sobre el rendimiento productivo y la calidad de frutos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) tipo "Bell" bajo ambiente protegido en Cañas, Guanacaste. [Tesis de Licenciatura inédita]. Universidad de Costa Rica.
- Castilla, N. 2005. Invernaderos de plástico. Editorial Mundi-Prensa.
- de la Cruz-Lázaro, E., Márquez Quiroz, C., Osorio Osorio, R., Preciado Rangel, P., y Márquez Hernández, C. (2017). Caracterización morfológica in situ de chile silvestre Pico de paloma (*Capsicum frutescens*) en Tabasco, México. *Acta Universitaria*, 27(2), 10–16. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1083>
- de Swart, E. A. M., Groenwold, R., Kanne, H. J., Stam, P., Marcelis, L. F. M., Voorrips, R. E. (2004). Non-destructive estimation of leaf area for different plant ages and accessions of *Capsicum annuum* L. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(5), 764-770. http://www.jhortscib.org/Vol79/79_5/16.htm
- Escalante, E; Y Kohashi, S. (1993). El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Agrociencia.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) a. (2019). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. <https://www.fao.org/3/ca6030es/ca6030es.pdf>
- Giménez, C.(1992). Bases Fisiológicas de la producción hortícola. Editorial Mundi-Prensa.
- Gonzales, F; Herrera, J; López, T; Cid, G. (2014). Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN -1010-2760, RNPS-0111, Vol. 23, No. 4 (octubre-noviembre-diciembre). Pp. 22-26.
- Hanan, J.J. (1997). Greenhouses: advanced technology for protected horticulture (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203719824>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2015). VI censo nacional agropecuario. https://admin.inec.cr/sites/default/files/media/reagropecce-nagro2014-ti-006_6.pdf
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2013). Producción de pimiento morrón en casa de malla para el Sur de Tamaulipas. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/942.pdf>
- LANGHAMS, R. Y TIBBITTS, T. (1997). Plant growth chamber handbook. USA. Ed. Iowa State University.
- Lopes, C Y de Ávila, A. (2003). Doenças do pimentão. diagnose e controle. <https://www.info-teca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/424975/1/cot132.pdf>
- McCree, K.J. (1972) Action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, 9, 191-216. [http://dx.doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](http://dx.doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7)
- Morales, D. Y Rodríguez, R. (2010). Estudio de viabilidad técnica y económica para el desarrollo de opciones de cosecha de lluvia y manejo adecuado en sistemas de riego en la producción agropecuaria. Alternativas rentables productivas por región. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F06-5896.pdf>
- Programa Integral De Mercadeo Agropecuario (PIMA). (2020). Mercados Regionales. <http://www.pima.go.cr/mercados-regionales/>
- Programa Integral De Mercadeo Agropecuario (PIMA). (2018). Índices estacionales 2018. <http://bpm.pima.go.cr:8080/ap/cm/PG29L2/AuraPortal.aspx>
- Quesada, R. (2007). Los Bosques de Costa Rica. IX Congreso Nacional de Ciencias. <http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2007/RupertoQuesada.pdf>
- Ramírez Martarrita, R., Aguilar Rodríguez, J., Mesa Rodríguez, L. (2018). Adaptabilidad de seis cultivares de chile dulce bajo invernadero en Guanacaste. *Alcances Tecnológicos*, 12(1), 13 - 23. <https://doi.org/10.35486/at.v12i1.35>
- Ramírez, R; Aguilar, J; Meza, L. (2012). Evaluación del rendimiento y adaptabilidad de nueve cultivares de chile dulce (*Capsicum annum* L) tipo Bell bajo cobertura plástica en la Región Chorotega. Archivos Técnicos del INTA.

Reche, J. (2010). Cultivo del Pimiento Dulce en Invernadero. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160265Cultivo_Pimiento_Invernadero.pdf

Urban, L. (1997). Introduction a la production sous serre. En: CASTILLA, N. Invernaderos de plástico. Editorial Mundi-Prensa.

ANEXOS



Figura 1 Sistemas productivos utilizados en la evaluación, ubicados en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste



Figura 2. Evaluación del desarrollo de la planta de chile dulce (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste).