

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL AMBIENTE GENERADO EN 4 SISTEMAS
PRODUCTIVOS SOBRE EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO Y ADAPTABILIDAD
DE 4 CULTIVARES DE CHILE DULCE TIPO BELL

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión
del Programa de Estudios de Posgrado en Desarrollo Integrado de Regiones Bajo
Riego para optar al grado y título de Maestría Profesional en Desarrollo Integrado
de Regiones bajo Riego

ROBERTO RAMÍREZ MATARRITA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica
Sede de Guanacaste

2021

Dedicatoria

Con mucho cariño le quiero dedicar la realización de esta composición, a mi madre Leda Matarrita Montoya, quien siempre ha sido un motivo de inspiración en mi vida, a mi padre Fernando Ramírez Rodríguez, al cual, hasta lo más alto le envío este homenaje, a mi hermano y sobrinos Luis Fernando, Mathias y Joel, por ser una parte muy importante de mi ser y un motor para el cumplimiento de mis sueños y metas.

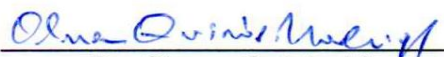
Roberto

Agradecimientos

Mi más sincera gratitud al M.Sc. Jhonny Aguilar Rodríguez, por todos los consejos y recomendaciones que me brindó durante el proceso de investigación. A las profesoras Jacqueline Cerdas Solano y Patricia Vázquez Soto, quienes con sus aportes indudablemente permitieron mejorar la calidad del documento. Al profesor Claudio Vargas Rojas y a la Ing. Stephanie Quirós Campos por todas sus orientaciones en el planteamiento de los modelos.

Un agradecimiento muy especial a todas las personas que contribuyeron abnegadamente, en las diferentes evaluaciones y en el manejo de la plantación, en especial a Josselyne Aguilar López, Luis Delgado Ruíz, María Jesús Delgado Rojas, Yeudy Arce Vallecillo y a todo el personal de la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez que colaboran de diferentes formas en la realización de esta actividad.

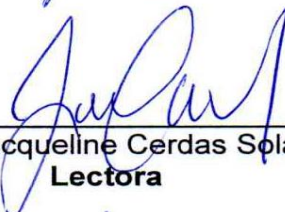
“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Desarrollo Integrado de Regiones Bajo Riego de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Desarrollo Integrado de Regiones Bajo Riego.”



Dr. Olman Quirós Madrigal
Decano
Sistema de Estudios de Posgrado



M.Sc. Johnny Aguilar Rodríguez
Profesor guía



M.Sc. Jacqueline Cerdas Solano
Lectora



M.Ga. Patricia Vázquez Soto
Lectora



M.Sc. Edwin Solorzano Campos
Director del Programa de Posgrado en
Desarrollo Integrado de Regiones Bajo Riesgo



Roberto Ramírez Matarrita
Sustentante

ÍNDICE

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Hoja de aprobación.....	iv
Índice.....	v
Resumen.....	viii
Summary.....	ix
Índice de cuadros.....	x
Índice de figuras.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes y justificación:	4
Objetivo General	7
Objetivos específicos	7
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Generalidades del chile (<i>Capicum annumm</i>)	8
2.2. Morfología	8
2.3. Fenología	9
2.3.1. Tipo Bell:.....	9
2.3.2. Tipo Lamuyo:	9
2.3.3. Tipo dulce italiano:	10
2.4 Rendimiento y calidad	10
2.5 Cultivos protegidos	11
2.5.1. Invernaderos	11
2.5.2. Casa de malla	12
2.6. Índice de Área Foliar (IAF).....	13
2.7. Sólidos Solubles Totales	14
2.8. Requerimientos agroclimáticos.....	15
2.8.1. Temperatura	15
2.8.2. Humedad relativa.....	15
2.8.3 Radiación.....	16
2.9. Eficiencia del uso del agua	16
2.10. Economía de la producción	18
MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Tipo de investigación.....	19
3.2. Tipo de paradigma.....	19

3.4. Ubicación de la Investigación	24
3.5. Diseño Experimental.....	24
3.5.1. Modelo lineal mixto para diseño bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas.	25
3.5.2. Modelo mixto para mediciones repetidas en el tiempo.	25
3.6. Descripción de los factores	26
3.6.1. Parcela grande (Factor A): sistemas productivos	26
3.6.1.1. Casa de malla de 5m de altura	26
3.6.1.2. Casa de malla de 3 m de altura.....	26
3.6.1.3. Invernadero.....	27
3.6.1.4. Parcela sin protección	27
1.6.2. Parcela pequeña (Factor B): cultivares de chile dulce	28
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	31
4.1. Número de frutos por unidad de muestreo.....	31
4.2. Peso de frutos	34
4.2.1. Peso de fruta comercial	34
4.2.2. Peso de frutas de rechazo	37
4.3. Rendimiento	38
4.4. Calidad	41
4.4.1. Longitud de fruta comercial	41
4.4.2. Ancho de fruta.....	43
4.5. Grados Brix.....	44
4.6. IAF	45
4.7. Altura de planta	48
4.8. Evaluación climática	49
4.8.1. Temperatura.....	49
4.8.2. Temperatura y humedad relativa por hora del día	50
4.8.2.1. Temperatura mínima y máxima	53
4.8.3. Humedad Relativa.....	55
4.8.3.1. Humedad Relativa mínima y máxima	56
4.8.4. Radiación	57
4.8.4.1. Radiación por hora del día	58
4.8.4.2. Radiación promedio y máxima	60
4.9. Eficiencia del uso del agua	62
4.9.1. Humedad volumétrica del suelo	62

4.9.2. Evapotranspiración de referencia (ET _o)	64
4.9.3. Evapotranspiración de cultivo (ET _c)	65
4.9.4. Productividad agronómica del agua utilizada para riego (WP).....	67
EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	70
5.1. Capacidad para exportación	70
5.2. Determinación de ingresos	722
5.3. Costos	744
5.3.1. Costos de inversión.....	744
5.3.2. Costos de producción.....	755
5.3.3. Costos de comercialización.....	766
5.4. Relación beneficio-costos.....	788
Conclusiones	822
Recomendaciones.....	84
Literatura citada	845
Anexos.....	944

RESUMEN

Evaluación de las condiciones ambientales generadas en tres diseños de ambiente protegido sobre la adaptabilidad de cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell

Roberto Ramírez Matarrita

Se evaluaron cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell (*Capsicum annum*), en cuatro sistemas productivos, 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 (DPD) con tres repeticiones. 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 un valor 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, con la mayor altura de planta 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. La casa de malla de 3 m de altura fue el sistema productivo más rentable utilizando los cultivares Canzion y Rojo Americano, por presentar los menores costos de inversión en estructura y la mayor relación beneficio costo.

Palabras clave: Sistema productivo, cultivares, rendimiento, agro climatología, rentabilidad.

SUMMARY

An experiment was carried out with four Bell type sweet peppers cultivars (*Capsicum annum*), using four production systems, at the Enrique Jiménez Núñez Experimental Station, located in Cañas, Guanacaste, during the months of December 2019 to May 2020. The objective of the research was to analyze the interaction of the environmental and the yield of 4 cultivars of Bell type sweet peppers. A split-plot factorial design with three replications was implemented, with the production systems as main plots and cultivars as subplots. The productive systems in a protected environment obtained in the sampling unit of 6 plants, the highest number of commercial fruits with a range between 65.92 to 78.58 units, the best weight of fruits with a value between 122.69 to 135, 41 g, the highest yield with a production between 6102.29 to 7639.17 g and the best quality of fruits that meet export dimensions. The most notable increase in biomass was achieved in these same systems, with the highest plant height and the best development of IAF, reaching a maximum level of 3.41 to the 75 DDT. The spontaneous climate was very similar in terms of temperature and relative humidity, but it varied significantly in radiation levels between the protected environment and outdoor treatments. The 3 m high mesh house was the most profitable productive system using Canzion and Rojo Americano cultivars, because it was the one that presented the lowest investment costs and the best cost benefit ratio.

Keywords: Productive system, cultivars, yield, agro-climatology, profitability.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Normas de clasificación de la calidad de fruta de chile Bell, empleada por la empresa Del Monte en el año 2010.....	11
Cuadro 2. Matriz de operacionalización de las variables de la investigación.	20
Cuadro 3. Nomenclatura para descripción de los sistemas productivos.	27
Cuadro 4. Nomenclatura para descripción de los cultivares de chile dulce.	28
Cuadro 5. Nomenclatura de los tratamientos combinando Factor A y B.	28
Cuadro 6. 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) y el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).....	32
Cuadro 7. 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).	35
Cuadro 8. Peso (g) promedio de frutos 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) y el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	37
Cuadro 9. Rendimiento productivo (g) en la unidad de muestreo (2,88 m ²) 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) y el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	39
Cuadro 10. 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).....	42
Cuadro 11. 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) y el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	44
Cuadro 12. Promedio de índice de área foliar (IAF) por cultivar de chile dulce tipo Bell, obtenido en 3 etapas del ciclo productivo (30, 75 y 120 ddt). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	45

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).....	46
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) y el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	49
Cuadro 15. Promedio de temperatura (°C) y humedad relativa (%) por hora, registrada 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).....	51
Cuadro 16. 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).....	54
Cuadro 17. 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).....	56
Cuadro 18. Radiación ($W \cdot m^{-2}$) promedio de las 06 a las 17 horas, registradas en 4 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).....	58
Cuadro 19. Radiación PAR ($W \cdot m^{-2}$) promedio y máxima, registrada 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).....	60
Cuadro 20. Humedad volumétrica contenida en los primeros 20 cm de suelo en cuatro sistemas productivos (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	63
Cuadro 21. 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).	65
Cuadro 22. Evapotranspiración de cultivo (ET _c) luego de aplicar un coeficiente de cultivo (K _c), según sistema productivo evaluado de diciembre del 2019 a mayo del 2020. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).....	66

Cuadro 23. 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).	67
Cuadro 24. Capacidad de transporte por contenedor refrigerado de 19 m de longitud (40 pies) para número de cajas, número de pellets y peso neto de fruta fresca (kg).	711
Cuadro 25. Rendimiento productivo en kilogramos por hectárea, por categoría de calidad (grande y mediana), según norma de exportación a Estados Unidos de Norteamérica (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	722
Cuadro 26. Promedio de precios de la caja de chile dulce de 5 kg según la norma de calidad del mercado de los Estados Unidos de Norteamérica desde el año 2016 hasta el 2020.	722
Cuadro 27. Ingreso total (US\$) por hectárea según tratamiento y calidad de fruta para exportación a Estados Unidos de Norteamérica (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	733
Cuadro 28. Ingreso total (US\$) por contenedor de 40 pies según tratamiento y calidad de fruta para exportación a Estados Unidos de Norteamérica (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	744
Cuadro 29. Costo de inversión en infraestructura y de sistema de riego (US\$) por hectárea de 3 sistemas productivos (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	744
Cuadro 30. Costo de producción (US\$) de una hectárea de chile dulce para exportación según cultivar (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	755
Cuadro 31. Costo de producción (US\$) para completar un contenedor de 40 pies de chile dulce para exportación según cultivar (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	766
Cuadro 32. Descripción de costo de transporte vía marítima desde el puerto de Moín, Limón, Costa Rica, hasta el puerto de Houston, Estados Unidos de Norteamérica.	777
Cuadro 33. Costos de comercialización (US\$) de chile dulce tipo Bell por contenedor, para exportación al mercado de los Estados Unidos de Norteamérica (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	788
Cuadro 34. Relación beneficio costo entre el sistema productivo de invernadero (SP3), casa de malla de 3 m de altura (SP2), combinado los cultivares Canzion y Rojo Americano por contenedor de 40" (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	799

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Área experimental del ensayo	24
Fig. 2. Sistema productivo 1	26
Fig. 3. Sistema productivo 2	27
Fig. 4. Sistema productivo 3	27
Fig. 5. Flujograma: Actividades para evaluación de la interacción genética de chile dulce en 3 sistemas de ambiente protegido	30
Fig. 6. Número y porcentaje 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).	33
Fig. 7. Diferencias de peso (g) promedio de fruta comercial entre cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell, 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 los cultivares. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).....	36
Fig. 8. Rendimiento productivo (kg/ha) y porcentaje (%) 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).	40
Fig. 9. 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).....	47
Fig. 10. 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).....	52
Fig. 11. Dinámica de las temperaturas (°C) promedio durante los meses de diciembre del 2019 a abril del 2020 en cuatro sistemas productivos (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	55
Fig. 12. Variaciones de humedad relativa (%) promedio durante los meses de diciembre del 2019 a abril del 2020 en cuatro sistemas productivos (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	57

Fig. 13. 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).....	59
Fig. 14. Dinámica de la radiación PAR ($W \cdot m^{-2}$) promedio (de las 06 a las 17 horas), registradas en 4 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).	61
Fig. 15. 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).	64
Fig. 16. Promedio de evapotranspiración de cultivo (ETc) (mm) obtenido 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).	66
Fig. 17. WP ($kg \cdot m^3$), 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).....	68
Fig. 18. Relación de costos, ingresos y saldos en US\$, por caja exportable de chile dulce Canzion, según el sistema productivo donde se desarrolló (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	8080
Fig. 19. Relación de costos, ingresos y saldos en US\$, por caja exportable de chile dulce Rojo Americano, según el sistema productivo donde se desarrolló (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).	811

Fig. A 1. Sistemas productivos utilizados en la evaluación, ubicados en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste.	1044
Fig. A 2. Evaluación del desarrollo de la planta de chile dulce (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste).	1044
Fig. A 3. Planta y frutos del cultivar Canzion (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste).....	1055
Fig. A 4. Planta y frutos del cultivar Fabris (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste).....	1055
Fig. A 5. Planta y frutos del cultivar Rojo Americano (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste).....	1066
Fig. A 6. Planta y frutos del cultivar Zidenca (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste).....	1066
Fig. A 7. Evaluación del rendimiento productivo y grados Brix de cultivares de chile dulce (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste). ..	1077



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Roberto Ramirez Matarrita, con cédula de identidad 204380715, en mi condición de autor del TFG titulado Evaluación del Efecto del ambiente generado en 4 sistemas productivos sobre el rendimiento y adaptabilidad de 4 cultivos de chile dulce tipo Bell.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Roberto Ramirez Matarrita

Número de Carné: B83802 Número de cédula: 204380715

Correo Electrónico: r Ramirez@inta.gov.cr

Fecha: 22/03/2021 Número de teléfono: 83306671

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Shonny Aguilar Rodriguez

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum* sp) es uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo; debido a su alto valor nutritivo del fruto y la multiplicidad de usos, como por ejemplo la industria, congelados, pastas, deshidratados y salsas (Samaniego 2006). 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 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019a). En Costa Rica el consumo de vegetales ha tomado un gran auge; según estudios del Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA) el consumo per cápita por año de hortalizas pasó de 100,48 kg en el año 2009 a 116,94 kg en el año 2012, lo que significa un aumento de un 16,4 % (PIMA 2013). Pese a este crecimiento en la demanda de legumbres por parte de la población a nivel nacional, según el censo agropecuario 2014, en la provincia de Guanacaste siguen siendo las actividades agropecuarias más importantes la ganadería bovina y el cultivo del arroz (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2015). Por este motivo se ha hecho palpable la necesidad de introducir nuevos cultivos que permitan una diversificación de la producción, con el fin de mejorar el ingreso económico y desarrollo de esta zona. Organismos como el Instituto Nacional de Innovación en Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), inició en el año 2001, un proceso de investigación en el cantón de Cañas, provincia de Guanacaste, orientado a mejorar las condiciones ambientales a las cuales se exponían más 10 cultivos hortícolas, incluyendo el chile dulce, con la utilización de una serie de sistemas de producción bajo ambiente protegido, lo que permitió una expansión de las zonas de siembra de hortalizas hacia el Pacífico Norte. Estas acciones le confirieron a Costa Rica el premio Innovagro 2018, por la mejor innovación social en reconocimiento al aporte en el desarrollo de la actividad hortícola con organizaciones de mujeres en las provincias de Guanacaste y Puntarenas (Ramírez 2020).

Para Jiménez *et al* (2007), los productores de chile dulce han venido sembrando principalmente el tipo “Lamuyo”, cuya principal característica es que la planta presenta frutos con punta alargada, su maduración es a color rojo y tienen un peso que ronda entre 150 a 350 g, lo que los ha hecho en los chiles preferidos por el consumidor costarricense. Según Morales y Rodríguez (2010) citado por Ramírez *et al* (2018), el rendimiento promedio nacional de este tipo de chile dulce es de 15 t/ha, lo que significó una media de 0,6 kg/planta (p.14). 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).

Aunque el mercado costarricense está dominado por la comercialización del chile tipo Lamuyo, se debe analizar que hay otras variedades de chile; como el tipo Bell, que, aunque no tienen una alta demanda en nuestro país, si lo tiene a nivel de mercados internacionales, lo que podría abrir una oportunidad para los productores de hortalizas que quieran incursionar en un negocio diferenciado para expandirse tanto en áreas como en mercados. En el tipo Bell, la debilidad que se presenta es la poca información existente sobre la adaptación de esta especie a lo largo del año bajo condiciones del trópico seco y además, los costos de producción asociados a la viabilidad de exportación hacia los socios comerciales más importantes de Costa Rica. A nivel del Continente Americano, México lidera la exportación de chile tipo Bell a nivel mundial, quien alcanzó en el año 2017, una producción de 150 304 toneladas, lo que significó un ingreso para ese país de 153,7 millones de dólares (El Heraldo 2017).

Una investigación desarrollada por Carrillo (2016), se logró determinar que fue posible alcanzar rendimientos productivos a nivel experimental en el cantón de Cañas, de 3,43 kg por planta, con el híbrido de chile dulce tipo Bell F1 Polaris, con una densidad de 2,08 plantas por metro cuadrado sin poda, esto en un invernadero multi capilla, lo que ha dado señales positivas del potencial de producción en Guanacaste y a su vez a identificado los retos que enfrenta esta explotación agrícola, como es el alto costo de los sistemas de producción tradicionales en

ambiente protegido, principalmente el invernadero, los cuales pueden llegar a representar el 23% de la inversión inicial, pero son necesarios para cumplir con los requisitos fitosanitarios y cuarentenarios de países como Estados Unidos de Norteamérica.

Este país es uno de los importadores más importantes de chile Bell a nivel mundial, pero tiene una serie de regulaciones para el ingreso, entre las cuales se encuentra la obligación de contar con un certificado emitido por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG), donde se compruebe que la zona donde se ubica el proyecto es de baja prevalencia de la mosca de la fruta *Anastrepha obliqua*, o que se acepta la presencia de la plaga a un nivel inferior del nivel de población especificado.

Además, a estos requisitos, es obligatorio producir en un ambiente confinado en el cual el cultivo se aisle del medio ambiente, para evitar el ingreso de plagas, como es el caso de los invernaderos con cobertura plástica, los cuales son una de las principales alternativas, pero debido a sus altos costos y la falta de diseños apropiados para mitigar los efectos de la alta temperatura y baja humedad relativa característicos de Guanacaste, es que se hace necesario buscar otras alternativas de protección, que permitan cumplir las normas y generar nuevas opciones productivas en la Región Chorotega (Ramírez *et al*, 2010).

Una alternativa de ambiente protegido, que cumple con las regulaciones del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), son las casas de mallas, las cuales son estructuras provistas por paredes y techo de malla anti insecto, cuya función es controlar mecánicamente el ingreso de plagas insectiles al interior del módulo. Estos sistemas de producción presentan varias ventajas con respecto a los invernaderos, en primera instancia por tener un menor costo, además de una mayor tasa de ventilación que favorece el intercambio del aire, el cual regula la temperatura, sin la intervención de ventiladores eléctricos.

Por ejemplo, en el Estado de Tamaulipas en México, este tipo de explotación es empleada para la producción de chile dulce tipo Bell, ya que esta zona es el origen del mayor volumen de producción de este país, con fines de exportación, lo que

demuestra que este medio de cultivo es eficaz, para proteger el cultivo de las variaciones climáticas, para controlar la incidencia de plagas y garantizar el cumplimiento de los requisitos fitosanitarios exigidos por los países importadores (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP] 2013).

Costa Rica tiene una serie de ventajas estratégicas para la producción de chile dulce con fines de exportación como lo son su ubicación, las condiciones de alta luminosidad durante la mayor parte del año y su experiencia en la comercialización en mercados internacionales, por lo tanto, al no ser aprovechadas estas oportunidades, genera la siguiente interrogante: ¿Existe un rezago tecnológico y de transferencia de conocimiento en opciones competitivas de ambiente protegido, originado por la carencia de investigación y transferencia en la Región Chorotega, que ha limitado el potencial de comercialización tanto para mercado local como internacional de los diferentes tipos de chile dulce, incluyendo el Bell?

1.1. Antecedentes y justificación:

La provincia de Guanacaste y parte de Puntarenas se ubican dentro del Corredor Seco Centroamericano, una zona que abarca desde el Sur de México y culmina en Panamá, se caracteriza por la predominancia del bosque tropical seco y una susceptibilidad a los impactos meteorológicos desencadenados por el cambio climático (Van der Zee *et al*, 2012).

Según datos del INEC para el 2011, el sector agroalimentario de Guanacaste fue el mayor empleador de la provincia, con un 17,81% de la mano de obra total, asimismo, en cantones como La Cruz y Hojancha estos valores alcanzaron los 37,19 y 32,51% respectivamente. De igual forma, la provincia cultivó en el 2014, el 54,95% de la caña de azúcar, el 74,69% del melón, el 41,53% del arroz y poseía el 22,01% de las cabezas de ganado de todo el país (INEC 2015). Estos datos reflejan la importancia económica y social del sector agroalimentario en la zona, a pesar de los periodos de sequía que experimenta esta Región, atribuido a las variaciones climáticas producidas por el fenómeno de El Niño.

Un estudio de PIMA (2013), estimó que la oferta de consumo de los guanacastecos para ese año fue de 5 804 toneladas métricas anuales entre cebolla, chile, tomate, pipián y chile picante, pero en total se necesitan de 39 282 toneladas para cubrir las necesidades de consumo total de hortalizas. En Guanacaste se cultivaban (excluyendo pasturas) aproximadamente 208 tipos diferentes de plantas y árboles (incluye forestales) en un área de aproximadamente 114 229 hectáreas distribuidas en 23 142 unidades de producción. Dentro de los cultivos hortícolas los más destacados, según el área de siembra son: la sandía con 558 ha, el chile dulce con 87 ha, el tomate con 67 ha y el pipián con 43 ha (INEC 2015).

La producción de hortalizas tradicionalmente, fue una actividad que se realizaba exclusivamente en la Meseta Central de Costa Rica, ya que se desconocía que, en las zonas de bajo piso altitudinal, se pueden desarrollar sistemas hortícolas adaptados a las condiciones ambientales del Pacífico Norte. A partir del año 2001, diferentes centros de investigación, incluyendo el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, ubicada en la provincia de Guanacaste, inició un proceso de investigación y transferencia cuyo propósito fue generar tecnologías para la adaptación de diferentes especies hortícolas como el chile dulce, a las condiciones agroecológicas de sitios que se encuentran por debajo de los 100 m.s.n.m.; como lo es en caso de muchas comunidades de las Regiones Chorotega y de la Pacífico Central.

Esta acción se realizó debido a que, en estas zonas predominaban actividades agropecuarias extensivas, como: el arroz, la caña de azúcar y la ganadería; lo que limitaba el posicionamiento de sistemas intensivos y escalonados, que permitieran a los productores no solamente contar con nuevas opciones productivas; sino también, fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional de los habitantes de estas provincias. Por su parte los pueblos pertenecientes a comunidades cercanas a la costa, especialmente en el Golfo de Nicoya, tienen como su principal actividad económica la pesca, pero debido a los periodos de veda, los ingresos de las familias se ven seriamente disminuidos, lo que ocasiona que estos lugares no cuenten con

suficientes oportunidades laborales, especialmente para mujeres, comparado con las zonas urbanas (INEC 2019).

En la actualidad, aunque se cuenta con una base tecnológica para la producción de hortalizas bajo coberturas plásticas, que ha permitido expandir las áreas de producción a todo el territorio nacional, hay que ser consciente, que se avecinan nuevos retos en la agricultura, 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 con la apertura del Mercado Regional Chorotega, que tiene como premisa dinamizar la economía de esta región (PIMA 2020). Sumado a esto, se deben desarrollar estrategias que permitan explorar el ingreso a mercados internacionales con productos que tengan una alta demanda, como es el caso del chile tipo Bell.

El cultivo de chile dulce, es una de las actividades hortícolas con mayor extensión en Guanacaste (INEC 2015), ya que esta especie se adapta a diferentes entornos, lo que ha motivado a los productores a su siembra. La importancia de este trabajo de investigación radica en la búsqueda de mejorar las técnicas de producción de este cultivo, enfocado en un uso eficiente del recurso hídrico y en desarrollar nuevos sistemas productivos en ambiente protegido que permitan no solo aumentar los rendimientos y la inocuidad del producto; sino también cumplir con 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.

Objetivo General:

Analizar la interacción de las condiciones ambientales generadas en cuatro sistemas productivos sobre el rendimiento, calidad y adaptabilidad de cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell, durante la época seca de diciembre del 2019 a mayo del 2020, en el cantón de Cañas.

Objetivos específicos:

- Determinar los rangos de: temperatura, humedad relativa y radiación en cada uno de los sistemas productivos y su efecto en el desarrollo vegetativo de cada cultivar, mediante el uso de sensores de clima, durante los meses de diciembre del 2019 a mayo del 2020.
- Evaluar el rendimiento productivo de cada cultivar, mediante una clasificación por la calidad de la fruta obtenida en cada uno de los sistemas productivos, durante los meses de diciembre del 2019 a mayo del 2020.
- Determinar los niveles de transpiración y la eficiencia del uso del agua por cada kilogramo de chile producido, en cada uno de los sistemas productivos, durante los meses de diciembre del 2019 a abril del 2020.
- Realizar un análisis económico mediante una relación costo-beneficio para diferenciar la rentabilidad de cada uno de los sistemas productivos.

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades del cultivo de chile (*Capicum annumm*)

El chile es una planta cuyo origen botánico se encuentra en América del Sur, concretamente en el área comprendida entre Perú y Bolivia, de donde se expandió al resto de América. Esta especie una vez descubierta por los españoles fue domesticada en México y enviada a España en 1493, para extenderse a lo largo de otros países de Europa, Asia y África durante el siglo XVI, convirtiéndose en una de las hortalizas más importantes del mundo (Maroto 1995).

Aunque las plantas de los diferentes tipos de chiles siempre se han encontrado en estado natural, fue labor del ser humano mejorar el genotipo de las diferentes especies, para desarrollar nuevos cultivares con mejores características para el consumo o la industria. Es así como el chile dulce tipo Bell, inició el proceso de mejoramiento en 1908, en los Estados Unidos de Norteamérica por Gregor Carrillon y continuó en ese mismo país por Carrol Briggs en la década de 1920, quien logró desarrollar frutos bien formados, jugosos, crujientes y grandes, que se convirtieron en los favoritos de la población estadounidense (Urban Farmer 2020).

2.2. Morfología

La planta de chile dulce es un pequeño arbusto que presenta un crecimiento indeterminado, con un sistema radicular dotado de numerosas raíces adventicias, cuya profundidad puede llegar a 1 m. El tallo es frágil, erecto y herbáceo. Su crecimiento es simpódico, lo que quiere decir que el eje principal tiene un límite en su crecimiento para dar paso al desarrollo de las ramas laterales, en donde cada bifurcación se producen flores que generalmente son solitarias. Si las plantas presentan un libre desarrollo, las primeras seis a doce flores llegan a fructificación, pero debido a la alta demanda de asimilados es común que se presenten altos porcentajes de aborto en flores, lo que además limita en ese momento el crecimiento de la planta. Una vez iniciada la cosecha continua la producción de flores, cuaje de frutos, los cuales son una baya hueca y se reactiva el crecimiento de la planta (Marcelis *et al*, 2004; Cruz *et al*, 2009).

2.3. Fenología

Para Mundarain *et al* (2005) citado por Moreno *et al* (2011), la fenología comprende el estudio de los fenómenos biológicos vinculados a ciertos ritmos periódicos o fases y la relación con el ambiente donde ocurren. Este mismo autor señala que en su ciclo ontogénico, los vegetales pueden experimentar cambios visibles, que están en estrecha relación con el genotipo, el ambiente en que se desarrollan y la combinación entre éstos; el resultado del complejo de interacciones, ocasiona amplias respuestas de los diferentes cultivos y variedades.

En el cultivo de chile dulce las plántulas desde el momento que se coloca la semilla, para su germinación hasta el trasplante transcurren entre 35 a 40 días, una vez que las plantas tengan de 12 a 15 cm de alto, con un tallo de 5 a 7 mm de grosor y entre cuatro a cinco hojas verdaderas. El periodo de floración oscila entre 70 a 93 días después del trasplante (ddt), con mayor ocurrencia al inicio de ese periodo. La maduración de frutos sucede a los 85 días en las variedades más precoces y a los 107 días en las más tardías (Fernandes *et al*, 2004).

Dentro de las variedades de fruto dulce se pueden diferenciar tres tipos de chiles:

2.3.1. Tipo Bell:

Los frutos son cortos (7 a 10 cm), anchos (6 a 9 cm), con tres o cuatro lóbulos muy marcados, con el cáliz y la base del pedúnculo está por debajo o a nivel del extremo superior de los lóbulos conocido como hombros y con un mesocarpio relativamente grueso (3 a 7 mm). En el norte de México estos cultivares son los más exigentes a condiciones óptimas de temperatura, por lo que la plantación se realiza temprano (desde mediados de mayo a comienzos de agosto, dependiendo de las condiciones climáticas), para alargar el ciclo productivo y evitar problemas de cuajado con el descenso excesivo de las temperaturas nocturnas (INIFAP 2013).

2.3.2. Tipo Lamuyo:

Denominados así en honor a la variedad obtenida por el INRA francés, con frutos largos y cuadrados de mesocarpio grueso. Las variedades pertenecientes a este tipo suelen ser más vigorosas (de mayor porte y entrenudos más largos) y menos

sensibles al frío que los tipos Bell, por lo que es frecuente cultivarlos en ciclos más tardíos (INIFAP 2013).

2.3.3. Tipo dulce italiano:

Los frutos son alargados, estrechos, acabados en punta, de mesocarpio fino, más tolerantes al frío, que se cultivan en zonas templadas normalmente en ciclo único, con plantación tardía en septiembre u octubre y recolección entre diciembre y mayo, con producciones de 6 a 7 kg por metro cuadrado (ABCAGRO 2012)

2.4 Rendimiento y calidad

El rendimiento del chile varía según el sistema de cultivo donde se produce y el periodo en que se realiza la siembra. Según estadísticas sobre cosecha publicadas por la FAO (2019 c), para el año 2018, sin diferenciar el tipo de chile y el sistema productivo donde se cultivó, la producción mundial fue de 18 470 kg por hectárea (kg/ha). Pero países como España presentan rendimientos promedios de 65 000 kg/ha con el chile tipo Bell producido en invernadero (Reche 2010). Por su parte El INIFAP (2013) reporta rendimientos de 46 000 kg/ha por ciclo productivo, en el Estado de Tamaulipas con el híbrido F1 Abadía producido en casa de malla. En Costa Rica, una investigación desarrollada por el INTA para evaluar la adaptabilidad de nueve cultivares de chile dulce en el invernadero ubicado en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, en la provincia de Guanacaste, obtuvo un rendimiento de 39 600 kg/ha, con chile tipo Bell F1 All Big (Ramírez *et al*, 2012a). En alusión Carrillo (2016), en el mismo Centro Experimental llegó a producir 71 400 kg/ha, utilizando el híbrido de chile Bell con maduración a amarillo F1 Polaris, sin ningún tipo de poda, con una densidad de 2,08 plantas por metro cuadrado.

En Costa Rica el reglamento técnico para el consumo fresco de chile dulce emitido por el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) rige las normas de calidad únicamente para el chile tipo Lamuyo, para lo cual se toma en consideración aspectos de longitud y el grado de daños externos (Gaceta 2007).

Para el chile tipo Bell, no existe ningún tipo de parámetros para clasificar la calidad de las frutas por lo que se debe acudir a información generada por empresas ubicadas en territorio nacional y que han exportado a Estados Unidos como es el caso de la empresa Del Monte (cuadro, 1).

Cuadro 1. Normas de clasificación de la calidad de fruta de chile Bell, empleada por la empresa Del Monte en el año 2010.

Chile de primera	Chile de segunda	Chile de rechazo
Largo y ancho mínimo de 7,5 cm x 7,5 cm. Con puntas bien definidas y sin manchas, estrías o grietas	Largo y ancho menor de 7,5 cm x 7,5 cm. Con puntas deformes. Manchas y heridas < 1 cm ² y estrías y grietas < 3 cm	Largo y ancho menor de 7,5 cm x 7,5 cm. Muy deformes. Manchas, heridas y quemaduras del sol > 1 cm ²

Fuente: Carrillo 2016.

Carrillo (2016), en una evaluación realizada en Guanacaste empleó los parámetros de calidad de Del Monte para el chile dulce tipo Bell Polaris F1 y determinó que, si se utiliza una densidad de siembra de 2,08 plantas por metro cuadrado, sin utilizar ningún tipo de poda, se lograba obtener un 19,39% de frutos de primera, un 57,02% de frutos de segunda y un 23,35% de frutos de tercera.

2.5 Cultivos protegidos

El ambiente protegido es toda barrera física entre el cultivo y el medio ambiente, con la finalidad de crear un microclima favorable donde se pueda dar un desarrollo óptimo de las plantas, una reducción en la presión de plagas, con cosechas de mayor calidad y alto valor remunerativo (Ramírez *et al*, 2010).

2.5.1. Invernaderos

Es una instalación cubierta y abrigada artificialmente con materiales transparentes para proteger las plantas del medio ambiente (Serrano 1994). Debido al confinamiento del aire en el interior de las estructuras se produce una modificación en el interior del recinto que se conoce como el clima espontáneo de los

invernaderos, el cual consiste a una variación, especialmente de la temperatura, que se traduce en saltos térmicos (aumento de la temperatura en el interior con respecto al exterior del invernadero) para condiciones tropicales (Ramírez *et al*, 2010).

Las diferencias del clima espontáneo con respecto al externo al invernadero dependerán de una serie de aspectos, como lo son: el diseño de la estructura, ubicación, época del año, etc. (Castilla 2005). Un estudio para evaluar la adaptabilidad de cinco cultivares de chile dulce en un invernadero multi capilla, realizado en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, ubicada en Cañas, Guanacaste, durante los meses de octubre del 2010 a marzo del 2011, registró la mayor temperatura en el mes de marzo, con un promedio de 38,9 °C, lo que significó un salto térmico de 4,1 °C con respecto a la temperatura externa, mientras que el máximo valor promedio de la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR por sus siglas en inglés), una vez que atravesó una cobertura plástica transparente de 150 micras, fue de 172,7 watts · m⁻², obtenida en el mes de febrero (Ramírez *et al*, 2012b).

2.5.2. Casa de malla

Las casas de malla son una opción tecnológica que ofrece la agricultura protegida como alternativa intermedia entre el cultivo de campo abierto y el cultivo bajo invernadero. Con la implementación de estas estructuras se busca transformar el uso de la tierra de extensivo a intensivo o propiciar la producción agrícola en sistemas alternativos y sostenibles con la finalidad de generar la oferta necesaria para satisfacer la demanda de alimentos de alta calidad a lo largo del año (Bartzanas *et al*, 2012). Este tipo de estructuras se construyen sobre columnas metálicas y cables de soporte donde se instala un techo y paredes laterales generalmente hechas de pantallas porosas, que restringen el ingreso de insectos y favorece el sombreado (Teitel *et al*, 2017).

La adopción de este tipo de tecnología ha tomado un gran auge desde finales de la década de los 90 y en la actualidad es un componente relevante de los sistemas de cultivo bajo cubierta, que se ha extendido gradualmente desde los países de la costa

mediterránea a regiones en otras latitudes, principalmente con climas templados o cálidos (Tanny y Cohen, 2003) y para diferentes tipos y métodos de cultivo (Shahak 2008). Comercialmente existe una gran variedad de mallas que difieren en tipos de material, color y porosidad; estas características afectan sus propiedades ópticas y aerodinámicas, por lo tanto, han sido fuertemente estudiadas y modificadas, en busca de mejorar las condiciones micro climáticas generadas en el interior de las casas de malla (Manja y Aoun, 2019; Tanny 2013).

De acuerdo con el material de fabricación de la pantalla porosa utilizada y sus propiedades, se buscan diversos objetivos de beneficio agrícola tales como: (i) sombreado para regiones donde la radiación solar es excesiva y con valores supra-óptimos (Möller *et al*, 2010); (ii) reducción de la vulnerabilidad de los cultivos al daño por eventos meteorológicos tales como granizadas heladas y ráfagas de viento (Ilić *et al*, 2015; Mahmood *et al*, 2018); (iii) limitación de inversiones térmicas (reducción de la temperatura en el interior del ambiente protegido) provocado por pérdida energética por radiación en las noches (Castilla 2005); (iv) exclusión de insectos y vectores transmisores de virus, lo cual permite reducciones significativas de la aplicación de pesticidas (Pirkner *et al*, 2014; Tanny 2013); y (v) aumentar el uso eficiente del agua, extender el periodo de crecimiento de las plantas y retrasar el proceso de maduración de algunos productos hortofrutícolas (Tanny *et al*, 2006; Teitel *et al*, 2015).

Además de los beneficios mencionados anteriormente, este tipo de estructuras se ha popularizado y extendido entre los agricultores debido a que la facilidad en las técnicas de construcción y la menor inversión, comparado con los invernaderos, lo que hace que la relación costo-beneficio sea mayor. (Mahmood *et al*, 2018).

2.6. Índice de Área Foliar (IAF)

La captación de la radiación proveniente del sol por parte de las hojas es fundamental para la transformación de energía lumínica en materia vegetal o biomasa, lo que establece que las primeras fases fenológicas de los cultivos, son las menos eficientes, debido a la poca interceptación de luz, por el pequeño tamaño de las hojas, aspecto que cambia exponencialmente conforme se desarrollan los

cultivos, siempre y cuando no haya factores que limiten su crecimiento, como la falta de agua o temperaturas inadecuadas (Castilla 2005).

Según Castilla (2005), el índice de área foliar (IAF) es un parámetro básico que relaciona la superficie de área foliar de una planta (cm^2) por unidad de superficie de terreno (m^2), el cual como principal característica será mantener índices altos, durante gran parte del ciclo de los cultivos con crecimiento indeterminado, debido a la producción constante de hojas nuevas.

En especies con mecanismo fotosintético C3, como es el caso de *Capsicum annuum*, se considera necesario un IAF entre 3 y 4, para que la interceptación de radiación sea de un 95%, cuando se utiliza una densidad de siembra usual para este cultivo (Giménez 1992). En alusión Lorenzo y Castilla (1995), indican que, en la zona mediterránea de España, el cultivo de chile dulce tipo Bell, cuando se emplea una densidad de plantación elevada permite conseguir un IAF de 5, mientras que cuando se utilizan bajas densidades se alcanza un IAF de 3,2.

2.7. Sólidos Solubles Totales

El contenido de sólidos solubles totales es empleado comercialmente como índice de calidad del fruto por guardar una alta correlación positiva con el contenido de azúcares, siendo los grados Brix ($^{\circ}\text{Brix}$) el método para medir la concentración de solutos presentes en alimentos expresados en porcentaje de sacarosa mediante un instrumento que refracta de la luz. Los sólidos solubles están compuestos por los azúcares, ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua presentes en la estructura de las células de las plantas (Silva *et al*, 2003).

Una evaluación para determinar la calidad pos cosecha del chile tipo Bell en Sinaloa, México, obtuvo un valor promedio de 7,17 $^{\circ}\text{Brix}$ en plantaciones sin ningún tipo de protección de ambiente protegido y de 8,12 $^{\circ}\text{Brix}$ cuando la plantación se encontraba bajo una casa de malla con sistema de sombreo (Báez *et al*, 2015).

2.8. Requerimientos agroclimáticos

2.8.1. Temperatura

La temperatura es el factor más importante a tomar en cuenta en zonas tropicales, ya que la actividad fotosintética tiene una clara respuesta a la temperatura, la cual muestra un mínimo sobre los 5 °C y alcanza el óptimo entre los 25 a 35 °C en la mayoría de las especies hortícolas, presentando una disminución a valores superiores (Urban 1997).

Para Acuña (2003), según las necesidades de los cultivos, los niveles de temperatura se pueden llegar a clasificar en:

Temperatura mínima letal: aquella por debajo de la cual se produce daño irreversible en la planta (heladas).

Temperaturas máximas y mínimas biológicas: valores por encima o por debajo de los cuales no es posible que la planta realice correctamente sus funciones, lo que puede llegar incluso a detener su crecimiento y desarrollo.

Temperaturas óptimas: son las temperaturas ideales para el adecuado desarrollo del cultivo, tanto en horas diurnas como nocturnas.

2.8.2. Humedad relativa

La humedad atmosférica es uno de los factores climáticos que influye en la tasa de transpiración de las plantas. La suma del agua evaporada por el suelo y la transpirada por el cultivo, es lo que se denomina evapotranspiración (ET) (Castilla 2005).

Un adecuado nivel de vapor de agua en el interior de los invernaderos tiene el potencial para disminuir la temperatura del aire y favorecer el intercambio gaseoso de las plantas con el ambiente a través de los estomas. De aquí la importancia de monitorear constantemente el contenido de humedad, para determinar si la condición ambiental en que la planta se desarrolla, es conveniente para un óptimo crecimiento (Ramírez *et al*, 2010).

La humedad relativa ideal para cultivos hortícolas bajo coberturas plásticas, contemplando la evapotranspiración del cultivo se encuentra entre 60 y 80%. Por ejemplo, los cultivos de la familia de las solanáceas producidos bajo las condiciones ambientales de Israel, se estima que transpiran entre 400 a 600 litros por hora por cada mil metros cuadrados de invernadero, por lo tanto, se debe calcular la reposición exacta de agua sin distorsionar la humedad (Esquira 2002).

2.8.3 Radiación

La radiación es un conjunto de ondas electromagnéticas proveniente del sol, las cuales contemplan una amplia gama de longitudes de onda, pero son las comprendidas entre los 400 y 700 nanómetros las más importantes para las plantas verdes, ya que en estas se encuentran la radiación fotosintéticamente activa PAR (del inglés "Photosynthetic Active Radiation"), quienes son las que influyen directamente sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas (Castilla 2005).

Los niveles óptimos de radiación para cultivos como chile dulce, pepino y tomate oscilan entre 12 y 24 $W \cdot m^{-2}$ PAR y entre 12 y 48 $W \cdot m^{-2}$ PAR en berenjena y lechuga (Hanan 1998). Bajos niveles de radiación en la planta inducen hojas más pequeñas, entrenudos más largos, menor concentración de clorofila y menor peso seco, mientras que niveles demasiado altos de radiación, inducen la estimulación del crecimiento de ramificaciones, la proliferación de puntos de crecimiento y la posible destrucción de la clorofila (Langhams y Tibbitts, 1997).

2.9. Eficiencia del uso del agua

La eficiencia en el uso del agua (EUA) de las plantas está influenciada por el volumen de agua que éstas necesitan consumir (evapotranspirar) para realizar sus procesos metabólicos, las cuales depende de las características genéticas de cada especie y de las condiciones ambientales en que se desarrollan (Medrano *et al*, 2007). La información que se genera a través de la EUA, debe servir de base para hacer un mejor uso económico y social del agua, mediante la identificación de tendencias en los patrones de uso y niveles de eficiencia, con el fin de generar políticas y estrategias de utilización de manera sostenible (FAO 2003).

Para la determinación de la eficiencia del uso del agua para riego, se debe conocer la evapotranspiración de cultivo (ETc), la cual se refiere a la pérdida de humedad del suelo y de las plantas, que se desarrollan libre de enfermedades, con buena fertilización, que crecen en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo y el cual alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas, siendo esta el resultado de multiplicar la evapotranspiración de referencia (Eto) por un coeficiente de cultivo (Kc) (FAO 2006).

Un estudio realizado por González *et al* (2014), con una base de datos de 30 años, con los registros de riego en Cuba, para conocer la productividad agronómica del agua utilizada para el riego (WP) de 17 especies agrícolas, determinó para el cultivo de chile dulce una variación de 3,10 a 26,20 kg · m⁻³, lo que indica que el agua necesaria ya sea para evapotranspiración y/o transpiración para la producción de biomasa, es un factor que poco se toma en cuenta para mejorar los cultivos.

La capacidad de transpiración de una planta está determinada fundamentalmente por elementos genéticos, estimándose para plantas C3 como el chile dulce, una relación transpirativa de 500 litros de agua por cada kilo de materia seca (Castilla 2005). En sistemas productivos bajo ambiente protegido como lo son los invernaderos o las casas de malla, se esperaría una mayor eficiencia en el uso del agua en comparación con los sistemas a campo abierto, debido a una menor evapotranspiración del cultivo derivado por una disminución de la radiación y un menor contacto con el viento, lo que generaría un mayor rendimiento productivo (Jolliet 1999).

Colino y Martínez (2002), señalan que desde el punto de vista económico los cultivos bajo ambiente protegido presentan una mayor remuneración económica por unidad de agua utilizada, los cuales han llegado a generar en la Comunidad Autónoma de Almería en España, un ingreso total de 6,12 euros por cada metro cúbico consumido, comparado a 1,60 euros por metro cúbico a nivel de campo abierto.

2.10. Economía de la producción

La economía en la actividad agrícola vincula aspectos de los factores de la producción (trabajo, recurso humano, la tierra, las máquinas, las herramientas, los edificios y las materias primas) con el consumo de bienes y servicios por parte de la población. La función de producción especifica la cantidad máxima de un bien que puede producirse con una cantidad dada de factores o insumos, y se define para un estado dado del conocimiento tecnológico (Mochón y Beker, 2008).

La competitividad de los sistemas productivos está ligado a la eficiencia de los procesos, que tienen como objetivo la obtención de los mejores resultados a través de la maximización de los medios disponibles y que estos impliquen el menor costo posible (Ruffier 1998). Los costos fijos de producción dependerán del paquete tecnológico elegido, como por ejemplo el sistema de producción, mientras que los costos variables oscilarán dependiendo de la especie hortícola, la cual estará influenciada por el rendimiento, la prolongación del ciclo productivo y por las condiciones del mercado (Castilla 2005).

Según Caballero y Miguel (2002), el nivel tecnológico y el tipo de estructura de los sistemas de ambiente protegido, afecta los costos fijos, por ejemplo, en España, los invernaderos Mediterráneos de baja gama, el nivel de inversión corresponde a un 20% de los costos, mientras que los invernaderos de alta tecnología suponen el 40% de los costos totales en la producción de chile Bell.

La relación entre los beneficios y los costos o egresos de un proyecto, se basa en la relación entre el valor actual de las entradas de efectivo futuras y el valor actual del desembolso original. Según FAO (2019b), para conocer la sostenibilidad económica de una actividad productiva existen indicadores que permiten conocer la rentabilidad de los sistemas, como es la relación costo-beneficio (B/C), la cual cuantifica el balance de ingresos y egresos asociados a la implementación de un proyecto o política para el inversor y/o la sociedad a lo largo de un período de tiempo, comparándolo con escenarios alternativos de acuerdo al concepto de eficiencia económica.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de investigación

La investigación es cuantitativa, debido a que se reflejó la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos o problemas de la investigación derivados de una revisión de literatura, que convergió en una hipótesis, la cual fue sometida a un proceso de comprobación, a través del método científico, para que finalmente realizaran inferencias que permitieron aceptar o rechazar la hipótesis, basadas en las conclusiones y toma de decisiones.

3.2. Tipo de paradigma

El paradigma es positivista, debido a que el conocimiento generado por esta investigación, está organizado dentro de una estructura que cumple con todos los pasos del método científico, a través del uso de las ciencias empíricas, que permitió desarrollar con mayor rigor y objetividad al momento de procesar la información. Por lo tanto, las diferencias que se presentaron entre las variables evaluadas fueron únicamente atribuible a factores intrínsecos a cada tratamiento.

Con el fin de orientar todo el proceso científico se elaboró una matriz de operacionalización de las variables de la investigación, donde se pasó del marco teórico a un plano operativo, lo que permitió convertir a las variables en unidades observables y medibles (Cuadro 2).

Cuadro 2. Matriz de operacionalización de las variables de la investigación.

Objetivo específico	Variable	Conceptualización	Operacionalización	Instrumentalización	Indicadores
Determinar los rangos de: temperatura, humedad relativa y radiación en cada uno de los sistemas productivos y su efecto en el desarrollo vegetativo de cada cultivar, mediante el uso de sensores de clima, durante los meses de diciembre del 2019 a mayo del 2020.	Temperatura:	Medición de la temperatura máxima, mínima y promedio	Medición de la temperatura permanentemente en el interior y exterior de los sistemas productivos durante todo el ciclo del cultivo.	Sensores Hobos	Reducción en 1 °C la temperatura interna con respecto a la externa
	Humedad relativa:	Medición de la humedad relativa máxima, mínima y promedio	Medición de la humedad relativa permanentemente en el interior y exterior de los sistemas productivos durante todo el ciclo del cultivo.	Sensores Hobos	Aumento en un 10% la humedad interna con respecto a la externa.
	Radiación:	Medición de la radiación máxima, mínima y promedio	Medición de la radiación permanentemente en el interior y exterior de los sistemas productivos durante todo el ciclo del cultivo.	Sensores Hobos	Reducción en un 50% radiación en el interior con respecto al exterior.

Objetivo específico	Variable	Conceptualización	Operacionalización	Instrumentalización	Indicadores
Evaluar el rendimiento productivo de cada cultivar, mediante una clasificación por la calidad de la fruta obtenida en cada uno de los sistemas productivos, durante los meses de diciembre del 2019 a abril del 2020.	Rendimiento:	N° de frutos/planta, Frutos/m ² , t/ha, peso promedio de fruto.	Evaluación de cada fruto cuanto presente punto de cosecha	Balanzas	Frutos con pesos mayores a los 80 g
	Calidad:	Se distribuirá la producción en primera calidad, segunda calidad y rechazo.	Clasificación según especificaciones de exportación a EUA	Reglas métricas	Mas de 10% de frutos grandes
	Grados Brix:	Medición de concentración de azúcares en cada fruta	Muestreo de una sección de la fruta para determinar los grados Brix	Refractómetro	Grados Brix promedio mayores a 5
	Área foliar:	Se estimará el área foliar por planta a los 30, 75 y 120 d.t.t.	Muestreo de 3 plantas por cada cultivar en todos los sistemas productivos	Modelo matemático no destructivo propuesto por De Swart et al. (2004) con la siguiente fórmula: $AF = (0,61906) * L * W + (0,2060) * W^2 - (0,5142) * W$ Donde: AF= área foliar; L=largo de la hoja; W=ancho de la hoja	Plantas en A.P. con un 20% más de área foliar
	Índice de Área foliar (IAF):	Se deducirá el índice de área foliar en 3 plantas según cultivar sin destruir las hojas	Con base en el resultado de área foliar se calculará el índice de IAF	Fórmula de Escalante y Kohashi (1993).	IAF de 3 para cultivares bajo A.P.
	Altura de la planta:	Se medirá la altura de la planta desde la base del tallo hasta el ápice apical de la planta	Muestreo de 6 por cada tratamiento	Reglas	Plantas con altura de 1 m

Objetivo específico	Variable	Conceptualización	Operacionalización	Instrumentalización	Indicadores
Determinar los niveles de transpiración y la eficiencia del uso del agua por cada kilogramo de chile producido, en cada uno de los sistemas productivos, durante los meses de diciembre del 2019 a abril del 2020.	Contenido de humedad volumétrica por tratamiento.	Medición de la humedad volumétrica del suelo	Evaluación una vez por semana en cada sistema productivo	Reflectómetro de dominio de tiempo (TDR)	Humedad de suelo en A.P. de 60%
	Evapotranspiración del cultivo (ET_c)	Medición de la evaporación	Evaluación diaria en cada uno de los sistemas productivos utilizando el método de balance de agua en el sistema	Tanque evaporímetro clase A (1,2 m de diámetro x 0,25 m de altura)	Reducción de un 20% en la Evapotranspiración en A.P.
	Productividad agronómica del agua utilizada por riego (WP)	La WP para los rendimientos de fruto comercial (WP _c) y total (WP _t)	El WP se calcula tomando en cuenta los registros de humedad volumétrica, ET _c y rendimiento productivo	Se calcula como el cociente entre rendimiento (kg) y la ET _c (m ³). $WP (kg \cdot m^{-3}) = \frac{R (kg)}{I (m^3)}$	Eficiencias mayores al 70% en sistema protegido

Objetivo específico	Variable	Conceptualización	Operacionalización	Instrumentalización	Indicadores
Realizar un análisis económico a cada sistema productivo mediante una la relación costo-beneficio para diferenciar la rentabilidad de cada uno de los tratamientos.	Relación B/C por tratamiento.	Evaluación de la rentabilidad de cada sistema productivo	El cálculo se efectúa tomando de base los ingresos y dividiéndolos entre los egresos	Se calculó dividiendo el ingreso entre los egresos	Relaciones B/C superior a 1,5

Fuente: Elaboración propia, 2020

3.4. Ubicación de la Investigación

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) (Fig.1). 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 msnm, dentro de la zona de vida Bosque Tropical Seco (Quesada 2007).



Fig. 1. Área experimental del ensayo

3.5. Diseño Experimental

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 (cuadro 3) y el factor B (subparcelas) se le asignó los cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell (Cuadro 4).

Para el análisis de la información se utilizaron los siguientes modelos de análisis:

3.5.1. Modelo lineal mixto para diseño bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas.

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + t_k + (\alpha\beta)_{ij} + P_{i(k)} + \varepsilon_{ijk}$$

μ = Media general.

α_i = Efecto fijo del i-ésimo nivel del factor asociado a la parcela grande.

β_j = Efecto fijo del j-ésimo nivel del factor asociado a la parcela pequeña.

t_k = Efecto aleatorio del k-ésimo bloque.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto fijo de la interacción entre las combinaciones de los niveles de los factores A y B.

$P_{i(k)}$ = Efecto aleatorio de la parcela grande dentro de bloque.

ε_{ijk} = Error experimental asociado a cada observación.

3.5.2. Modelo mixto para mediciones repetidas en el tiempo.

$$y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + t_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha t)_{ik} + (\beta t)_{jk} + (\alpha\beta t)_{ijk} + b_l + p_{i(l)} + s_{m(i)} + \varepsilon_{ijklm}$$

μ = Media general.

α_i = Efecto fijo del i-ésimo nivel del factor asociado a la parcela grande.

β_j = Efecto fijo del j-ésimo nivel del factor asociado a la parcela pequeña.

t_k = Efecto fijo del k-ésimo nivel del factor tiempo.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto fijo de la interacción entre las combinaciones de los niveles de los factores A y B.

$(\alpha t)_{ik}$ = efecto fijo de la interacción entre las combinaciones de los niveles de los factores A y t.

$(\beta t)_{jk}$ = efecto fijo de la interacción entre las combinaciones de los niveles de los factores β y t.

$(\alpha\beta t)_{ijk}$ = efecto fijo de la interacción entre las combinaciones de los niveles de los factores A, β y t.

b_l = Efecto aleatorio del l-ésimo bloque

$P_{i(l)}$ = Efectos aleatorios de parcela grande dentro de bloque los bloques

$sm_{(ii)}$ = Efecto aleatorio de la m-ésima unidad experimental dentro parcela grande y dentro de bloque

ε_{ijklm} = Error experimental asociado a cada observación.

3.6. Descripción de los factores

3.6.1. Parcela grande (Factor A): sistemas productivos

3.6.1.1. Casa de malla de 5m de altura

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) (Fig. 2 y A 1). En el interior del módulo se colocó una pantalla de sombreo para reducir la radiación.

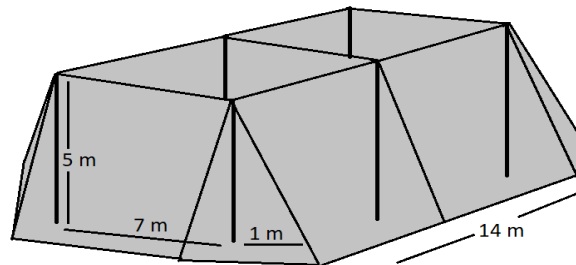


Fig. 2. Sistema productivo 1

3.6.1.2. Casa de malla de 3 m de altura

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) (Fig. 3 y A 1). En el interior del módulo se colocó una pantalla de sombreo para reducir la radiación.

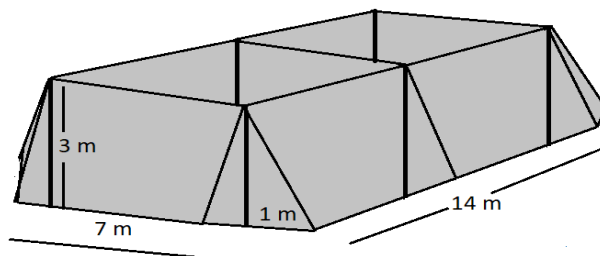


Fig. 3. Sistema productivo 2

3.6.1.3. Invernadero

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) (Fig. 4 y A 1).

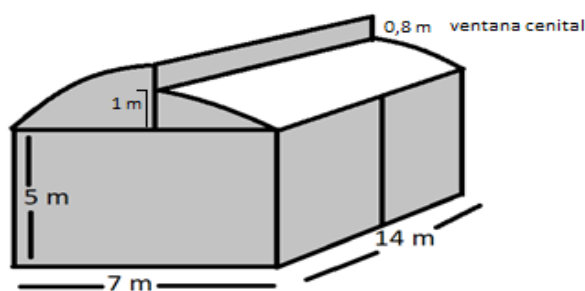


Fig. 4. Sistema productivo 3

3.6.1.4. Parcela sin protección

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.

Cuadro 3. Nomenclatura para descripción de los sistemas productivos.

Sistema productivo	Código
Casa de malla de 5 m altura	SP1
Casa de malla de 3 m altura	SP2
Invernadero	SP3
Parcela sin protección	SP4

Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.6.2. 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.

Cuadro 4. Nomenclatura para descripción de los cultivares de chile dulce.

Cultivar	Casa semillerista	Código
Canzion	Rijk Zwaan	01
Fabris	Rijk Zwaan	02
Rojo Americano	Villa Plant	03
Zidenca	Rijk Zwaan	04

Fuente: Elaboración propia, 2020.

La combinación de los factores dio como resultado un total de 16 tratamientos. 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 5. 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
	Zidenca	SP1-04
Casa de malla de 3 m de altura	Canzion	SP2-01
	Fabris	SP2-02
	Rojo Americano	SP2-03
	Zidenca	SP2-04
Invernadero de 5 m de altura	Canzion	SP3-01
	Fabris	SP3-02
	Rojo Americano	SP3-03
	Zidenca	SP3-04
Parcela sin protección	Canzion	SP4-01
	Fabris	SP4-02
	Rojo Americano	SP4-03
	Zidenca	SP4-04

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los almácigos se elaboraron en bandejas con sustrato inerte en el mes de agosto y se trasplantaron 30 días después.

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 $2,1 \text{ lh}^{-1}$ y una separación entre emisores de 0,20 m, donde se agregaron los fertilizantes por medio de un inyector de pistón hidráulico (Dosatron), impulsado por la presión del sistema, originado por una moto bomba de 1 Hp, el cual efectuó una reposición de 6 mm de lámina diaria, que es la evapotranspiración de referencia (ET_o) para esta época del año. En los primeros 15 días después del trasplante se utilizó un coeficiente de cultivo (kc) de 0,60, posteriormente hasta un mes antes de finalizar la cosecha de 1,1 y los últimos 30 días del ciclo productivo de 0,9. 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, con un factor de muestreo para Z_{α}^2 de $(1,96)^2$ y un error máximo permitido del 12%. Al ser los híbridos de chile dulce F1, la proporción de la población que posee la característica deseada se estimó que es cercano al 97% ($p=0,97$), lo que resultó en una muestra de 6 plantas por unidad de muestreo. 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 DGC, a un nivel de significancia del 5%. 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.

Para organizar las diferentes labores implícitas en la investigación, se diseñó un flujograma, donde se encadenan todas las acciones y tomas de decisión necesarias para llevar a cabo la evaluación; así como los componentes y las interacciones que participan en el proceso (Fig. 5).

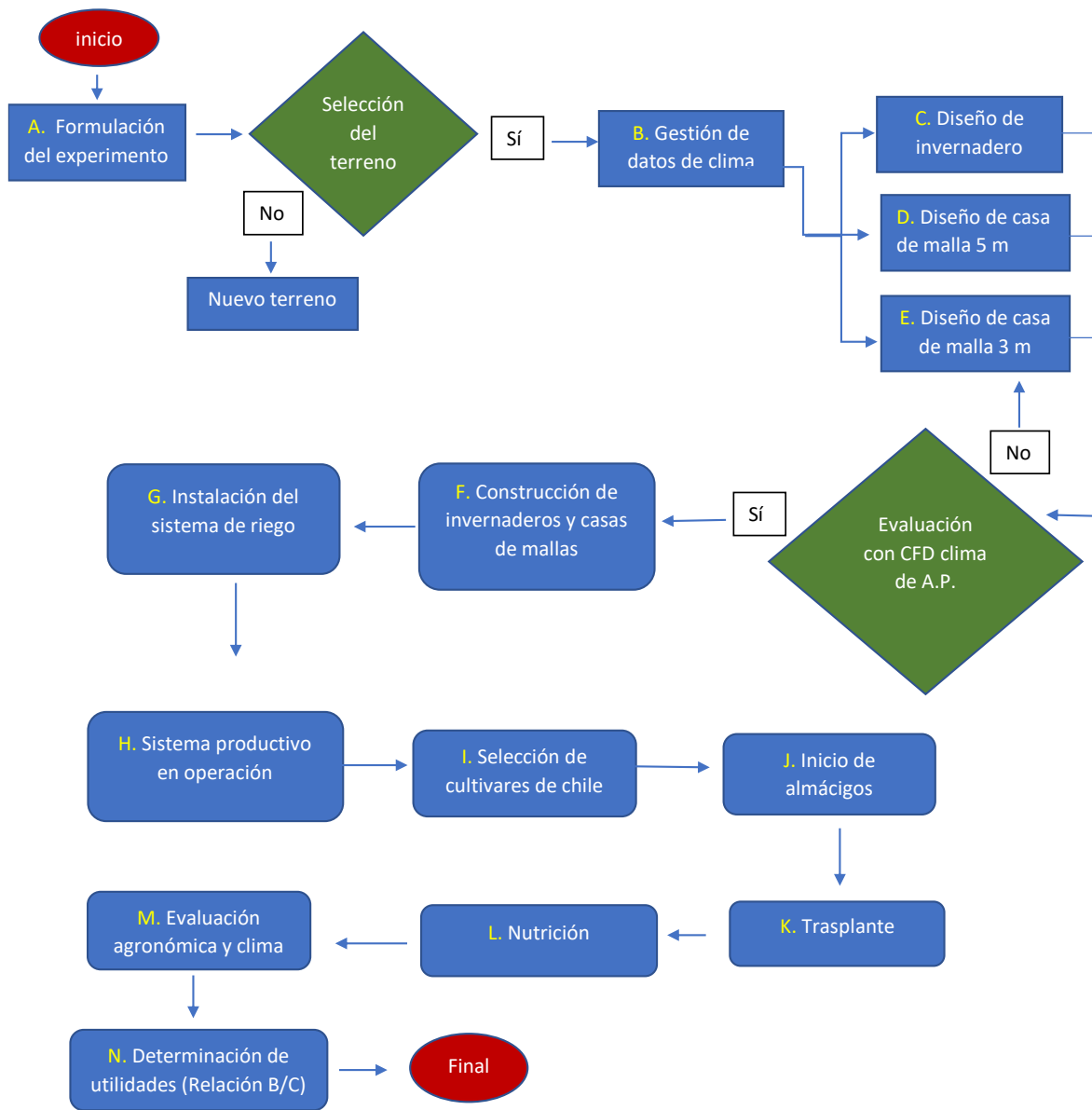


Fig. 5. Flujograma: Actividades para evaluación de la interacción genética de chile dulce en 3 sistemas de ambiente protegido

Fuente: Elaboración propia, 2020.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. 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 ($2,90 \text{ m}^2$), 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.

El tratamiento SP4 fue el que alcanzó el mayor número de frutas 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 6). Estos frutos no cumplieron con las normas de clasificación de la calidad de fruta de chile Bell (Cuadro 1), por presentar deformidades y quemaduras en la cutícula, por lo cual no tienen un valor económico en el mercado.

Cuadro 6. 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) y el cultivar. (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
Cultivar		
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 ($p \leq 0,05$)

Fuente: Elaboración propia, 2020.

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 6).

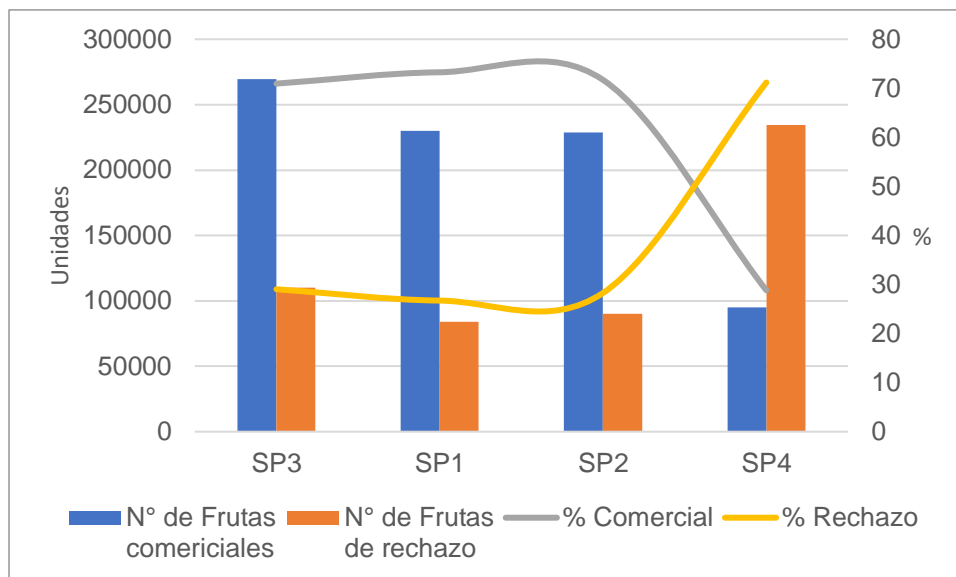


Fig. 6. Número y porcentaje de frutos comerciales y de rechazo por hectárea en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

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.

Con respecto al número de frutos comerciales extrapolado a una hectárea, utilizando una población de 20 833 plantas, se obtiene que en el invernadero (SP3), la casa de malla de 5 m (SP1) y la casa de malla de 3 m (SP2), existió un rango entre 228 885 a 269 371 unidades, lo que significó un promedio de 72% de frutos que cumplen con las normas de calidad para exportarse al mercado de los Estados Unidos de Norteamérica (Fig. 6).

Estos datos comparados con los de campo abierto, nos permitió deducir que el efecto que genera un sistema protegido, complementado con el uso de pantallas de sombreo (50% sombra), es un medio eficaz para reducir la radiación solar que llega a la planta, lo cual mejora la calidad y cantidad de frutas con potencial para exportación.

4.2. Peso de frutos

4.2.1. 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 (Cuadro 7).

Cuadro 7. 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

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

Fuente: Elaboración propia, 2020.

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, llegaron 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.

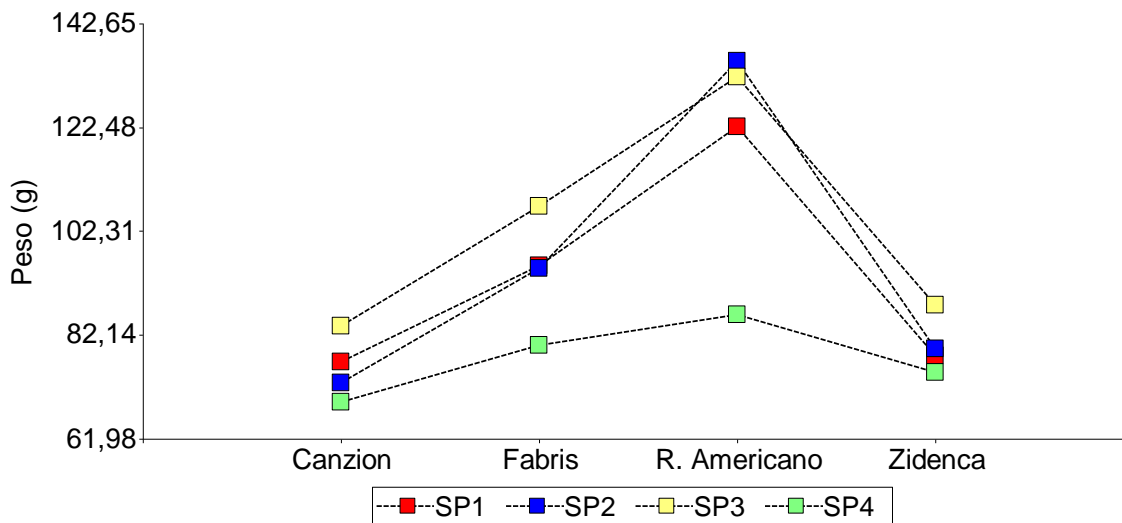


Fig. 7. Diferencias de peso (g) promedio de fruta comercial entre cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell, según el sistema productivo: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4) y los cultivares. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

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 (Fig. 7).

El uso de sistemas productivos de ambiente protegido para la producción de chile dulce tipo Bell, como lo fueron las casas de mallas o invernadero, demostraron ser un medio efectivo para aumentar el peso promedio de las frutas de los cultivares Rojo Americano y Fabris, ya que se se dio un incremento de un 34 y 19,31% respectivamente, con respecto al rendimiento obtenido en campo abierto. Esto nos indicó que las condiciones agroclimáticas generadas es estos sistemas, fue mejor en términos de adaptación, con respecto a las del medio ambiente, en el sitio y el periodo del estudio (Fig. A 2).

4.2.2. 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 (Cuadro 8).

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 en cuanto forma o presencia de quemaduras en la epidermis, lo que será un tema a mejorar en futuras investigaciones.

Cuadro 8. Peso (g) promedio de frutos 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) y el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Sistema productivo	Peso (g)
SP3	70,37 a
SP1	64,26 a
SP2	63,66 a
SP4	42,51 b
Cultivar	
R. Americano	74,62 a
Fabris	64,98 a
Zidenca	52,62 b
Canzion	48,57 b

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

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.3. 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 unidad de muestreo.

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 el mayor rendimiento en la unidad de muestreo comprendido por 6 plantas, en un área de $2,88 \text{ m}^2$, 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 (Cuadro 9).

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 9. 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) y el cultivar. (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
Cultivar			
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 ($p \leq 0,05$)

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los cultivares con el mayor rendimiento productivo de chiles comerciales por unidad de muestreo 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 (Cuadro 9).

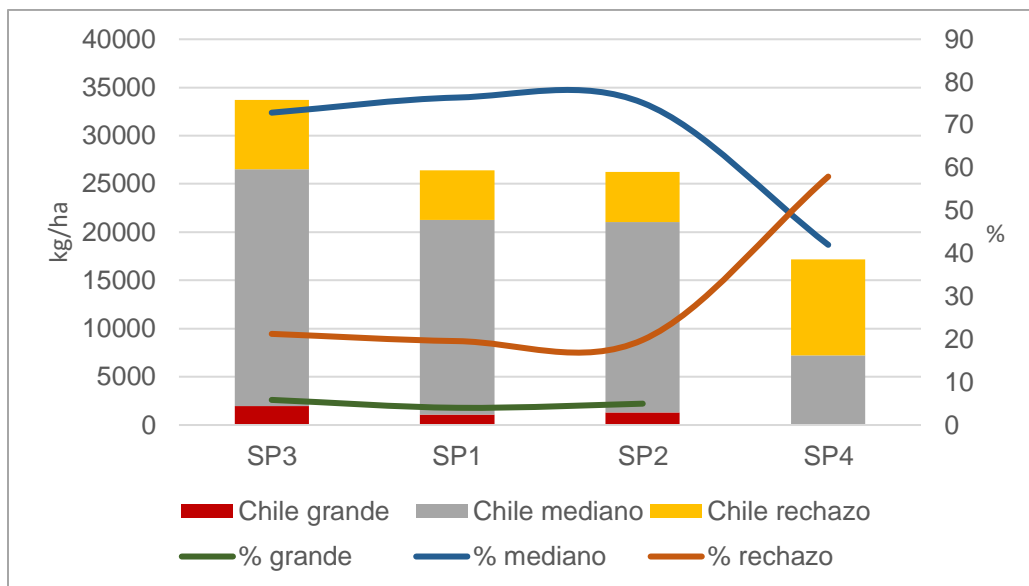


Fig. 8. Rendimiento productivo (kg/ha) y porcentaje (%) de frutos comerciales y de rechazo por hectárea en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Según las normas de calidad para exportar a los Estados Unidos de Norteamérica (cuadro 1), el chile dulce tipo Bell se puede clasificar en grande y mediano, dependiendo de las dimensiones de ancho y largo de la fruta (Ver apartado Calidad). 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 (Fig. 8). Este rendimiento supera el promedio mundial de chile dulce de 18 470 kg/ha (FAO 2019c), 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*, 2012a).

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, siguiendo el orden anteriormente descrito el rendimiento 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.

4.4. Calidad

4.4.1. 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 9,60 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 (Cuadro 10).

Cuadro 10. 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-Zidenca	6,36 c
SP1-Zidenca	5,77 d
SP4-Zidenca	5,67 d
SP2-Zidenca	5,50 d

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

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El cultivar Zidenca 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.

4.4.2. 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 (Cuadro 11).

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 Zidenca 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, lo que les resta un valor económico de alrededor de un 50% por cada kilogramo de fruta (Fig. A 3, A 4, A 5 y A 6).

Cuadro 11. 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) y el cultivar. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Sistema productivo	Ancho (cm)
SP3	6,37
SP2	6,05
SP4	5,95
SP1	5,94
Significancia ($p \leq 0,05$)	NS
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 ($p \leq 0,05$)

NS, *: No significancia ó significancia ($p \leq 0,05$) respectivamente

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.5. Grados Brix

No hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) en la interacción, ni de forma independiente en 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 (Fig. A 7).

Aunque las normas de calidad para exportación de chile dulce tipo Bell no especifica el nivel mínimo de grados Brix, si podemos 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 fueron menores, que el obtenido en el norte de México.

4.6. 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 Zidenca que desarrollaron un IAF promedio de 1,62 y 1,61 respectivamente (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
Zidenca	1,61 b

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

Fuente: Elaboración propia, 2020.

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 (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 ($p \leq 0,05$)

Fuente: Elaboración propia, 2020.

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 (Ver cuadro 15), 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.

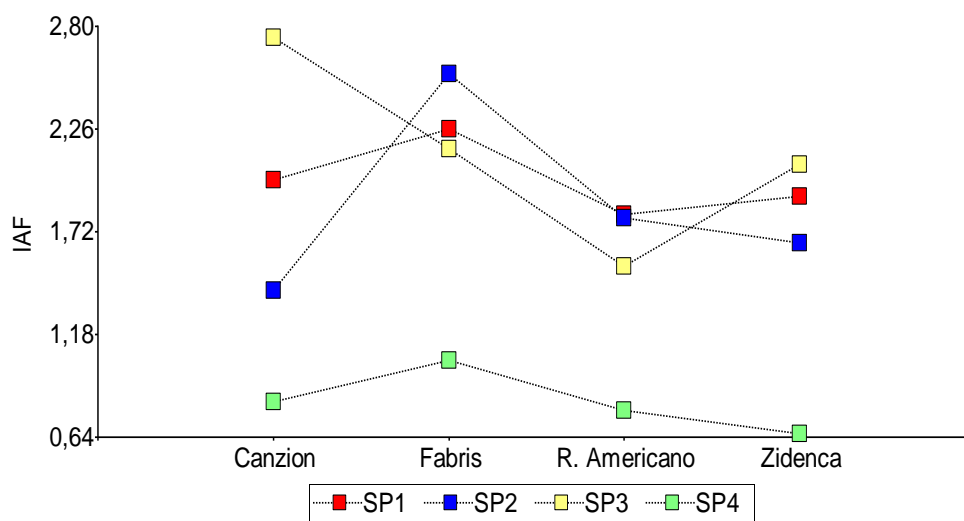


Fig. 9. Comportamiento del índice de área foliar (IAF) de cada cultivar de chile dulce tipo Bell, según el sistema productivo donde se sembró: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4). (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los cultivares Rojo Americano y Canzion, aunque desarrollaron diferentes niveles de IAF, fueron los que presentaron los mayores rendimientos productivos por unidad de área (Ver cuadro 9), sin que mostraran diferencias significativas entre ellos ($P > 0,05$), por lo que si se toma en cuenta que el manejo agronómico fue el mismo para todos los tratamientos, se demuestra que no solamente es importante un óptimo desarrollo de área foliar por las plantas, sino también el balance en la arquitectura de la misma (relación tallo, ramas y hojas), que conlleve a una mayor eficiencia en

la interceptación de la luz; así como en un mejor uso y aprovechamiento de los componentes del del proceso fotosintético para la conversión de foto asimilados.

Por su parte, 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 (Fig. 9).

4.7. 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) (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 (Ver cuadros 15, 16 y 17), lo que favorece en el crecimiento, asociado a un mayor IAF y número de entrenudos, donde se encuentran los meristemas 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 sistema de ambiente protegido (Ver cuadro 9).

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) y el cultivar. (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
Cultivar	
Canzion	102,22 a
Zidenca	96,94 a
R. Americano	90,03 b
Fabris	86,03 b

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

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los cultivares Canzion y Zidenca obtuvieron las máximas alturas con 96,94 y 102,22 cm, por tanto, mostraron diferencias significativas con Rojo Americano y Fabris que presentaron valores de 86,03 y 90,03 cm (Cuadro 14).

Al Relacionar el balance de crecimiento de los órganos aéreos de la planta de chile dulce, se pudo deducir que Rojo Americano, fue quien tuvo una mayor eficiencia, para la producción de foto asimilados, ya que las plantas de este cultivar fueron más pequeñas y con un IAF menor a Canzion, pero lo igualó en el rendimiento productivo.

4.8. EVALUACIÓN CLIMÁTICA

4.8.1. Temperatura

La temperatura ambiental que se genera en un sistema, ya sea de ambiente protegido o a campo abierto está relacionado a la inercia térmica proveniente de la capacidad térmica que tiene un suelo para absorber la energía proveniente del sol y luego reemitirla hacia su entorno en forma de ondas del infra rojo largo (Berninger 1989).

4.8.2. 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) (Cuadro 15).

Según Urban (1997) la actividad fotosintética tiene una clara respuesta a la temperatura, la cual alcanza el óptimo entre los 25 a 35 °C en la mayoría de las especies hortícolas, como el chile dulce. Con este parámetro podemos determinar que desde las 09 hasta las 15 horas las temperaturas alcanzadas indistintamente del sistema productivo están muy cercanos del límite superior del rango de suficiencia fotosintética, lo que indica que este lapso del día es el más crítico para el funcionamiento fisiológico y de crecimiento de las plantas de chile dulce.

El clima espontáneo, referido a la temperatura que se alcanzó a través de un equilibrio térmico en el interior de las estructuras de ambiente protegido, sin la intervención de sistemas de ventilación forzada o nebulización, fue menor con respecto a campo abierto, lo que se considera una inversión térmica (Castilla 2005). Este aspecto es relevante porque en la época seca de la Región Chorotega, lo normal es que se presenten saltos térmicos (temperaturas mayores en el interior de los sistemas productivos de ambiente protegido, con respecto a campo abierto), debido a que las coberturas plásticas confieren un efecto convectivo, aumentando el confinamiento del aire, por lo que los actuales diseños evaluados demostraron ser muy eficientes en lo que respecta al intercambio de aire.

Cuadro 15. Promedio de temperatura (°C) y humedad relativa (%) por hora, registrada 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).

Hora	Temperatura (°C)				Humedad relativa (%)			
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP1	SP2	SP3	SP4
00	25,88	25,54	25,91	25,59	72,96	69,35	72,92	73,86
01	25,61	25,27	25,65	25,45	74,12	70,27	73,97	74,67
02	25,20	24,85	25,29	25,51	75,21	71,52	75,39	74,36
03	25,01	24,65	25,10	25,72	75,68	72,82	76,13	73,64
04	24,85	24,49	24,89	25,89	76,58	74,01	76,83	73,36
05	24,67	24,35	24,82	25,97	76,81	75,13	77,17	72,90
06	25,38	25,10	25,79	26,74	74,64	74,78	74,95	70,64
07	29,01	28,92	29,46	30,37	64,24	65,44	62,05	59,02
08	32,20	32,56	32,31	33,65	54,55	56,20	52,13	49,15
09	34,28	34,78	34,25	35,23	48,50	51,76	46,38	44,67
10	35,73	36,26	35,49	35,94	44,86	49,08	43,06	42,78
11	36,46	37,05	36,24	36,16	42,80	48,06	41,16	42,11
12	36,90	37,55	36,60	36,12	41,69	47,56	40,21	42,25
13	36,73	37,47	36,48	36,06	41,95	48,15	40,66	43,01
14	36,03	36,70	35,81	35,65	43,15	49,59	41,99	44,13
15	34,75	35,20	34,65	34,74	45,94	52,55	44,87	46,40
16	32,91	32,87	32,72	32,84	50,66	57,03	49,23	50,79
17	30,26	29,95	30,23	29,80	57,36	63,32	56,76	58,90
18	28,67	28,39	28,67	28,10	62,49	67,62	62,39	64,56
19	27,92	27,65	27,94	27,44	65,61	69,73	65,48	67,16
20	27,39	27,09	27,37	27,03	67,89	70,45	67,51	68,68
21	26,96	26,63	26,96	26,59	69,33	69,97	69,18	70,34
22	26,62	26,28	26,63	26,28	70,31	68,61	70,28	71,29
23	26,27	25,90	26,29	26,00	71,49	68,85	71,46	72,20
\bar{x}	29,82	29,81	29,81	29,95	61,20	62,99	60,51	60,45

Fuente: Elaboración propia, 2020

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 (Fig. 10).

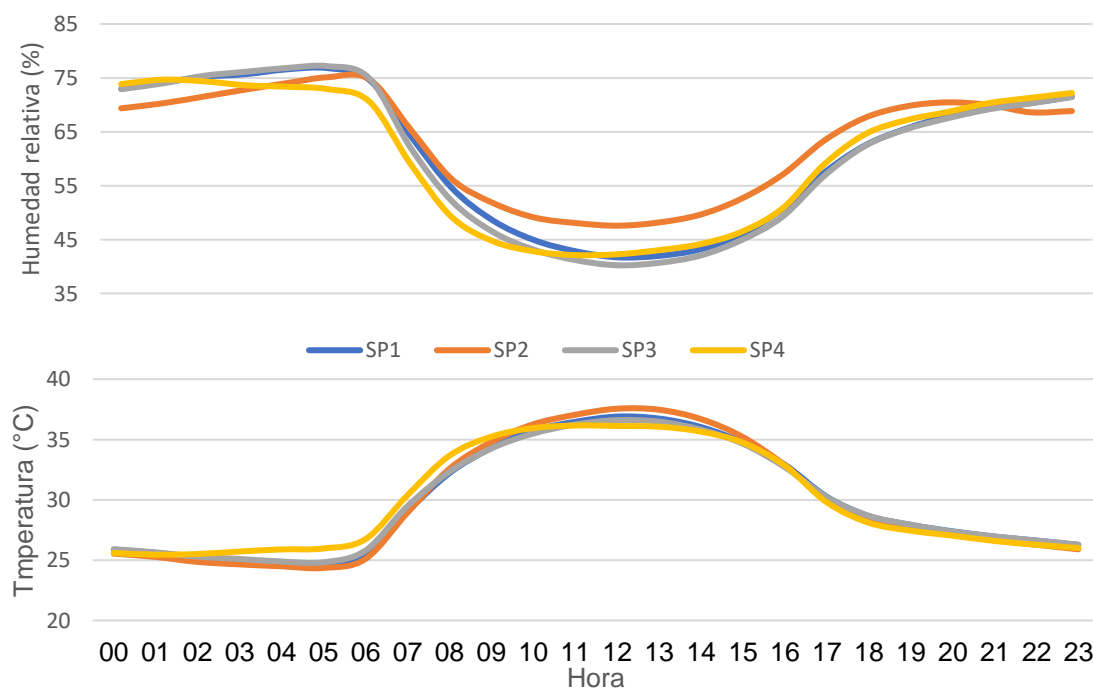


Fig. 10. Relación de la temperatura (°C) y la humedad relativa (%) durante las 24 hrs del día registradas en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), de diciembre del 2019 a abril del 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020

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 el 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).

4.8.2.1. 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 (Cuadro 16). 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.

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.

Cuadro 16. 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

Fuente: Elaboración propia, 2020

Otro aspecto muy importante de analizar es la diferencia entre la temperatura del día y de la noche, ya que se considera óptimos valores cercanos a los 8 °C para que no haya trastornos fisiológicos en el cultivo de chile dulce (Pilatti *et al*; 1991). En este punto el invernadero (SP3), casa de malla de 5 m (SP1) y casa de malla de 3 m (SP2) tuvieron una diferencia de 14,13, 14,63 y 15,57 °C respectivamente, mientras que en campo abierto fue de 15,93 °C (Fig. 11). Por lo tanto, es importante analizar no solamente desde el punto de agro climático, sino también económico, el uso de nebulizadores durante el día, con el objetivo de humidificar el ambiente y reducir la temperatura, mediante el enfriamiento del aire por evaporación al extraer la energía calórica, lo que a la postre vendría a reducir el rango diurno y nocturno.

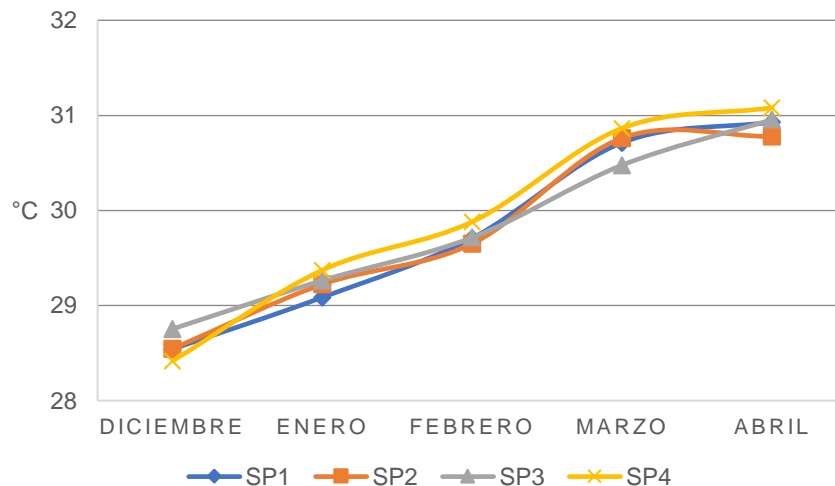


Fig. 11. Dinámica de las temperaturas (°C) promedio durante los meses de diciembre del 2019 a abril del 2020 en cuatro sistemas productivos (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

A excepción del mes de diciembre, el resto del periodo del estudio las temperaturas promedio en los sistemas de ambiente protegido fueron más bajas, comparado con el campo abierto, el cual alcanzó el máximo valor en el mes de abril con 31,08 °C. Esto indujo a una inversión térmica, de manera que tuvieron mejores condiciones ambientales el interior de las estructuras protegidas, para el desarrollo fisiológico de las plantas, por efecto de un incremento en las tasas de renovación del aire, debido al aumento en la velocidad del viento, que es característico en esta época del año en la zona del estudio.

4.8.3. Humedad Relativa

La humedad ambiental no interviene directamente en la fotosíntesis, pero su papel es indirecto a través de la influencia en la apertura de estomas en el cultivo. La contribución más importante de vapor de agua en un sistema productivo, en especial en ambiente protegido lo efectuará la transpiración del cultivo y la evaporación del agua desde el suelo húmedo (Day y Bailey; 1999).

4.8.3.1. 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) (Cuadro 17), 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 17. 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

Fuente: Elaboración propia, 2020.

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 cercanas 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).

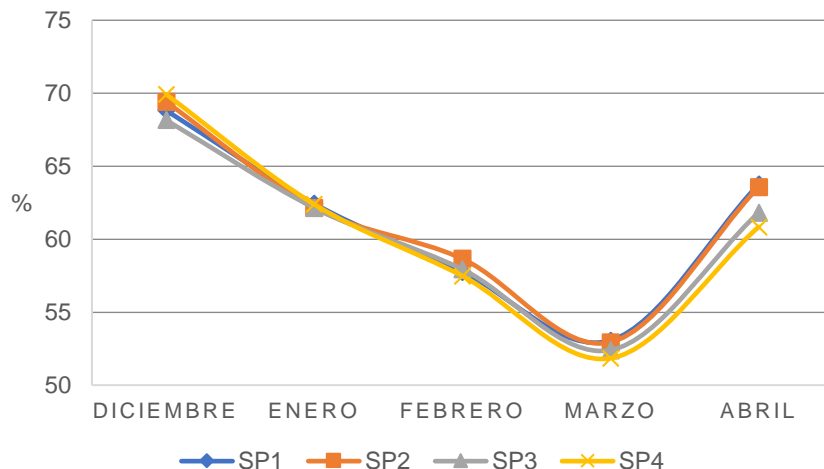


Fig. 12. Variaciones de humedad relativa (%) promedio durante los meses de diciembre del 2019 a abril del 2020 en cuatro sistemas productivos (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

La humedad relativa promedio en los 4 sistemas productivos (SP1, SP2, SP3 y SP4) tuvo un comportamiento a la baja desde el mes diciembre, con valores cercanos al 70%, hasta el mes de marzo cuando llegó a niveles próximos al 50% (Fig. 12). Posteriormente con la transición a la época lluviosa en el mes de abril los márgenes de humedad se incrementaron a valores cercanos al 60%. Esta información es valiosa, ya que esquematiza la dinámica de la humedad durante este periodo de tiempo y de cómo se puede esperar que funcione la transpiración de las hojas y la evaporación del suelo, lo que permite hacer ajustes en la lámina de riego que se aplica al cultivo, para aportar humedad cuando es conveniente y ser muy precisos cuando la humedad es más alta.

4.8.4. Radiación

Los factores que determinan la cantidad de radiación que llega a un sistema productivo están determinados por la latitud, posición del sol en el cielo en las diferentes épocas del año, la altitud del sitio, el grado de nubes presentes y si existe algún tipo de cobertura plástica que pueda reducir el paso de la luz. La radiación influye sobre la tasa de fotosíntesis, la cual afecta el rendimiento productivo, consumo de agua y la respuesta fotomorfogénica (Baille 1999).

4.8.4.1. Radiación 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 · 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 · 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 sombreado 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 (Cuadro 18).

Cuadro 18. Radiación (W · m⁻²) promedio de las 06 a las 17 horas, registradas en 4 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).

Hora	Radiación PAR (W · m ⁻²)			
	Sistema productivo			
	SP1	SP2	SP3	SP4
06	4,55	3,71	6,19	14,45
07	14,87	19,01	22,92	32,39
08	20,04	25,87	28,44	38,82
09	21,58	28,26	31,12	40,14
10	23,00	28,69	31,44	40,41
11	22,28	26,47	30,44	40,66
12	21,72	27,10	31,20	40,53
13	21,57	27,12	31,66	38,74
14	20,73	27,37	29,04	36,75
15	18,03	24,26	25,43	35,85
16	11,04	15,15	16,08	30,80
17	2,13	1,69	2,62	7,93
\bar{x}	16,80	21,22	23,88	33,12

Fuente: Elaboración propia, 2020.

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 (Fig. 13).

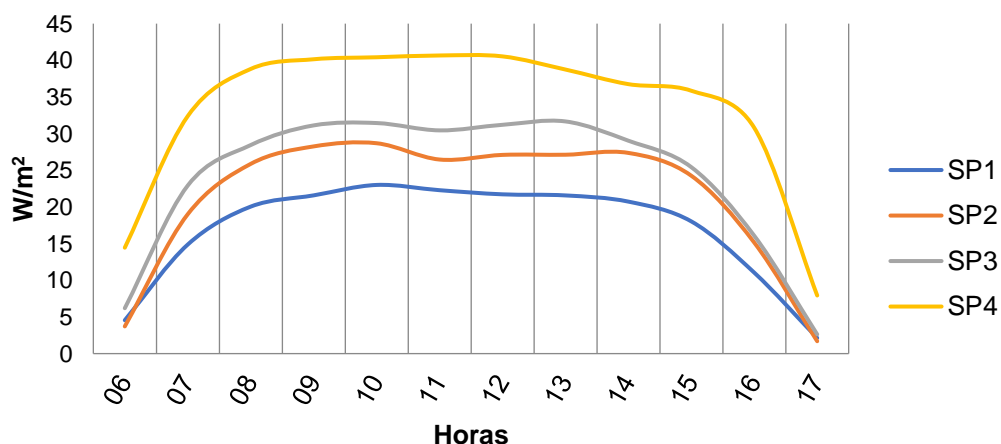


Fig. 13. Dinámica de la radiación PAR ($W \cdot m^{-2}$) de las 06 a las 17 horas, en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), de diciembre del 2019 a abril del 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

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%.

Las características radiométricas de las cubiertas de los sistemas de ambiente protegido afectaron el espectro de difusión de la radiación difusa, la cual presentó una mayor transmisividad de la luz en el invernadero, cuyo diseño del techo fue en forma de capilla, con un plástico de 150 micras y posteriormente en las casas de mallas, las cuales presentaron diferencias entre sí, de un 21% en los niveles de irradiación, lo que demostró que la altura de estas estructuras y la proximidad de la

pantalla de sombreo con la malla anti insecto, tuvo un efecto en la cantidad y calidad de luz que llegan al cultivo, aumentado conforme se reduce la altura del módulo de casa de malla.

4.8.4.2. Radiación promedio y máxima

Los niveles de radiación no se comportaron en forma homogénea en los diferentes sistemas productivos, durante los meses en que se desarrolló la prueba (diciembre del 2019 a abril 2020), ya que se presentaron los mayores registros promedios en los sistemas de ambiente protegido (SP1, SP2 y SP3) en diciembre, con valores entre 24,98 a 28,58 $W \cdot m^{-2}$, mientras que en campo abierto se mostró esta misma condición en febrero con una lectura de 42,70 $W \cdot m^{-2}$ (Cuadro 19).

Al Relacionar los niveles potenciales de captación de luz con el rendimiento productivo de los cultivares de chile dulce, se puede analizar que la mayor producción que se presentó en los sistemas de ambiente protegido se dio cuando la transmisividad en el interior de los módulos con radiación PAR de forma difusa estuvo en promedio entre 21,17 y 24,34 $W \cdot m^{-2}$, mientras que en campo abierto, niveles en promedio de 33,90 $W \cdot m^{-2}$ de radiación directa PAR, fueron en detrimento del rendimiento productivo, IAF y longitud de la planta (Ver cuadros 9, 13 y 14).

Cuadro 19. Radiación PAR ($W \cdot m^{-2}$) promedio y máxima, registrada 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	Radiación PAR promedio ($W \cdot m^{-2}$)				Radiación PAR máxima ($W \cdot m^{-2}$)			
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP1	SP2	SP3	SP4
Diciembre	24,98	28,58	28,50	26,05	75,68	83,61	81,75	107,84
Enero	16,62	22,96	24,90	30,74	59,15	73,09	77,48	101,70
Febrero	22,68	21,41	26,87	42,70	74,37	78,67	97,31	114,08
Marzo	19,04	19,67	21,43	41,90	68,94	77,43	93,44	114,30
Abril	22,51	22,44	20,02	28,12	55,52	66,81	70,06	95,04
\bar{x}	21,17	23,01	24,34	33,90	66,73	75,92	84,01	106,59
Desv. stand	3,31	3,36	3,58	7,85	9,03	6,32	11,27	8,28

Fuente: Elaboración propia, 2020.

La constante solar una vez que traspasa la atmósfera sufre modificaciones en su composición, variando los niveles de intensidad con que llegan a la superficie terrestre. Esto se ve reflejado en los registros de radiación PAR que se obtuvieron en promedio en las horas del día en que hubo irradiación (06 a 17 horas) en cada uno de los meses de la prueba, resultando en campo abierto (SP4) un comportamiento de parábola y en los sistemas de ambiente protegido (SP1, SP2 y SP3) en una forma de onda, lo que indica que hubo meses en los cuales por la presencia de frentes fríos específicamente en los meses de enero y marzo, existió un efecto negativo sobre el los niveles de radiación que ingresaron a los módulos de ambiente protegido (Fig. 14).

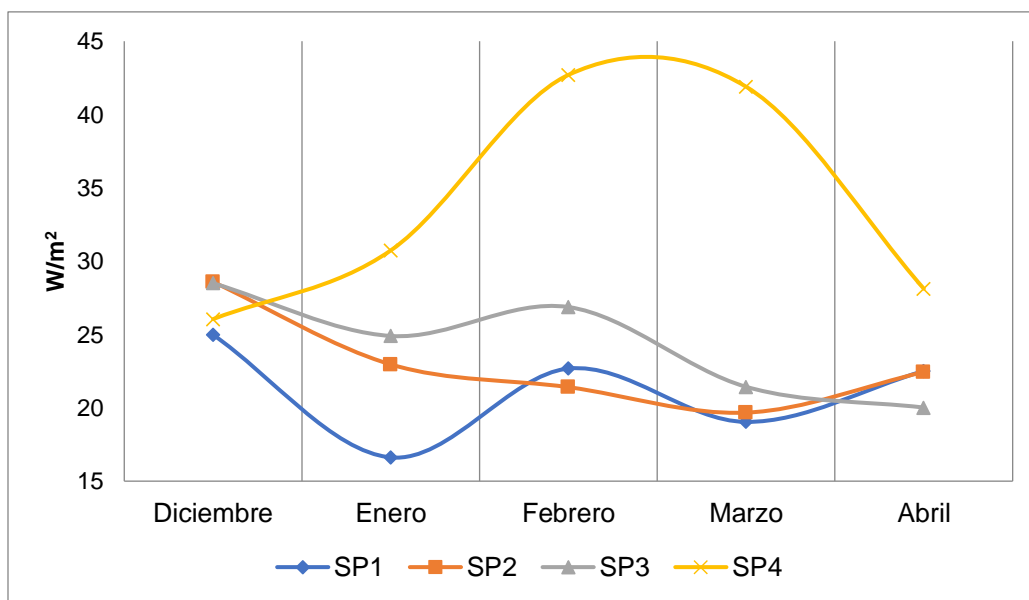


Fig. 14. Dinámica de la radiación PAR ($W \cdot m^{-2}$) promedio (de las 06 a las 17 horas), registradas en 4 sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), de diciembre del 2019 a abril del 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los niveles de radiación en el periodo de prueba (época seca), que llegaron al sitio de estudio, estuvieron influenciados por las condiciones ambientales del día, principalmente de la nubosidad y turbidez atmosférica. Bajo estos parámetros se pudo observar que hubo momentos en los cuales por la claridad del día, se lograron registrar valores de radiación en un momento específico, que superó en algunos casos hasta en más de 3 veces los requerimientos de las plantas para un óptimo

desarrollo del proceso fotosintético, lo que indudablemente justifica el uso de pantallas de sombreo en forma permanente, como se aplicó en los tratamientos de ambiente protegido (SP1, SP2 y SP3), lo cual redujo el estrés térmico y aumentó la cantidad; así como la calidad de las frutas con grado comercial (Ver Fig. 8).

4.9. 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.

4.9.1. 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 volumétrico en capacidad de campo (CC) de 40% y del punto de marchitez permanente (PMP) de 21% (Ver Anexo 2).

Todos los sistemas productivos independientemente del mes de la evaluación, mostraron contenidos de humedad volumétrica superiores a los determinados en laboratorio para CC, lo que demuestra que no hubo precisión en el cálculo de la lámina neta, aspecto que será analizado más adelante con las observaciones obtenidas de los tanques evaporímetros colocados en cada tratamiento para determinar la evapotranspiración de cultivo (ET_c).

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 (Ver Anexo 3).

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% (Cuadro 20). 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.

Cuadro 20. Humedad volumétrica contenida en los primeros 20 cm de suelo en cuatro sistemas productivos (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Mes	SP1	SP2	SP3	SP4
Diciembre	47,85	56,75	69,45	64,45
Enero	46,30	56,23	64,20	63,45
Febrero	51,13	60,65	60,28	66,88
Marzo	51,58	55,80	58,13	60,98
Abril	53,22	68,62	67,38	68,08
Mayo	66,78	71,98	71,55	73,80
\bar{x}	52,81	61,67	65,16	66,27

Fuente: Elaboración propia, 2020.

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 Fig. 13 y Fig. 15).

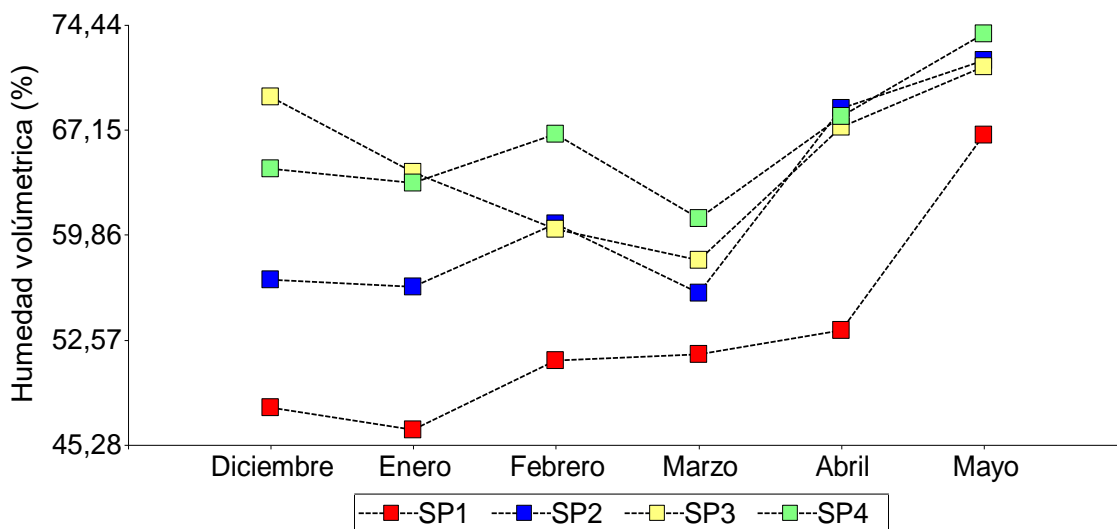


Fig. 15. Promedio de humedad volumétrica (%) presente a 20 cm de profundidad en cada sistema productivo: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), desde diciembre del 2019 hasta mayo del 2020. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En el invernadero (SP3) se obtuvieron los mayores índices de humedad volumétrica; así como los mayores registros de radiación PAR, sin tomar en cuenta el campo abierto (SP4), lo que indica que existió una relación entre la energía lumínica proveniente del sol y la evapotranspiración del cultivo.

4.9.2. 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 sombreo, provocó que la luz se difuminara 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% (Cuadro 21).

Cuadro 21. 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

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.9.3. 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 (Cuadro 22).

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 22. Evapotranspiración de cultivo (ET_c) luego de aplicar un coeficiente de cultivo (K_c), según sistema productivo evaluado de diciembre del 2019 a mayo del 2020. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Mes	*K _c	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.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El comportamiento de las fluctuaciones de la ET_c 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 ET_c, se presentó un aumento en la evaporación del agua contenida en el suelo (Ver Fig. 15 y Fig. 16).

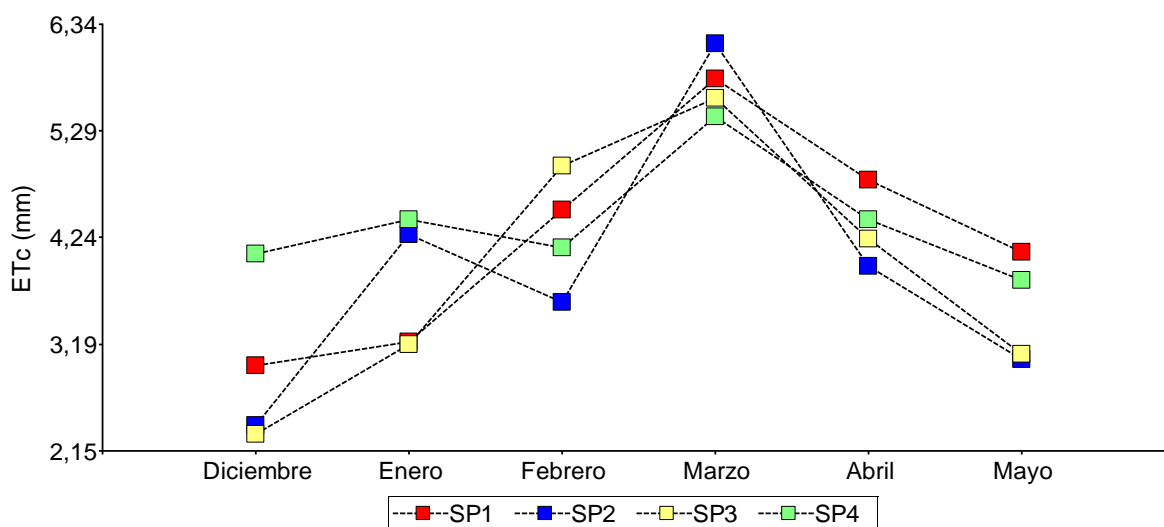


Fig. 16. Promedio de evapotranspiración de cultivo (ET_c) (mm) obtenido en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), desde diciembre del 2019 hasta mayo del 2020. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El balance de humedad ambiental y de suelo es muy relevante, porque como se mencionó en el apartado de humedad volumétrica del suelo, estos niveles indistintamente del sistema productivo, estuvieron por arriba del óptimo de capacidad de campo, lo que se explica, debido a que los cálculos de riego se realizaron con los datos de evapotranspiración potencial (ETp) suministrados por la estación meteorológica de la empresa Taboga en un histórico de 5 años, los cuales fueron superiores al ETc obtenida *In situ* en cada sistema productivo, por lo que se ocasionó un mayor suministro de agua al requerido por las plantas.

4.9.4. 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 esa cantidad transformada a kilogramos de frutas de chile dulce (Cuadro 23).

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 23. 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

Fuente: Elaboración propia, 2020.

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 kg · 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) (Fig. 17).

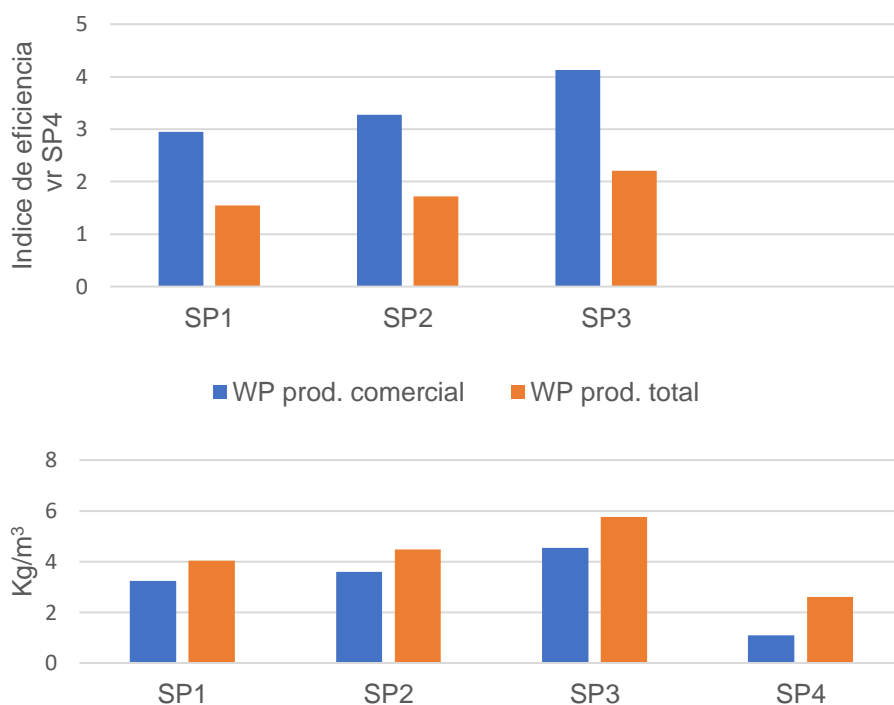


Fig. 17. WP (kg · m³), en cuatro sistemas productivos: Casa de malla de 5 m (SP1), Casa de malla de 3 m (SP2), Invernadero (SP3) y Campo abierto (SP4), e índice de eficiencia del WP de los sistemas en ambiente protegido comparado con SP4. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

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 del uso de agua para riego.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

El presente estudio económico se orientó en analizar la factibilidad de exportar chile dulce tipo Bell al mercado de los Estados Unidos de Norteamérica, por el puerto de Houston. Para tal fin y conociendo de ante mano que uno de los requisitos fitosanitarios, para que este producto ingrese a ese mercado, es que provenga de un sistema de cultivo en ambiente protegido, se descartó el sistema de campo abierto (SP4).

Los sistemas productivos SP1, SP2 y SP3 al no mostrar diferencias significativas entre ellos en la evaluación de rendimiento productivo, justificó la escogencia de únicamente 2 tratamientos de este factor de la prueba para realizar el análisis económico, por lo tanto, se tomó en cuenta la producción únicamente de frutos comerciales de los cultivares con mayor rendimiento productivo, que fueron Canzion y Rojo Americano.

Los sistemas de ambiente protegido seleccionados fueron en primera instancia el invernadero (SP3), el cual obtuvo un porcentaje de frutas de talla grande y mediana de 7,81 y 92,19% respectivamente y la casa de malla de 3 m de altura (SP2), quien mostró un porcentaje de 10,15 y 89,85% de frutas grandes y medianas (Ver Fig. 8).

5.1. Capacidad para exportación

El mercado de los Estados Unidos de Norteamérica comercializa el chile dulce tipo Bell en cajas de 5 kg (11 libras) y para su transporte vía marítima, se requiere de contenedores tipo “Refeer” de 19 m de longitud (40 pies), con sistema de refrigeración que conserve la temperatura entre 10 a 12 °C.

Aunque las dimensiones de la caja de cartón para acopiar los frutos de chile pueden variar, la medida más estándar es la de 40 cm de largo, 30 cm de ancho y 20 cm de altura, con lo que se pueden colocar 110 cajas por pallet (tarima) de 1 x 1,2 m, lo que significa 21 pellets por contenedor de 40”, con una carga total de 2310 cajas y un peso neto de producto de 11 550 kg (Cuadro 24).

Cuadro 24. Capacidad de transporte por contenedor refrigerado de 19 m de longitud (40 pies) para número de cajas, número de pellets y peso neto de fruta fresca (kg).

Dimensión de caja/5kg (cm)	Dimensión/pallets (m)	N° cajas/pallets	N° pallets/contenedor 40"	Total cajas/contenedor 40"	Capacidad peso neto/contenedor (kg)
40 x 30 x 20	1 x 1,2	110	21	2310	11 550

Fuente: Coto, K. 2020. Supervisora de logística DESACARGA (comunicación electrónica), San José, Costa Rica.

Al no existir diferencias significativas en el rendimiento productivo obtenido entre los sistemas productivos de invernadero (SP3) y de la casa de malla de 3 m de altura (SP2), se realizó un escenario con el rendimiento promedio de los cultivos Canzion y Rojo Americano, alcanzado en los tratamientos de ambiente protegido, según la clasificación de calidad (grandes y medianos), mientras que la producción de rechazo se descartó algún valor económico.

En el sistema productivo conformado por la casa de malla de 3 m de altura (SP2), se registraron los mayores rendimientos de frutas comerciables de chile dulce de talla grande con un valor para los cultivos Canzion y Rojo Americano de 2706 y 3018 kg/ha respectivamente, mientras que en el invernadero se presentó la mayor cantidad de frutas medianas con una producción de 24 573 y 27 404 kg/ha, siguiendo el orden de los cultivos anteriormente mencionados (Cuadro 25).

Cuadro 25. Rendimiento productivo comerciable en kilogramos por hectárea, por categoría de calidad (grande y mediana), según norma de exportación a Estados Unidos de Norteamérica (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Tratamiento	Rend. Fruta grande (kg/ha)	Rend. Fruta mediana (kg/ha)	Total (kg/ha)
SP2-Canzion	2706	23 947	26 653
SP3-Canzion	2081	24 573	26 653
SP2-R. Americano	3018	26 707	29 725
SP3-R. Americano	2321	27 404	29 725

Fuente: Elaboración propia, 2020.

5.2. Determinación de ingresos

La caja de 5 kg (11 lbs) tiene un precio que varía según las normas de calidad, sobre todo por la talla, la ciudad de destino; así como por factores de oferta y demanda. Según la lista de precios mayoristas publicada en el mercado norteamericano para chile dulce tipo Bell, el promedio de precio por año desde el 2016 hasta el 2020, fue de US\$ 23,54 para la caja de talla grande y de US\$ 11,93 para la caja de chile mediano, para el destino del mercado de Houston (CNP 2020) (Cuadro 26).

Cuadro 26. Promedio de precios de la caja de chile dulce de 5 kg según la norma de calidad del mercado de los Estados Unidos de Norteamérica desde el año 2016 hasta el 2020.

Año	Valor caja fruta mediana (US\$)			Valor caja fruta grande (US\$)		
	Mín.	Máx.	Promedio	Mín.	Máx.	Promedio
2020	11,90	13,10	12,50	19,90	28,50	24,20
2019	10,50	13,00	11,75	21,50	25,83	23,67
2018	11,00	12,75	11,88	21,75	26,67	24,21
2017	10,83	12,00	11,42	21,67	23,50	22,58
2016	10,17	14,00	12,08	21,67	24,42	23,04
Promedio	10,88	12,97	11,93	21,30	25,78	23,54

Fuente: CNP, 2020

El sistema productivo de casa malla de 3 m (SP2), fue donde se presentó el mayor ingreso económico por hectárea, tanto para el cultivar Canzion como para Rojo Americano, con un valor de US\$ 69 867,91 y US\$ 77 936,29 respectivamente, ya que en este sistema se produjeron más frutas de talla grande. Por su parte el ingreso que se generó en el invernadero, fue un 2,07% menor comparado a la casa de malla, presentando un monto para Canzion de US\$ 68 428,59 y para Rojo Americano de US\$ 76 310,89 (Cuadro 27).

Cuadro 27. Ingreso total (US\$) por hectárea según tratamiento y calidad de fruta para exportación a Estados Unidos de Norteamérica (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Calidad	Canzion		Rojo Americano	
	SP2	SP3	SP2	SP3
Grande				
Cajas	541	416	604	464
Ingreso	12 735,14	9 792,64	14 218,16	10 922,56
Mediana				
Cajas	4789	4915	5341	5481
Ingreso	57 132,77	58 635,95	63 718,13	65 388,33
Ingreso total (US\$)	69 867,91	68 428,59	77 936,29	76 310,89

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para completar un contenedor de 40 pies con chile dulce proveniente de un invernadero (SP3) se ocuparía de un área de producción de 0,43 ha, de donde se obtendrían tanto para el cultivar Canzion, como para Rojo Americano 180 cajas de chile grande y 2130 cajas de fruta mediana, esto debido ambos cultivos mantienen las mismas relaciones entre la calidad de las frutas, lo que significaría un ingreso de US\$ 29 648,10.

La casa de malla de 3 m de altura requiere de un área de 0,38 ha para completar un envío en contenedor con las dimensiones antes mencionadas a los Estados Unidos de Norteamérica, distribuyendo la producción para los cultivares Canzion y Rojo Americano en 235 cajas de chile grande y 2075 cajas de chile mediano, lo que generaría un ingreso de US\$ 30 286,65 (Cuadro 28).

Cuadro 28. Ingreso total (US\$) por contenedor de 40 pies según tratamiento y calidad de fruta para exportación a Estados Unidos de Norteamérica (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Calidad	Canzion		Rojo Americano	
	SP2	SP3	SP2	SP3
Grande				
Cajas	235	180	235	180
Ingreso	5 531,90	4 237,20	5 531,90	4 237,20
Mediana				
Cajas	2075	2130	2075	2130
Ingreso	24 754,75	25 410,90	24 754,75	25 410,90
Ingreso total (US\$)	30 286,65	29 648,10	30 286,65	29 648,10

5.3. Costos

5.3.1. Costos de inversión

El sistema productivo de invernadero (SP3), fue el que mayor costo de construcción presentó incluyendo el sistema de riego, requiriendo de una inversión por hectárea de US\$ 247 780,30, lo que significa US\$ 24,78 por metro cuadrado, le siguió la casa de malla de 5 m de altura (SP1) con un costo por hectárea de US\$ 101 703,44, representando un valor de US\$ 10,17 por metro cuadrado y por último la casa de malla de 3 m de altura (SP2) con una inversión de US\$ 78 257,73 por hectárea, siendo el costo por metro cuadrado de US\$ 7,83 (Cuadro 29).

Cuadro 29. Costo de inversión en infraestructura y de sistema de riego (US\$) por hectárea de tres sistemas productivos (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Tratamiento	Valor (US\$) Estructuras*	Valor (US\$) Sist. Riego**	Total (US\$)	Costo/m ² (US\$)
SP1	96 104,62	5 598,82	101 703,44	10,17
SP2	72 658,91	5 598,82	78 257,73	7,83
SP3	242 181,48	5 598,82	247 780,30	24,78

Tipo de cambio: US\$ 548,33 (Promedio últimos 5 años, BCCR)

Notas: * Vida útil de estructura 8 años

** Vida útil de sistema de riego 5 años

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El mayor costo de inversión de infraestructura fue para el invernadero, debido a que requirió de una mayor cantidad de materiales, especialmente tubos metálicos, un plástico de 150 micras para cubrir el techo y además se tuvo que contratar a una empresa especializada en la instalación de este tipo de estructuras. Por su parte las casas de mallas el propio productor, con apoyo de personal, las puede construir (Ver Anexo 4, 5 y 6). Todos estos sistemas productivos se les determinó una vida útil en 8 años, mientras que para el sistema de riego de 5 años.

5.3.2. Costos de producción

Los costos de producción no variaron según el sistema productivo (SP2 y SP3), pero sí, según el cultivar, ya que, aunque el manejo agronómico fue el mismo, se presentó un mayor valor en el precio de la semilla del híbrido F1 Canzion.

El cultivar Canzion alcanzó el mayor costo de producción por hectárea con un monto de US\$ 17 016,12, de los cuales el rubro más alto fue, la producción de almácigos, lo que representó un 42,28% del total de los costos, el cual incluyó la semilla y el servicio de manejo de las plántulas. Por su parte, Rojo Americano, obtuvo un costo de producción por hectárea de US\$ 11 488,10, siendo el rubro más significativo las labores de campo con un 43,56%, donde se necesitó el uso de la mano de obra para la siembra y manejo del cultivo (Cuadro 30).

Cuadro 30. Costo de producción (US\$) de una hectárea de chile dulce para exportación según cultivar (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Rubro	Canzion		Rojo Americano	
	US\$*	%	US\$*	%
Labores de campo**	5 004,47	29,41	5 004,47	43,56
Almácigos	7 195,21	42,28	1 667,18	14,51
Preparación de terreno	538,00	3,16	538,00	4,68
Nutrición	1 601,23	9,41	1 601,23	13,94
Insumos Químicos	2 677,22	15,73	2 677,22	23,30
Total	17 016,12	100	11 488,10	100

Nota: *Tipo de cambio: US\$ 548,33 (Promedio últimos 5 años, BCCR)

** Costo por jornal incluye cargas sociales y salario mínimo vigente al segundo semestre 2020. MTSS

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para completar un contenedor de chile dulce tipo Bell, el costo de producción varía, según el cultivar, no solamente por las diferencias en el precio de la semilla, sino también debido a que se requieren de diferentes áreas de siembra para lograr una producción que afore el medio de transporte. El cultivar Canzion ocuparía de un área de 0,43 ha para llenar un contenedor, lo que significaría un costo de producción de US\$ 7 374,72, mientras que Rojo Americano necesitaría de 0,38 ha para lograr el mismo propósito, con una inversión de US\$ 4 463,84 (Cuadro 31).

Cuadro 31. Costo de producción (US\$) para completar un contenedor de 40 pies de chile dulce para exportación según cultivar (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Rubro	Canzion		Rojo Americano	
	US\$	%	US\$	%
Labores de campo	2 168,92	29,41	1 944,55	43,56
Almácigos	3 118,37	42,28	647,80	14,51
Preparación de terreno	233,17	3,16	209,05	4,68
Nutrición	693,97	9,41	6 22,18	13,94
Insumos Químicos	1 160,30	15,73	1 040,27	23,30
Total	7 374,72	100	4 463,84	100

Nota: *Tipo de cambio: US\$ 548,33 (Promedio últimos 5 años, BCCR)

** Costo por jornal incluye cargas sociales y salario mínimo vigente al segundo semestre 2020. MTSS

Fuente: Elaboración propia, 2020.

5.3.3. Costos de comercialización

Costa Rica está ubicada en un punto estratégico dentro del Istmo centroamericano, teniendo muy cercanos los mercados de Norteamérica y el Caribe. Desde el puerto de Moín en Limón se pueden llevar a cabo las operaciones de exportación hacia el puerto de Houston, mediante la programación de envíos realizados por una empresa servicios logísticos.

El costo por envío de un contenedor refrigerado de 40", con una temperatura entre 10 a 12 °C, se cotizó en US\$ 4 905, basado en el INCOTERM 2010 CFR (el cual incluye el transporte desde Limonal de Abangares, hasta el puerto de Moín, el flete marítimo hasta el puerto de Houston, el pago del seguro y los costos de logística del envío), lo que significó un costo por caja de US\$ 2,12 (Cuadro 32).

Cuadro 32. Descripción de costo de transporte vía marítima desde el puerto de Moín, Limón, Costa Rica, hasta el puerto de Houston, Estados Unidos de Norteamérica.

Rubro	Costo (US\$)
Flete marítimo	2 200,00
Terminal handling	550,00
Marine fuel recovery	200,00
Manifest transmission per BL	180,00
Origin landfreight	1 365,00
Document charge per BL	100,00
Handling	120,00
Manejos puerto	40,00
Exportación	150,00
Total US\$/Contenedor	4 905,00

Fuente: Coto, K. 2020. Supervisora de logística DESACARGA (comunicación electrónica), San José, Costa Rica.

En nuestro país al no existir información de los costos de manejo pos cosecha del cultivo de chile dulce tipo Bell, se tomó como referencia los incurridos por la empresa exportadora de piña Las Brisas, ubicada en Upala de Alajuela. La producción de chile dulce una vez cosechada, se trasladada a la zona de empaque, donde en primera instancia se clasifica y desinfecta el producto, lo que significa un costo de US\$ 1 por caja, para posteriormente embalarlo en cajas de cartón, las cuales tienen un costo de US\$ 0,8 cada una.

Cuadro 33. Costos de comercialización (US\$) de chile dulce tipo Bell por contenedor, para exportación al mercado de los Estados Unidos de Norteamérica (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Rubro	Costo (US\$)
*Flete terrestre y marítimo	4 905,00
**Manejo pos cosecha	2 310,00
**Materiales de empaque	1 848,00
Total (US\$)	9 063,00

*Fuente: Coto, K. 2020. Supervisora de logística DESACARGA (comunicación electrónica), San José, Costa Rica.

**Fuente: Mosquera, E. 2020. Encargado planta empacadora de piña Las Brisas. Upala, Costa Rica.

Independientemente del cultivar y el sistema productivo analizado, el costo de manejo pos cosecha y de materiales para completar un contenedor de 40” es de US\$ 2 310 y US\$ 1 848 respectivamente, a lo cual sumándole el costo de flete terrestre y marítimo dio como resultado un costo de comercialización por cada contenedor enviado de US\$ 9 063 y de US\$ 3,92 por caja exportada (Cuadro 33).

5.4. Relación beneficio-costos

El análisis de la relación beneficio costo en US\$ se basó en el ingreso y costos ajustados al envío de un contenedor refrigerado de 40” con 2310 cajas de chile dulce (capacidad máxima).

El sistema productivo que presentó el mayor beneficio económico para el periodo en que se realizó el estudio, fue la casa de malla de 3 m de altura (SP2), con un valor de 1,45 cuando se empleó el cultivar Canzion y de 1,73 cuando se calculó con Rojo Americano, lo que quiere decir que, por cada dólar invertido, hubo una recuperación de ese monto y una ganancia de US\$ 0,45 y US\$ 0,73 respectivamente (Cuadro 34).

Cuadro 34. Relación beneficio costo entre el sistema productivo de invernadero (SP3), casa de malla de 3 m de altura (SP2), combinado los cultivares Canzion y Rojo Americano por contenedor de 40” (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Rubro	Canzion		Rojo Americano	
	SP2	SP3	SP2	SP3
Ingreso frutas grandes	5 531,90	4 243,29	5 524,63	4 244,09
Ingreso frutas medianas	24 754,75	25 407,81	24 758,43	25 407,41
Ingreso total (US\$)	30 286,65	29 651,11	30 283,07	29 651,50
*Costo de inversión	4 421,56	13 605,36	3 964,16	12 197,91
Costo producción	7 374,72	7 374,72	4 463,84	4 463,84
Costo comercialización	9 063,00	9 063,00	9 063,00	9 063,00
Costo total (US\$)	20 859,28	30 043,08	17 490,99	25 724,74
Saldo neto (US\$)	9 427,37	-391,97	12 792,07	3 926,75
Relación B/C	1,45	0,99	1,73	1,15

Nota: *Se incluye la depreciación correspondiente a un año, relacionada con un ciclo de cultivo

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El invernadero resultó ser el sistema de ambiente protegido menos competitivo, debido a que el costo de construcción e instalación incluyendo el sistema de riego correspondió al 46,27% del costo total, mientras que, para la casa de malla 3 m de altura, representó un 21,87%, lo que significó una diferencia en la relación beneficio costo entre los sistemas anteriormente descritos de un 32,79%, dejando en evidencia que para emprender un proyecto de exportación de chile dulce tipo Bell hacia los Estados Unidos de Norteamérica, el tipo de estructura de protección seleccionada tiene un efecto directo en la retribución económica.

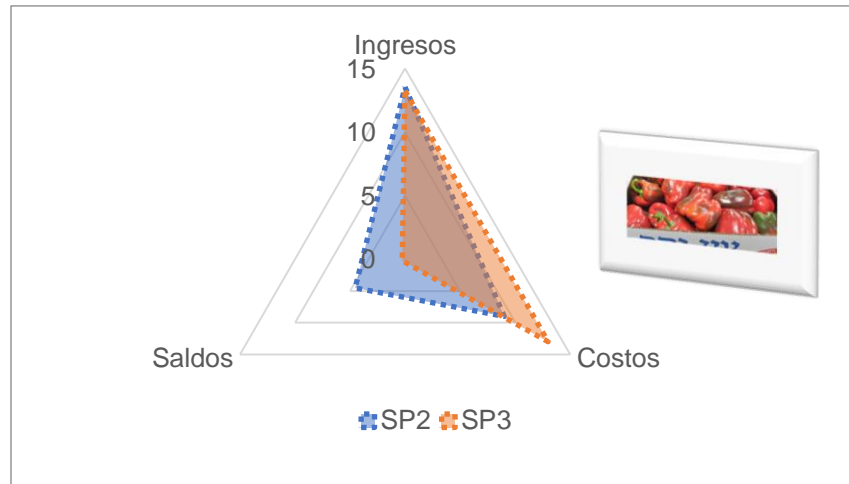


Fig. 18. Relación de costos, ingresos y saldos en US\$, por caja exportable de chile dulce Canzion, según el sistema productivo donde se desarrolló (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los ingresos por cada caja exportable tanto para el cultivar Canzion como para Rojo Americano, al tomar en cuenta las frutas de talla grande y medianas acopiadas en un contenedor fue de US\$ de 13,11 cuando la producción se desarrolló en la casa de malla de 3 m de altura (SP2) y de US\$ 12,84 cuando provino del invernadero (SP3).

El costo total por caja exportable resultó para el cultivar Canzion en US\$ 9,03 cuando el origen de la fruta provenía del sistema productivo de casa de malla de 3 m de altura (SP2), donde se obtuvo un saldo de US\$ 4,08, mientras que en el invernadero (SP3), el costo fue de US\$ 13,00, lo que dio como resultado un saldo negativo de US\$ 0,17 (Fig. 18).

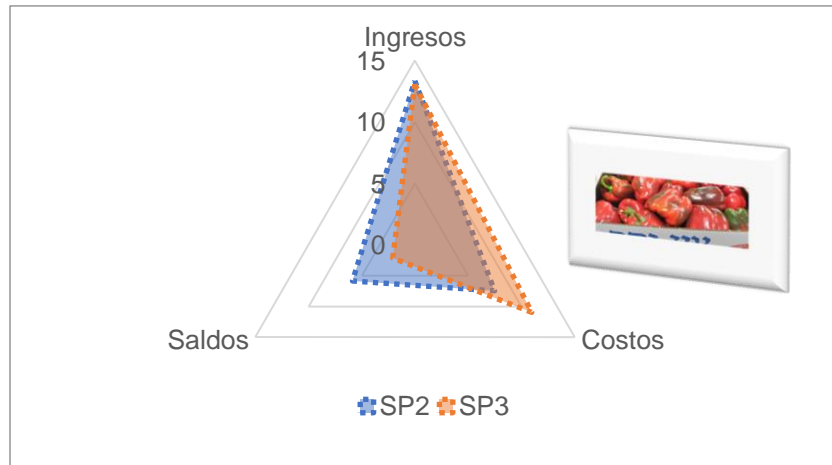


Fig. 19. Relación de costos, ingresos y saldos en US\$, por caja exportable de chile dulce Rojo Americano, según el sistema productivo donde se desarrolló (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El costo total alcanzado por cada caja exportable para el cultivar Rojo Americano en el módulo de casa de malla fue US\$ 7,57, lo que generó un saldo de US\$ 5,54 y por su parte en el invernadero se obtuvo un costo de US\$ 11,14, lo que originó un saldo de US\$ 1,70 (Fig. 19).

Conclusiones

Los sistemas productivos de casa de malla de 5 m (SP1), casa de malla de 3 m (SP2), invernadero (SP3) y campo abierto (SP4) presentaron interacción únicamente sobre el rendimiento del peso de fruto comercial y la longitud de fruta en los diferentes cultivares, mientras que para el resto de variables de producción se dio un efecto independiente entre los factores estudiados.

Los cultivares Rojo Americano y Canzion presentaron el mejor rendimiento y adaptabilidad en la época y zona del estudio, especialmente cuando se sembraron en los sistemas productivos de ambiente protegido, ya que el primero presentó los frutos más pesados con un rango de 122,69 a 135,41 g, mientras que el segundo la mayor cantidad de frutos cosechados en la zona de muestreo, el cual alcanzó en promedio las 79,92 unidades.

Los cuatro cultivares de chile dulce tuvieron un reducido porcentaje de frutos de talla grande debido a que la mayoría cumplían con el largo de la normativa de exportación (7,5 cm), pero no lo hicieron con el ancho mínimo (7,5 cm), lo que redujo en el doble el potencial del valor económico de la producción.

El nivel de concentración de azúcares medido en grados Brix, no sufrió variaciones importantes entre los diferentes cultivares de chile dulce, ni tampoco por el ambiente generado en los diferentes sistemas productivos donde se desarrollaron las plantas, llegándose a presentar una fluctuación de 6,31 a 6,73 °Brix.

Existió un efecto favorable en la eco fisiología del cultivo de chile dulce sembradas en el interior de los sistemas productivos de ambiente protegido con respecto al campo abierto, ya que en estos medios se presentaron las mayores alturas de planta y los mejores niveles del índice de área foliar (IAF) a los 75 días después del trasplante, con un rango entre 2,65 a 3,41.

El clima espontáneo que se generó en los diferentes sistemas productivos fue muy similar en cuanto a temperatura y humedad relativa, pero muy diferente en los niveles de radiación entre los tratamientos de ambiente protegido y campo abierto, lo que demuestra que, regulando esta variable ambiental dentro de los parámetros óptimos de eficiencia fotosintética, se presenta un efecto positivo en el desarrollo vegetativo, consumo de agua y rendimiento productivo de los cultivares de chile dulce.

La casa de malla de 3 m de altura y el invernadero presentaron las menores demandas evapotranspirativas, con un promedio de 3,90 mm diarios, lo que significó un ahorro en el ciclo productivo de 150 días de 720 m³ de agua comparado con el sistema a campo abierto.

La mejor relación entre el rendimiento productivo y el consumo de agua, definido en términos de productividad del agua aplicada por riego (WP), se obtuvieron en los sistemas productivos de invernadero, casa de malla de 3 m de altura y casa de malla de 5 m de altura, donde se produjo por cada metro cúbico de agua, una producción de 5,76, 4,48 y 4,03 kg respectivamente de frutas de chile dulce.

La mayor ganancia económica se produjo cuando el cultivar Rojo Americano efectuó su ciclo productivo en la casa de malla de 3 m de altura, ya que en esta combinación se presentó uno de los mejores ingresos económicos; así como los menores costos de inversión, producción y comercialización, lo que permitió que se obtuviera la mayor relación beneficio-costo, con un valor de 1,73.

Recomendaciones

Desarrollar una red de medición de la demanda evapotranspirativa en la Región Chorotega, mediante la implementación de tanques evaporímetros clase A, con el fin de mejorar la precisión en los cálculos de lámina neta de riego y aumentar la eficiencia en el uso del agua (WP).

Realizar estudios de curvas de absorción nutricional en el cultivo de chile dulce tipo Bell bajo ambientes protegidos, para definir las necesidades absorción en las diferentes etapas fenológicas bajo ambiente protegido, con el afán de mejorar el desarrollo vegetativo y aumentar el porcentaje de frutos de primera.

Emprender una línea de investigación para mejorar las condiciones de temperatura dentro de los módulos de ambiente protegido, mediante la implementación de sistemas de humidificación ambiental.

Explorar la posibilidad de transformar los frutos de rechazo de chile dulce en productos agro industriales, para obtener una remuneración económica en esta categoría y mejorar la relación beneficio – costo.

Continuar con el desarrollo de estudios de inteligencia de mercados, para definir una estrategia de comercialización, que abarque el número ideal de contenedores por embarque y así calcular cuál es el área mínima, para que un proyecto de producción de chile dulce tipo de Bell, para exportar al mercado de los Estados Unidos de Norteamérica sea sostenible.

Literatura citada

- ABCAGRO. 2012. El cultivo del pimiento. En línea. Consultado el 16 de febrero del 2020.
En: <http://www.abcagro.com/hortalizas/pimiento7.asp>
- ACUÑA, J. 2003. Estructuras y control climático en invernaderos: Experiencias en Colombia. En memoria de curso: Formación sobre diseño de invernaderos y materiales de cerramiento. Red XIX.A CYTED. San José. Costa Rica
- 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. Boletín: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) Unidad Culiacán. 16 p.
- BAILLE, A. 1999. Energy Cycle. In: Greenhouse ecosystems. Stanhill, G.; Enoch, H.Z. (Ed). Elsevier. Ámsterdam. Netherlands: 266-285.
- BARTZANAS, T; KATSOULAS, N; KITTAS, C. 2012. Solar radiation distribution in screenhouses: A CFD approach. Acta Hort. 956, 449–456. En línea. Consultado el 5 de marzo del 2020. En: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.52>
- BERNINGER, E. 1989. Cultures florales de serre en zone méditerranéenne française: Eléments climatiques et physiologiques. Ed. INRA. PHM-Revue Horticole. Paris. Pp 33-48.
- CABALLERO, P. Y MIGUEL, M. 2002. Costes e investigación en la hortofruticultura Mediterránea. En: La agricultura Mediterránea en el siglo XXI. Álvarez-Coque, J.M.G. (Ed). Instituto Cajamar. Almería. Pp. 222-225.
- CARRILLO, K. 2016. Tesis: 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. Pp. 12-52.
- CASTILLA, N. 2005. Invernaderos de plástico. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. Pp 39-206.

- COLINO, J. Y MARTÍNEZ, J. 2002. El agua en la agricultura del Sureste español: Productividad, precio y demanda. En: La agricultura Mediterránea en el siglo XXI. Álvarez-Coque, J.M.G. (Ed). Instituto Cajamar. Almería. España. Pp. 199-221.
- CONSEJO NACIONAL DE LA PRODUCCIÓN (CNP). 2020. Precios internacionales de la agricultura protegida. En línea. Consultado el 15 de mayo del 2020. En: https://www.cnp.go.cr/sim/hortalizas.aspx#HERMES_TABS_3_3
- CRUZ, H; SANCHEZ, C; ORTIZ, C; MENDOZA, C. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y periodo de cosecha en chile pimiento. Agricultura Técnica en México 35: 70-77.
- DAY, W. Y BAILEY, B. 1999. Physical principles of microclimate modification. In: Greenhouse ecosystems. Stanhill, G.; Enoch, H.Z. (Ed). Elsevier. Amsterdam. Netherlands: 71-80.
- DE SWART E.A.M; GROENWOLD, R; KANNE H.J; STAM, P; MARCELIS, L.F.M and VOORRIPS, R.E. 2004. Non-destructive estimation of leaf area for different plant ages and accessions of *Capsicum annuum* L. Journal of Horticultural Science & Biotechnology 79 (5): 764–770.
- EL HERALDO, 2017. SAGARPA ve potencial de exportaciones de chiles y pimientos en 20 países. En línea. Consultado el 4 de febrero del 2020. En: <https://heraldodemexico.com.mx/mer-k-2/sagarpa-ve-potencial-de-exportaciones-de-chiles-y-pimientos-en-20-paises/>
- ESCALANTE, E; Y KOHASHI, S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo. 84 p.
- ESQUIRA, I. 2002. Memoria de curso: Producción de cultivos bajo condiciones controladas. CINADCO. San José, Costa Rica. 3 p.
- 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. ISBN 92-5-304219-2. Roma. Pp 75-90.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) a. 2019. Production quantities of Chillies and peppers, green by country. En línea. Consultado el 15 de febrero del 2020. En: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) b. 2019. Guía de análisis de costo-beneficio. Aplicación para medidas de adaptación al cambio climático en el sector agropecuario en Uruguay. 5 p. En línea. Consultado el 13 de marzo del 2019. En: <http://www.fao.org/3/ca2795es/ca2795es.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) c. 2019. FAOSTAT: Datos de cultivo por región. En línea. Consultado el 5 de junio del 2020. En: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2003. Descubrir el potencial del agua para la agricultura Capítulo 3. Por qué la productividad del agua es importante para el desafío global del agua, Ed. Departamento de Desarrollo Sostenible, Roma, Italia, 2003. 53 p.
- FERNANDES Da S; D. F; CARMO O; M; PINHEIRO M; L. H.; NODA, H; MANOARES M. 2004. Diversidade Fenotípica em Pimenteiras Cultivadas na Amazônia. Associação Brasileira de Horticultura. Anais CBO 2004. En línea. Consultado el 27 de febrero del 2020. En: <http://www.abhorticultura.com.br/CBO/>
- GACETA, 2007. Diario oficial la Gaceta N° 101, del 28 de mayo del 2007. En línea: Fecha de consulta: 4 de marzo del 2020. En: www.imprentanacional.go.cr/gaceta/
- GIMÉNEZ, C.1992. Bases Fisiológicas de la producción hortícola. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. Pp 57-74.
- GÓNZALES, 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. 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected cultivation. Ed. CRC Press. Boca Raton, Florida. EUA. Pp 569-642.

- ILIĆ, Z; MILENKOVIĆ, L; ŠUNIĆ, L; FALLIK, E. 2015. Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. *J. Sci. Food Agric.* 95, 2660–2667. En línea. Consultado el 5 de marzo del 2020. En: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7000>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2019. Encuesta Continua de Empleo al primer trimestre de 2019. Vol. 1. Año 8. ISSN: 2215-3136. 12 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario. 1 ed. --San José. C.R.: INEC, 2015. ISBN: 978-9968-683-96-8. Pp 28 - 35.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2013. Producción de Pimiento Morrón en Casa de Malla para el Sur de Tamaulipas. ISBN: 978-607-37-0030-6. Pp 1-6.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2013. Tecnología para la Producción de Hortalizas en el Sur de Tamaulipas. ISBN: 978-607-37-0032-0. Pp 2-5.
- JIMÉNEZ, U., CAMPOS, H., VICENTE, J., MARÍN, S., BARRANTES, L. Y CARRILLO, M. (2007). *Agrocadena Regional: cultivo del chile dulce*. Alajuela, Costa Rica: Dirección Regional Central Occidental, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Pp 7-22.
- JOLLIET, O. 1999. The water cycle. En: *Greenhouse Ecosystems*. Stanhill, G; Enock, H. (Eds). Elsevier. Amsterdam: Pp. 303-306
- LANGHAMS, R. Y TIBBITTS, T. 1997. *Plant growth chamber handbook*. USA. Ed. Iowa State Univ. Press. 240 p.
- LOPES, C Y DE ÁVILA, A. 2003. *Doenças do Pimentão. Diagnose e controle*. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimiento. Pp 22-24.
- LORENZO, P Y CASTILLA, N. 1995. Pepper yield response to plant density and radiation in unheated plastic greenhouse. *Acta Horticulturae*. 412:330-334.
- MAHMOOD, A; HU, Y; TANNY, J; ASANTE, E. 2018. Effects of shading and insect-proof screens on crop microclimate and production: A review of recent advances. *Sci. Hortic.* (Amsterdam). En línea. Consultado el 26 de febrero del 2020. En: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.078>

- MANJA, K., Y AOUN, M., 2019. The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 246, 110–122. En línea. Consultado el 26 de febrero del 2020. En: <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.10.050>
- MARCELIS, L; HEUVELINK, E; HOFMAN, L; BAKKER, J; XUE, L. 2009. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strenght. *Journal of Experimental Botany* 55: 2261-2268.
- MAROTO, J. 1995. *Horticultura herbácea especial*. Ediciones Mundi-Prensa. Pp. 400 - 417.
- MEDRANO, H; BOTA, J; CIFRE, J; FLEXAS, J; RIBAS-CARBÓ, M; GULÍAS, J. 2007. Eficiencia del uso del agua por las plantas. *Investigaciones geográficas*, nº 43 (2007). España. Pp 63-66.
- MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL. 2020. Lista de salarios mínimos por ocupación año 2020. Consultado el 2 de octubre del 2020. En: http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista_salarios_2020.pdf
- MOCHÓN, J. Y BEKER, V. 2008. *Economía Principios y aplicaciones*. Editorial McGraw Hill. Cuarta edición. Pp. 15-18
- MÖLLER, M; COHEN, S; PIRKNER, M; ISRAELI, Y; TANNY, J. 2010. Transmission of short-wave radiation by agricultural screens. *Biosyst. Eng.* 107, 317–327. Consultado el 24 de febrero del 2020. En: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.09.005>
- 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*. Guanacaste, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). p.14-18. Consultoría SP-16-2009.

- MORENO, E; AGUILAR, R; SÁNCHEZ DEL CASTILLO, F; GARCÍA, V. 2011. Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. Rev. Chapingo Ser.Hortic vol.17 spe 2 Chapingo ene. 2011. ISSN 1027-152X. Pp. 2-4.
- MUNDARAIN, S.; COA, M.; CAÑIZARES, A. 2005. Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de aji dulce (*Capsicum frutescens* L.). Revista UDO Agrícola 5(1): 62-67.
- PILATTI, R. A.; PÉREZ, I.; GARIGLIO, N. F. Y FAVARO, J. 1991. Cultivo de pimiento en invernáculo no calefaccionado: Tecnología para la obtención de frutos de buena aptitud comercial. FAVE G; 39-45; 59-71
- PIRKNER, M; TANNY, J; SHAPIRA, O; TEITEL, M; COHEN, S; SHAHAK, Y; ISRAELI, Y. 2014. The effect of screen type on crop micro-climate, reference evapotranspiration and yield of a screenhouse banana plantation. Sci. Hortic. (Amsterdam). 180, 32–39. En línea. Consultado el 18 de febrero del 2020. En: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.050>
- PROGRAMA INTEGRAL DE MERCADEO AGROPECUARIO (PIMA). 2020. Mercados Regionales. En línea. Consultado el 6 de octubre del 2020. En: <http://www.pima.go.cr/mercados-regionales/>
- PROGRAMA INTEGRAL DE MERCADEO AGROPECUARIO (PIMA). 2018. Índices estacionales 2018. En línea. Consultado el 15 de febrero del 2020. En: <http://bpm.pima.go.cr:8080/ap/cm/PG29L2/AuraPortal.aspx>
- PROGRAMA INTEGRAL DE MERCADEO AGROPECUARIO (PIMA). 2013. Tendencias de Consumo de Frutas, Hortalizas, Pesado y Mariscos en las familias de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. pp 38-42. En línea. Consultado el 13 de junio de 2019. En: <http://pima.go.cr/AP/CM/PG1019L1/PIMA-PROGRAMA-INTEGRAL-DE-MERCADO-AGROPECUARIO.aspx>
- QUESADA, R. 2007. Los Bosques de Costa Rica. Centro de Investigación Integración Bosque Industria. X Congreso Nacional de Ciencias Exploraciones. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 16

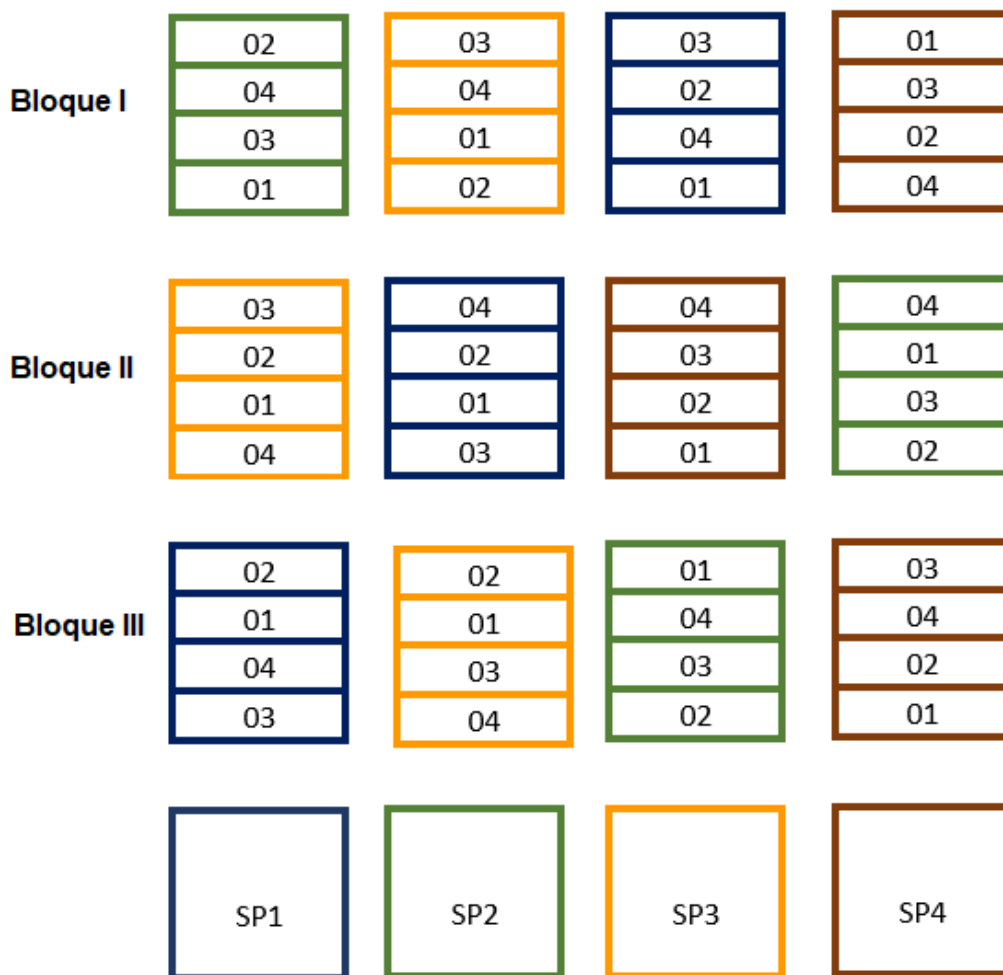
- RAMÍREZ, R. 2020. Innovación Social Desarrollada por el INTA obtiene reconocimiento de la Red Innovagro. Revista Alcances Tecnológicos. ISSN 2215-5481. Pp 73-76.
- RAMÍREZ, R; AGUILAR, J; MEZA, L. 2018. Adaptabilidad de cultivares de chile dulce bajo invernadero. Revista Alcances Tecnológicos. 12(1):13-23. 2018. ISSN-1659-0538. 14 p.
- RAMÍREZ, R; AGUILAR, J; MEZA, L. 2013. Evaluación del rendimiento y adaptabilidad de ocho cultivares de chile dulce (*Capsicum annum* L) bajo cobertura plástica en la Región Chorotega. Archivos Técnicos del INTA. Pp 5-8.
- RAMÍREZ, R; AGUILAR, J; MEZA, L. 2012 a. 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. Código: HT 08 MP 301-1-11. Pp 11-14.
- RAMÍREZ, R; AGUILAR, J; MEZA, L. 2012 b. Evaluación del micro clima en invernadero y su interacción con cinco cultivares de chile dulce. Revista Alcances Tecnológicos INTA. Vol. 9 Núm. 1 (2012). ISSN-1659-0538. Pp. 14-16
- RAMIREZ, R. AGUILAR, J. LEON, R. 2010. Introducción a los Cultivos Protegidos bajo Coberturas Plásticas en Costa Rica. Imprenta Nacional. San José, Costa Rica Pp 121-123.
- RECHE, J. 2010. Cultivo del Pimiento Dulce en Invernadero. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, 2010. ISBN 978-84-8474-288-3. Pp 8-12.
- RUFFIER, J. (1998). La eficiencia productiva: cómo funcionan las fábricas. Montevideo, Uruguay: CINTERFOR. 5 p.
- SAMANIEGO, R. 2006. Efecto de la producción orgánica y convencional de chile dulce (*Capsicum annum*) bajo invernadero sobre el componente planta-suelo en el cantón de Alfaro Ruiz, Costa Rica. Tesis Msc Agricultura Ecológica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 92 pp. En línea. Fecha de Consulta 12 de setiembre de 2019. En: <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A0983E/A0983E.PDF>

- SHAHAK, Y. 2008. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Hortic.* 161–168. En línea. Fecha de Consulta 12 de febrero de 2020. En: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.770.18>
- SERRANO, Z. 1994. Construcción de Invernaderos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. Pp 33-35.
- SILVA, P; MENEZES, O; OLIVEIRA, P. 2003. Distribuição do teor de sólidos solúveis totais no melão. *Hortic. Bras.* 21 (1): 31-33.
- TANNY, J. 2013. Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosyst. Eng.* En línea. Fecha de Consulta 12 de febrero de 2020. En: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.10.008>
- TANNY, J; HAIJUN, L; COHEN, S. 2006. Airflow characteristics, energy balance and eddy covariance measurements in a banana screenhouse. *Agricultural Forest Meteorology.* Pp 105–118.
- TANNY, J; Y COHEN, S. 2003. The effect of a small shade net on the properties of wind and selected boundary layer parameters above and within a citrus orchard. *Biosystems Engineering.* 84, 57–67. En línea. Fecha de Consulta 12 de febrero de 2020. En: [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00233-7](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00233-7)
- TEITEL, M; LIANG, H; TANNY, J; GARCIA-TERUEL, M; LEVI, A; IBANEZ, P; ALON, H. 2017. Effect of roof height on microclimate and plant characteristics in an insect-proof screenhouse with impermeable sidewalls. *Biosystems Engineering.* 162, 11–19. En línea. Fecha de Consulta 16 de febrero de 2020. En: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.07.001>
- TEITEL, M; GARCIA-TERUEL, M; IBANEZ, P.F; TANNY, J; LAUFER, S; LEVI, A; ANTLER, A. 2015. Airflow characteristics and patterns in screenhouses covered with fine-mesh screens with either roof or roof and side ventilation. *Biosystems Engineering.* 131, 1–14. En línea. Fecha de Consulta 15 de febrero de 2020. En: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.12.010>

- URBAN FARMER. 2020. California Wonder Pepper. En línea. Consultado el 15 de febrero del 2020. En: <https://www.ufseeds.com/product/california-wonder-pepper-seeds/>
- URBAN, L. 1997. Introduction a la production sous serre. En: CASTILLA, N. Invernaderos de plástico. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. Pp 147-158.
- VAN DER ZEE, A., VAN DER ZEE, J., MEYRAT, A., POVEDA, C., Y PICADO, L. 2012. Estudio de Caracterización del Corredor Seco Centroamericano. Honduras: FAO. Pp 8-23.

Anexos

Anexo 1. Plano de campo de los tratamientos





**SP1 = Casa de malla de 5 m SP2 = Casa de malla de 3 m SP3= Invernadero
SP4 = Sin Protección**

01 = Canzion 02 = Fabris 03 = Rojo Americano 04 = zidencá

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Anexo 2. Análisis de propiedades físicas y químicas del suelo

 <small>Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria</small>	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Abonos Orgánicos Tel-Fax: 2278-0514; e-mail: labsuelos@inta.go.cr	LDS F 17  SECTOR AGRO ALIMENTARIO
---	---	--

NOMBRE: EEJN8roberto)
 GUANACASTE-BEBEDERO

FECHA: 26/6/2015


UBICACIÓN:

FAX:

INFORME #:

IDENT.		pH	cmol(+)/L					mg/L					DESCRIPCIÓN
# LAB.	# CAMPO		Acidez	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe		
2950	1	5,4	0,15	10,5	3,6	1,18	35	2,2	19	8	8	CHILE	
2951	2	5,6	0,10	11,5	4,1	1,26	37	1,9	18	8	9		
			TEXT		Ret-Hum(Atmosfs)								
		arena	Arcilla	Limo	Text.	0,33	15,0	A.Util					
		30,0	40,00	30,0	FA/A	39,6 5	21,08	18,5 7					

Anexo 3. Análisis de laboratorio del Dpto. de Fitopatología del INTA

LF-F27	 Departamento de Servicios Técnicos. Laboratorio Servicios de Fitopatología. Mata Redonda, San José. Tel: 2231-5055		Versión: 1
			Fecha de emisión: 29/5/17
INFORME DE RESULTADO			Página 1 de 1

Fecha de informe: 16/03/2020	Fecha recepción: 5/03/2020	Nº Registro LAB: (20) 0355
Solicitante: Ing. Roberto Ramírez M.	Tipo de servicio: Fitopatología	
Propietario muestra: Ing. Ramírez	Cultivo: Chile dulce	Material recibido:
Código actividad INTA: HT08MG301-1-19		Planta entera
Provincia: Guanacaste	Cantón: Cañas	Distrito: No indica

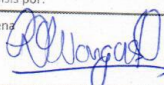
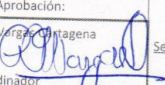

METODOLOGÍA: crecimiento hongo en cámara húmeda. Observación en el microscopio de luz y uso de catálogos especializados.

RESULTADO:

DESCRIPCIÓN MUESTRA	DIAGNOSTICO
Chile dulce "Bel": Muerte descendente	Crecimiento positivo hongo: <i>Sclerotium rolfsii</i> .

COMENTARIO GENERAL:

Evitar la generación de heridas o daños mecánicos. El hongo se ve favorecido por altas temperaturas y suelos húmedos. Erradicar las plantas afectadas. La rotación de cultivos con gramíneas reduce la incidencia. Aplicar en drench fungicidas benzimidazole (5 gramos / litro). El uso de hongos antagonistas tales como *Trichoderma* spp, *Gliocladium virens*, *Bacillus subtilis* y *Penicillium* spp podrían emplearse pero se debe de garantizar que las cepas que se utilicen tengan eficacia biológica comprobada contra el hongo de interés. Usar productos debidamente registrados y autorizados para el cultivo y plaga.

Análisis por:		Aprobación:	
Nombre: Luis Vargas Cartagena		Nombre: Luis Vargas Cartagena	
Firma:		Firma:	
Función: Área Fitopatología		Función: Coordinador	Sello: 

Anexo 4. Costo de construcción e instalación (US\$) por hectárea de un invernadero de 7 m de altura (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Característica	Cant./unidad	Precio unit. (US\$)	Costo (US\$)
Tubo metal (5 cm /2.80 mm)	459	32,62	14 973,04
Tubo metal (3,75 cm/1.50 mm)	1384	13,58	18794,57
Tubo metal (2,5 cm/1 mm)	12	8,90	106,79
Tubo rectangular	204	12,40	2529,86
Varilla lisa # 6	13	14,79	192,27
Varilla deformada # 3	243	3,51	853,09
Perfiles metálicos	1065	7,57	8060,38
Resortes adicionales	1500	1,19	1778,13
Cable de tensión # 1	6	453,00	2718,00
Cemento	73	11,31	825,42
Piedra + Arena (m ³)	12	27,36	318,56
Soldadura (kg)	408	1,31	533,21
Discos para cortar	204	5,25	1071,47
Plástico (rollos)	21	331,00	6951,00
Malla anti insecto	42	439,52	18 459,69
Sarán	7	1288	9016,00
*MO (Servicio profesional)			155 000
Monto total			242 181,48
Valor m ² (US\$)			24,22

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Anexo 5. Costo de construcción e instalación (US\$) por hectárea de una casa de malla de 5 m de altura. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Característica	Cantidad/unidad	Precio unitario (₡)	Costo (₡)
Tubo metal (5 cm /2.80mm)	6	17887,08	107322,48
Tubo metal (3,75 cm/1.50 mm)	7	4879,55	34156,85
Tubo metal (2,5 cm/1 mm)	3	7446,26	22338,78
Perfiles	7	4150	29050
Malla antiinsecto	5 paños de 30 m	2680	402000
MO (Planilla)	60 jornales	10400	624000
Monto total			₡1 218 868,11

Característica	Cant./unidad	Precio unit. (US\$)	Costo (US\$)
Tubo metal (5 cm /2.80 mm)	256	31,42	8043,37
Tubo metal (3,75 cm/1.50 mm)	80	13,08	1046,37
Tubo metal (2,5 cm/1 mm)	12	8,57	102,85
Varilla lisa # 6	20	15,36	307,11
Varilla deformada # 3	72	3,51	252,77
Perfiles metálicos	25	7,29	182,24
Cable tensor # 1	10	453,00	4530,00
Cable tensor # 2	1	187,00	187,00
Tapón PVC (5 cm)	60	0,65	38,85
Cemento	65	10,89	707,89
Piedra + Arena (m ³)	10	26,35	263,48
Soldadura (kg)	204	1,26	256,78
Discos para cortar	102	5,06	516,00
Malla anti insecto	33	423,33	13 969,79
Sarán (rollos)	7	1288,00	9016,00
Equipos industriales	4	729,49	2917,95
MO (Jornales)	3071	17,51	53 766,16
Monto total			96 104,62
Valor m ² (US\$)			9,61

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Anexo 6. Costo de construcción e instalación (US\$) por hectárea de una casa de malla de 3 m de altura. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Característica	Cant./unidad	Precio unit. (US\$)	Costo (US\$)
Tubo metal (5 cm/2.80 mm)	171	31,42	5372,72
Tubo metal (3,75 cm/1.50 mm)	60	13,08	784,78
Tubo metal (2,5 cm/1 mm)	12	8,57	102,85
Varilla lisa # 6	20	15,36	307,11
Varilla deformada # 3	72	3,51	252,77
Perfiles metálicos	25	7,29	182,24
Cable tensor # 1	9	453,00	4077,00
Cable tensor # 2	1	187,00	187,00
Tapón PVC (5 cm)	60	0,65	38,85
Cemento	65	10,89	707,89
Piedra + Arena (m ³)	10	26,35	263,48
Soldadura (kg)	204	1,26	256,78
Discos para corta	150	5,06	758,83
Malla anti insecto	30	423,33	12 699,81
Sarán (rollos)	7	1288,00	9016,00
Equipos industriales	4	702,62	2810,47
MO (Jornales)	1990	17,51	34 840,33
Monto total			72 658,91
Valor m ² (US\$)			7,27

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Anexo 7. Costo de construcción e instalación (US\$) por hectárea de un sistema de riego presurizado. (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Riego			
Rubro	Cant.	Valor/unit. (US\$)	Total (US\$)
Cintas de goteo (rollos)	4	145,90	583,59
Bomba de riego 4 Hp	1	455,93	455,93
Sist. de inyección de fertilizantes	1	1823,72	1823,72
Otros accesorios riego	varios	2735,58	2735,58
Total (US\$)			5598,82

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Anexo 8. Costos de producción en dólares (US\$) por hectárea para el cultivar Canzion. (E.E.E.J.N., Cañas, Gte.).

Mano de obra (M.O.)			
Rubro	Cant. (jornales)	*Costo/jornal	Total (US\$)
Trasplante	8		220,80
Limpieza	45		1242,00
Amarre de chile	55	27,60	1518,00
Fumigaciones	47		1297,20
Riego	5		146,87
Cosechas	21		579,60
Total			5004,47
Almácigos			
Rubro	Cant.	Valor/unit.	Total (US\$)
Valor de la semilla	20833	0,30	6249,90
Serv. de almácigo (bandejas)	163	5,80	945,31
Total			7195,21
Preparación de terrenos			
Rubro	Cant.	Valor/unit.	Total (US\$)
Serv. rastra 25 cm prof.	1	91,19	91,19
Serv. rastra 10 cm prof.	2	72,95	145,90
Serv. de encamado	1	127,66	127,66
Serv. de afinado de cama	1	127,66	127,66
Serv. roturación	0,5	91,19	45,59
Total			538,00
Nutrición			
Rubro	Cant./empaque	Valor/unit.	Total (US\$)
Fosfato monopotásico (25 kg)	6,00	29,18	175,08
Nitrato de Potasio (25 kg)	18,00	32,83	590,89
Sulfato de Magnesio (25 kg)	13,00	7,29	94,83
Nitrato de Calcio (25 kg)	18,00	12,77	229,79
Fetrilon (0,20 kg)	80,00	6,38	510,64
Total			1601,23
Productos químicos			
Rubro	Cant./empaque	Valor/unit.	Total (US\$)
Muralla (l)	4	40,12	160,49
Amistar (500 g)	4	127,66	510,64
Movento (l)	4	155,02	620,06
Proclaim (l)	8	29,18	233,44
Bayfolan (l)	16	8,21	131,31
Oro Bor (l)	5	145,90	729,49
Plástico acolchado (rollos)	2	145,90	291,80
Total			2677,22
Total general (US\$)			17 016,11

Nota: *Costo por jornal incluye cargas sociales y salario mínimo vigente al segundo semestre 2020. Decreto N° 42104-MTSS.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Anexo 9. Costos de producción en dólares (US\$) por hectárea para el cultivar Rojo Americano. (E.E.E.J.N., Cañas, Gte.).

Mano de obra (M.O.)			
Rubro	Cant. (jornales)	*Costo/jornal	Total (US\$)
Trasplante	8		220,80
Limpieza	45		1242,00
Amarre de chile	55		1518,00
Fumigaciones	47	27,60	1297,20
Riego	5		146,87
Cosechas	21		579,60
Total			5004,47
Almácigos			
Rubro	Cant.	Valor/unit.	Total (US\$)
Valor de la semilla	20833	0,03	721,88
Serv. de almácigo (bandejas)	163	5,80	945,31
Total			1667,18
Preparación de terrenos			
Rubro	Cant.	Valor/unit.	Total (US\$)
Serv. rastra 25 cm prof.	1	91,19	91,19
Serv. rastra 10 cm prof.	2	72,95	145,90
Serv. de encamado	1	127,66	127,66
Serv. de afinado de cama	1	127,66	127,66
Serv. roturación	0,5	91,19	45,59
Total			538,00
Nutrición			
Rubro	Cant./empaque	Valor/unit.	Total (US\$)
Fosfato monopotásico (25 kg)	6,00	29,18	175,08
Nitrato de Potasio (25 kg)	18,00	32,83	590,89
Sulfato de Magnesio (25 kg)	13,00	7,29	94,83
Nitrato de Calcio (25 kg)	18,00	12,77	229,79
Fetrilon (0,20 kg)	80,00	6,38	510,64
Total			1601,23
Insumos químicos			
Rubro	Cant./empaque	Valor/unit.	Total (US\$)
Muralla (l)	4	40,12	160,49
Amistar (500 g)	4	127,66	510,64
Movento (l)	4	155,02	620,06
Proclaim (l)	8	29,18	233,44
Bayfolan (l)	16	8,21	131,31
Oro Bor (l)	5	145,90	729,49
Plástico acolchado (rollos)	2	145,90	291,80
Total			2677,22
Total general (US\$)			11 488,09

Nota: *Costo por jornal incluye cargas sociales y salario mínimo vigente al segundo semestre 2020. Decreto N° 42104-MTSS.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Anexo 10. Imágenes del desarrollo de la evaluación



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



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



Fig. A 3. Planta y frutos del cultivar Canzion (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste).



Fig. A 4. Planta y frutos del cultivar Fabris (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste).



Fig. A 5. Planta y frutos del cultivar Rojo Americano (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste).



Fig. A 6. Planta y frutos del cultivar Zidenca (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste).



Fig. A 7. Evaluación del rendimiento productivo y grados Brix de cultivares de chile dulce (Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste).