

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE *Capsicum annuum* L.,
Lycopersicon esculentum M. Y *Cucumis melo* L. BAJO CULTIVO
PROTEGIDO HIDROPÓNICO UTILIZANDO
LA SOLUCIÓN UNIVERSAL DE STEINER**

**JOSÉ JAVIER ROJAS MÉNDEZ
FERNÁN PANIAGUA MADRIGAL**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

**TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS**

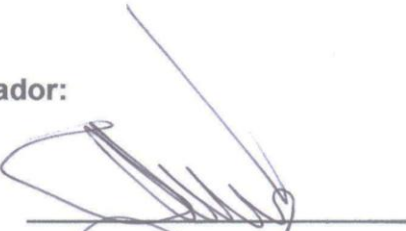
2015

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE *Capsicum annuum* L.,
Lycopersicon esculentum M. Y *Cucumis melo* L. BAJO CULTIVO
PROTEGIDO HIDROPÓNICO UTILIZANDO
LA SOLUCIÓN UNIVERSAL DE STEINER**

**JOSÉ JAVIER ROJAS MÉNDEZ
FERNÁN PANIAGUA MADRIGAL**

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

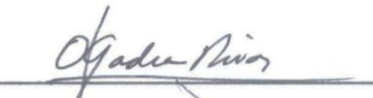
Ing. Agr. Carlos Ramírez Vargas, PhD.


Asesor

Ing. Agr. Parménides Furcal Beriguete, M.Sc.


Jurado

Ing. Agr. Arnoldo Gadea Rivas, M.Sc.


Jurado

Ing. Agr. Carlos Ramírez Vargas, PhD.


Coordinador
Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Alberto Camero Rey, M.Sc.


Director
Escuela de Agronomía



2015

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a las familias Paniagua Madrigal y Rojas Méndez, por su apoyo y soporte incondicional a lo largo de nuestros estudios.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Carlos Ramírez Vargas y a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Tecnológico de Costa Rica por darnos la oportunidad de desarrollar este proyecto.

A los profesores Marlen Camacho, Parménides Furcal, Zulay Castro Arnoldo Gadea, José Monge y César Naranjo por su colaboración.

A nuestros compañeros Alfredo Zamora, Óscar Castro, Marilyn Sánchez, Jacobo Solís, Carlos Cedeño, Gustavo Pereira, Johan Murillo, Wainer Ortiz, Diego Loría, Karla Chacón, Ronald Campos, Sergio Arias, José Durán y Tania Rodríguez por su ayuda en el trabajo de campo.

A los funcionarios Sailim Rojas, Fabián Vargas, Esteban Reyes, Alexander Paniagua, Juan Flores, Roberto Ruiz, Dennis Herrera, Sergio Castro y Nelson Gonzáles.

Y finalmente a todas las personas que compraron nuestros productos hidropónicos.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVO GENERAL	3
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1	Cultivos protegidos.....	4
2.2	Sistemas hidropónicos	6
2.3	Soluciones nutritivas	8
2.4	Solución Universal de Steiner	10
2.5	Absorción de nutrientes en cultivos hidropónicos.....	13
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1	Descripción del lugar y el periodo de estudio	14
3.2	Descripción general de la investigación	15
3.3	Descripción de la estructura de cultivo.....	15
3.4	Manejo agronómico de los cultivos	16
3.4.1	Preparación de la estructura de cultivo.....	16
3.4.2	Siembra y etapa de almácigo	17
3.4.3	Trasplante, podas, tutorado y manejo fitosanitario	19
3.4.4	Sistema de riego.....	24
3.4.5	Preparación de la solución universal de Steiner (1984).....	25
3.5	Material experimental	28
3.6	Diseño experimental.....	28
3.7	Modelo estadístico	29
3.8	Descripción de los tratamientos	30

3.9	Descripción de la unidad de estudio.....	30
3.10	Distribución espacial de los tratamientos	31
3.11	Variables evaluadas	33
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1	Análisis de crecimiento.....	35
4.2	Análisis de producción	44
4.3	Análisis de absorción de macronutrientes.....	57
4.4	Análisis de absorción de micronutrientes	66
5.	CONCLUSIONES.....	72
6.	RECOMENDACIONES	74
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	75
8.	ANEXOS	82

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°	Página
1. Cuadro de doble entrada para el cálculo y preparación de soluciones hidropónicas a partir de la intersección entre los equivalentes de los cationes y los aniones.....	12
2. Porcentajes relativos de cationes y aniones y equivalentes químicos de dichos iones para preparar la Solución Universal de Steiner (1984) a una conductividad eléctrica (CE) de 2mS/cm.	25
3. Cuadro de doble entrada para la preparación de la Solución Universal de Steiner (1984) con una conductividad eléctrica de 2mS/cm a partir de la intersección entre los equivalentes de los cationes y aniones.....	26
4. Cantidad de sales fertilizantes necesarias para preparar un volumen de 1.000 litros de la Solución Universal de Steiner (1984) a una concentración de 2mS/cm.	27
5. Composición de las fuentes de micronutrientes usadas en conjunto con la Solución Universal de Steiner. Tecnológico de Costa Rica, Santa Clara de San Carlos. 2013 – 2014.	27
6. Cultivares híbridos de tomate, chile dulce y melón cultivados bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013–2014.	28

7. Grados de libertad para las fuentes de variación en la investigación de tres especies hortícolas (<i>Lycopersicon esculentum</i> M., <i>Capsicum annuum</i> L., <i>Cucumis melo</i> L.) cultivadas bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013–2014.....	29
8. Descripción de los tratamientos en la investigación de tres especies hortícolas bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013-2014.	30
9. Variables evaluadas en la investigación de tres especies hortícolas (<i>Lycopersicon esculentum</i> M., <i>Capsicum annuum</i> L., <i>Cucumis melo</i> L.) cultivadas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, 2013-2014.....	34
10. Significancia de las variables de crecimiento en dos cultivares hortícolas de <i>Capsicum annuum</i> L., <i>Lycopersicon esculentum</i> M. y <i>Cucumis melo</i> L. bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.	35
11. Crecimiento de tres cultivos hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.....	36
12. Significancia de las variables de producción en dos cultivares hortícolas de <i>Capsicum annuum</i> L., <i>Lycopersicon esculentum</i> M. y <i>Cucumis melo</i> L. bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.	44

13. Producción en tres cultivos hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.....	44
14. Calidad de la cosecha durante un periodo de producción de 90 días en el cultivo de chile dulce (<i>Capsicum annum L.</i>) bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.....	46
15. Calidad de la cosecha durante un periodo de producción de 90 días en el cultivo de tomate <i>Lycopersicon esculentum M.</i> bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.....	49
16. Significancia de la concentración y extracción total de macronutrientes en dos cultivares de <i>Capsicum annum L.</i> , <i>Lycopersicon esculentum M.</i> y <i>Cucumis melo L.</i> bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.....	57
17. Absorción de macronutrientes en tres cultivos hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.....	58
18. Significancia de la concentración y extracción total de micronutrientes en dos cultivares de <i>Capsicum annum L.</i> , <i>Lycopersicon esculentum M.</i> y <i>Cucumis melo L.</i> bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.....	66
19. Absorción de micronutrientes en tres hortalizas producidos bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura N°	Página
1. Localización geográfica del lugar de estudio donde se cultivaron tres especies hortícolas (<i>Lycopersicon esculentum</i> M., <i>Capsicum annuum</i> L., <i>Cucumis melo</i> L.) bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013–2014.	14
2. Invernadero donde se cultivaron tres especies hortícolas (<i>Lycopersicon esculentum</i> M., <i>Capsicum annuum</i> L., <i>Cucumis melo</i> L.) bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013-2014.	16
3. Almacigos de chile dulce (<i>Capsicum annuum</i> L.), tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> M.) y melón cantaloupe (<i>C. melo</i> L.) cultivados bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013-2014.	18
4. Podas realizadas en el cultivo de tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> M.) bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica. San Carlos. 2013–2014.	20
5. Podas realizadas en el cultivo de chile dulce (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica. San Carlos. 2013–2014.	21
6. Tutorado en cultivos de chile dulce (<i>C. annuum</i> L.) y tomate (<i>L. esculentum</i> M.) bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013–2014.	22

7. Tutorado en el cultivo de melón (<i>C. melo</i> L.) bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013–2014.	23
8. Unidad experimental compuesta por veinte plantas de una de las tres especies hortícolas cultivadas bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013-2014.....	31
9. Croquis de los tratamientos utilizados en la investigación de tres especies hortícolas cultivadas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013-2014.	32
10. Sintomatología de <i>Didymella bryoniae</i> presentada en los cultivares de melón cantaloupe Sol Real y Acclaim bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.....	38
11. Peso seco de tres cultivos hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.....	39
12. Altura y número de hojas por planta de tres especies hortícolas cultivadas bajo sistema protegido hidropónico utilizando Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.....	42
13. Principales causas de rechazo de frutos y pérdidas de cosecha en los cv Nathalie y 4212 de chile dulce cultivados bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984).	47
14. Causas de rechazo de frutos y pérdidas de cosecha en los cv JR y Lyro de tomate cultivados bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984).	50

15. Peso de la cosecha y cantidad de frutos cosechados en chile dulce (<i>Capsicum annuum</i> L.) y tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> M.) bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.....	52
16. Número de frutos cuajados y cantidad de frutos cosechados en tres cultivos hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.	54
17. Absorción de macronutrientes en tres especies hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.....	63
18. Absorción de micronutrientes de especies hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.....	70

RESUMEN

Se cultivaron tres especies hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984) en la región tropical húmeda de San Carlos de Costa Rica, entre noviembre 2013 y mayo 2014. Se utilizaron los cultivares Nathalie y 4212 de chile dulce (*Capsicum annuum* L.), JR y Lyro de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.), Sol Real y Acclaim de melón cantaloupe (*Cucumis melo* L.), se establecieron dos tratamientos por cada cultivo que correspondieron a los cultivares en estudio, empleando un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo anidado y tres repeticiones por cada tratamiento. Se realizaron mediciones de crecimiento, producción y absorción de nutrientes. El crecimiento expresado como el peso seco total por planta en los cultivares de chile dulce fue 744,1g/planta en el cv Nathalie y 809,5g/planta en el cv 4212, en ambos con un 50% acumulado en la cosecha; en el tomate el cv JR alcanzó un peso seco de 703,4g/planta, inferior al cv Lyro que registró un peso seco de 1180,5g/planta acumulado 53,1% y 69,3% de cosecha respectivamente; en melón cantaloupe el cv Sol Real obtuvo un peso seco de 190,8g/planta y en el cv Acclaim se registraron 159,9g/planta. El rendimiento en chile dulce fue 4,69kg/planta en cv Nathalie y 4,70kg/planta en el cv 4212, tomate la producción fue de 8,5kg/planta en el cv JR y 10,9kg/planta en el cv Lyro, en ambos cultivares de melón cantaloupe los frutos producidos no fueron comerciables. En los cultivos de chile dulce y tomate el orden de absorción de macronutrientes fue K>N>Ca>P>Mg mientras que en el cultivo de melón fue K>N>Ca>Mg>P, el cv 4212 extrajo mayor cantidad de macronutrientes respecto al cv Nathalie, el cv Lyro absorbió mayor cantidad de N, Mg, K y P en comparación al cv JR que fue superior en la extracción de Ca; el cv Sol Real registró una mayor absorción de macronutrientes en comparación al cv Acclaim. El orden de absorción de micronutrientes difirió entre los cultivos estudiados, en el chile dulce los más extraídos fueron el Mn y el Zn mientras en el tomate fueron el Zn y el Fe; en el melón los micronutrientes más absorbidos fueron el Mn y el Fe. El uso de una nutrición limitada respecto a la Solución Universal de Steiner (1984) significó un desempeño distinto en las tres especies hortícolas estudiadas.

Palabras clave: hidroponía, pimiento, tomate, melón cantaloupe, crecimiento, producción, absorción de nutrientes.

ABSTRACT

Three horticultural crops were grown under greenhouse and hydroponic conditions using Steiner's Universal Nutrient Solution (1984) in the humid tropic San Carlos area, Costa Rica, on November 2013 and May 2014. Using the cultivars Nathalie and 4212 of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), JR and Lyro of tomato (*Lycopersicon esculentum* M.), Sol Real and Acclaim of cantaloupe melon (*Cucumis melo* L.), two treatments per crop were established which corresponded to each cultivar, a completely randomized design with nested array was used having three replications per treatment. Growth, yield and nutrient uptake were measured. Growth expressed as total dry weight per plant of sweet pepper was 744,1g/plant in cv Nathalie and 809,5g/plant in cv 4212, both cultivars reached 50% in the fruits, for tomato crop was reported 703,4g/plant in cv JR, less than cv Lyro which obtained 1180,5g/plant, representing 53,1% y 69,3% of the harvest respectively; for cantaloupe melon 190,8g/plant was reported in cv Sol Real and 159,9g/plant in cv Acclaim. Production in sweet pepper was 4,69kg/plant in cv Nathalie and 4,70kg/plant in cv 4212, for tomato crop the yield was 8,5kg/plant in cv JR and 10,9kg/plant in cv Lyro, no marketable fruits were obtained in both cultivars of cantaloupe melon. Macronutrient uptake order was K>N>Ca>P>Mg in sweet pepper and tomato crops whereas in cantaloupe melon was K>N>Ca>Mg>P, the cv 4212 reported higher uptake of macronutrients regarding to cv Nathalie, the cv Lyro absorbed more quantity of N, Mg, K y P in contrast to the cv JR which obtained greater Ca content, and the cv Sol Real reported more uptake of macronutrients than the cv Acclaim. Micronutrient uptake order was different for each crop studied; in sweet pepper the Mn and Zn were the most absorbed while in tomato were Zn and Fe; in cantaloupe melon the Mn and Fe were the most demanded micronutrients. The use of a limited nutrition regarding to the Steiner's Universal Nutrient Solution (1984) represented a different performance in the three horticultural crops under this study.

Keywords: hydroponics, sweet pepper, tomato, cantaloupe melon, growth, yield, nutrient uptake.

1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica la horticultura se ha desarrolla principalmente a campo abierto, presentándose problemas como alta incidencia de plagas y enfermedades, favorecidos por factores ambientales que también afectan los rendimientos de los cultivos y por tanto atentan contra la rentabilidad de la actividad (Ramírez y Nienhuis 2012).

La expansión demográfica que caracteriza al Valle Central de Costa Rica y la demanda creciente de productos ha generado desplazamiento de actividades hortícolas hacia zonas donde no se acostumbra su cultivo, ante esto es importante el estudio de los principales cultivos hortícolas de Costa Rica en regiones donde no se acostumbra su producción.

La técnica de cultivo protegido se considera una posible solución a estos problemas ya que permite producir hortalizas en zonas agroecológicas que tradicionalmente se han considerado no aptas para su cultivo, debido a sus condiciones ambientales de alta pluviosidad y elevada temperatura; además logra incrementar la producción por unidad de área, haciendo más competitiva a la actividad.

La horticultura protegida proporciona también otras ventajas, como lo son una menor utilización de plaguicidas y la capacidad de cultivar a lo largo de todo el año, lo que permite obtener mayor calidad en las cosechas y mejorar su rentabilidad económica. Sin embargo, el implementar este tipo de producción es más costoso para el productor, además los mismos requerirían mayor nivel de conocimiento técnico, logrado a través de una mayor transferencia tecnológica y capacitación en diversas áreas, como lo es la gestión empresarial (Ramírez *et al.* 2010; Ramírez y Neinhuis 2012).

Los invernaderos se incluyen dentro de las técnicas de cultivo protegido, estos se caracterizan por ser estructuras cerradas, construidos con materiales translúcidos con la finalidad de propiciar condiciones climáticas artificiales favorables o bien generar un microclima óptimo, específicamente controlando en mayor medida la radiación, precipitación, temperatura y la humedad incidente. Su finalidad es asegurar la producción de los cultivos y calidad de las cosechas; como un método de cultivo que representa para el sector hortícola pasar de la producción extensiva a la producción intensiva (Jaramillo *et al.* 2007). Costa Rica posee sólo 158 hectáreas dedicadas a producir hortalizas bajo sistema protegido (Ureña 2012), la mayoría concentradas también en el Valle Central. Se reporta poca incursión y estudio de la actividad en zonas no tradicionales, existiendo la posibilidad de elevar la producción, sembrar en climas adversos, mejorar la calidad de las cosechas y producir durante todo el año.

En horticultura protegida se utiliza la técnica de hidroponía, en la que no se usa el suelo, sino se sustituye por un medio inerte (sustrato) o inclusive por agua, donde los nutrientes minerales se administran siempre a baja concentración en conjunto con el agua de riego; a esta solución acuosa se le llama tradicionalmente solución nutritiva o solución hidropónica.

A nivel local existe poca información acerca de los requerimientos nutricionales de hortalizas bajo sistema protegido hidropónico; es de trascendencia productiva y económica cubrir estas necesidades nutricionales específicamente en cultivos hortícolas de fruto, con la finalidad de generar una condición no limitante y balanceada que permita alcanzar el máximo potencial genético de producción, o al menos acercarse a este. Actualmente existen múltiples formulaciones hidropónicas, incluyendo las propuestas por el holandés Abram Steiner (1984), quien se basó en la composición nutricional de muchas especies vegetales y consideró los antagonismos entre cationes y aniones, Steiner propuso una solución universal con variantes según fuese el producto final fruto o follaje.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el desarrollo de dos híbridos de tomate, chile dulce y melón cantaloupe bajo sistema protegido hidropónico abierto en Santa Clara de San Carlos utilizando la solución universal de Steiner (1984).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el crecimiento de dos cultivares híbridos de tomate, dos de chile dulce y dos de melón cantaloupe bajo sistema protegido hidropónico abierto en Santa Clara de San Carlos, Costa Rica.

Cuantificar el rendimiento de dos cultivares de tomate, de chile dulce y de melón cantaloupe bajo sistema protegido hidropónico abierto en Santa Clara de San Carlos, Costa Rica.

Determinar la extracción de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn de dos cultivares de tomate, chile dulce y melón cantaloupe, bajo sistema protegido hidropónico abierto en Santa Clara de San Carlos, Costa Rica, utilizando la Solución Universal de Steiner (1984).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cultivos protegidos

El cultivo protegido es un sistema agrícola en el que se emplean formas de protección física para las plantas contra las condiciones medioambientales adversas, controlando en cierta forma su medio edafoclimático, con la finalidad de alcanzar mayores productividades, mejorar la calidad de los productos, alargar los periodos de cosecha y extender las áreas de producción hacia regiones donde el ambiente dificulta cultivar a campo abierto (Wittwer & Castilla 1995; Castilla 2005).

Las técnicas de cultivo protegido permiten cierto control de la precipitación, velocidad del viento, humedad, temperatura, radiación, malezas, plagas insectiles, enfermedades, nutrientes minerales e inclusive la composición atmosférica, además al poder manipularse los factores que inciden en el crecimiento y desarrollo del cultivo se permite hacer un uso más eficiente de los insumos. Sus técnicas de cultivo incluyen dispositivos y tecnologías (sistema de riego, tutorado, barreras rompe viento); y estructuras (invernaderos multicapilla, serrados, de doble arco, macro túneles, micro túneles, casas sombra) con la finalidad de producir en lugares donde en otra forma no se lograría (Wittwer & Castilla 1995). Respecto a los inconvenientes de los sistema de cultivo protegido, se mencionan el alto costo inicial tras la inversión en estructuras, equipos e insumos; además de la alta especialización que debe tener el agricultor no solo en el aspecto técnico sino también en el campo empresarial (Ramírez *et al.* 2010).

Las primeras prácticas de protección en los cultivos se remontan a tiempos muy antiguos, desde la época del imperio romano, sin embargo, fue hasta la época del Renacimiento en el siglo XVI que se construyeron en Inglaterra, Holanda, Francia, Japón y China estructuras muy rudimentarias de madera o bambú cubiertas con paneles de vidrio o papel aceitado (Wittwer & Castilla 1995; Jensen 1997).

Aproximadamente un siglo después, en el hemisferio norte evolucionaron las primeras estructuras de protección, que consistían en una pared de ladrillos al lado norte y un techo de vidrio con una sola caída orientada hacia el sur, pensados principalmente en conservar el calor y aprovechar mejor la baja luminosidad; su uso inicialmente se limitó a preservar plantas en jardines botánicos (Castilla 2005), en el siglo XIX se generalizó el cultivo de uvas, melones, melocotones y fresas en estructuras de cristal con techo a dos aguas, y al finalizar este siglo se estableció la producción comercial con la introducción de los tomates. Rápidamente la tecnología se difundió a América y Asia, y tras la Segunda Guerra Mundial el se impulsó su dispersión, pero fue hasta 1948 en Kentucky, Estados Unidos que E. M. Emmert tuvo la primera idea de sustituir el vidrio por plástico, esta invención supuso la expansión de la superficie dedicada a cultivos protegidos, particularmente en Asia y los países mediterráneos, donde se presenció un incremento importante del uso de estructuras con cobertura plástica (más económicas que las de vidrio) para la producción de vegetales de alto valor (Witter & Castilla 1995; Castilla 2005; Garnaud 2000 citado por Cotec 2009).

En el mundo la tecnología de cultivo protegido ha permitido producir en diferentes condiciones agroecológicas, sobretodo en regiones con climas muy adversos, como en las zonas áridas del mediterráneo, la franja subtropical desértica y algunos países nórdicos (Castilla 2005). Actualmente se concentran mayormente en el Extremo Oriente, específicamente en China, Japón y Corea, quienes poseen el 80% del área que se haya cubierta bajo invernaderos en todo el mundo, seguido por la cuenca mediterránea con un 15%. Yang *et al.* (2013) reportan que para el 2010 China cuenta con 4,7 millones de hectáreas en invernaderos, mientras en el 2002 poseía 1,25 millones, cuadruplicando su área en ocho años, la región mediterránea posee alrededor de 163.000 ha de superficie bajo invernaderos, siendo España quien lidera en extensión, con aproximadamente 55.000 ha, concentradas en su mayoría en la región de Almería (Cotec 2009).

En Costa Rica, el Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos (ProNAP) indica que para el 2008 existían 687,68ha ocupadas por estructuras de protección, incluyendo micro y macro-túneles, techos rústicos, sarañes e invernaderos, de esta área la producción de hortalizas representa un 28%. Sin considerar las plantas ornamentales que ocupan un 67% del total en Costa Rica, la producción de solanáceas muestra ser la de mayor área cultivada bajo sistema protegido con 116ha registradas (17% del total). Las hortalizas de hoja registran una superficie de 25ha, frutales con 21, cucurbitáceas con trece y almácigos con nueve hectáreas; cabe destacar que el Valle Central concentra la mayor área bajo sistema de cultivo protegido, región que además se ha caracterizado por la producción de hortalizas a campo abierto, lo que evidencia la falta de incursión y estudio de la actividad en zonas donde las condiciones edafoclimáticas dificultan la producción hortícola (Marín 2010, Ureña 2012).

La hidroponía se desarrolló como una tecnología de cultivo protegido en la que no se usa el suelo (Jensen 1997), desde el siglo XVII se estudian mecanismos para cultivar plantas sin usar el suelo, sin embargo fue W. Gericke en las décadas de 1920 y 1930 quien estudió y promovió exitosamente la técnica de cultivo en agua, y en 1937 publicó un artículo en la revista *Science* en el que la denominó como hidroponía, que significa “trabajo en agua” (Gericke 1938; Hanan 1998). A partir de 1980 se consideró a la hidroponía como una técnica de producción de alto valor comercial para el cultivo de hortalizas y plantas ornamentales bajo invernadero (Jones 2005, Rodríguez 2012).

2.2 Sistemas hidropónicos

La hidroponía es una forma de cultivo sin uso del suelo, en el cual las raíces de las plantas se anclan en un sustrato inerte ya sea orgánico o inorgánico, o bien crecen suspendidas en una solución nutritiva continuamente oxigenada o en movimiento (Alpizar 2008; Jones 2005). Los sistemas hidropónicos suministran en el agua de riego la mínima cantidad de nutrientes necesarios para desarrollar cultivos sanos y altamente productivos (Sánchez & Escalante 1988; Samperio 2009; Trejo & Gómez 2012), en conjunto con los sistemas protegidos permiten

brindar un gran número de ventajas, tanto técnicas como económicas, entre las que se pueden mencionar el cultivo en regiones con suelos muy deficientes o contaminados, la maximización del uso del área tras permitir mayores densidades poblacionales, la conservación del recurso agua y nutrientes, reducción de problemas fitosanitarios al ser sistemas estériles, control de condiciones fisicoquímicas que rodean la raíz de la planta, disminución de costos de producción, aumento de la calidad del producto, menor impacto al medio ambiente y la posibilidad de producir durante todo el año tras una menor dependencia de las condiciones climatológicas (Jones 2005; Quesada 2011; Rodríguez 2012).

Los sistemas hidropónicos pueden clasificarse en dos grupos, los cerrados y los abiertos, en los primeros la solución nutritiva recircula aportando de manera continua los elementos absorbidos por la planta, se caracterizan por tener pérdidas nulas de solución y por tanto un uso más eficiente del recurso mineral e hídrico, pero existe un mayor riesgo de transmisión de fitopatógenos y acumulación de sustancias tóxicas; los sistemas abiertos por lo contrario no reciclan el exceso de solución nutritiva, sino que esta se pierde por lixiviación cuando existe una saturación del medio de cultivo en el que se encuentran las raíces (Keith 2003, Rodríguez *et al.* 2006). Aunque la mayoría de sistemas hidropónicos trabajan con sustrato para el anclaje del sistema radical, algunos no lo usan, como sucede en los sistemas de raíz flotante, *nutrient film technique* (NFT), *deep flow technique* (DFT) y el sistema aeropónico, también conocidas como técnicas de “hidroponía pura” o hidroponía en sentido estricto (Resh 2001; Alpízar 2008; Quesada 2011; Jones 2012).

Según Alpízar (2008) el sistema hidropónico consta de cinco componentes: las plantas, los contenedores, el sistema de riego y drenaje, el sustrato y la solución nutritiva. En el mercado existe gran variedad de contenedores que se emplean en hidroponía, según el hábito de crecimiento de las plantas que se desean cultivar, se pueden emplear macetas, bolsas plásticas, canales, canaletas, mangas, bandejas, cajones de madera cubiertos con plástico e inclusive tubería PVC como en los sistemas NFT (Alpízar 2008; Samperio 2009). En cuanto a los

sistemas de riego, el más empleado en invernaderos es el localizado, entre los que destacan el riego por goteo, micro-aspersión y nebulización, este se encarga de distribuir y suministrar el agua y los nutrientes a las plantas (Bastida & Ramírez 2002).

El sustrato es el componente del sistema hidropónico que sustituye al suelo como el medio en el que crecen las raíces y se anclan las plantas, aunque algunos utilizan únicamente agua como medio de cultivo, requiriendo además su oxigenación. Los sustratos se clasifican en minerales u orgánicos; entre los primeros están los de origen natural, como la grava y la arena (de río, mar y volcánica), y los modificados, como la arcilla expandida, lana de roca (*rockwool*), perlita y vermiculita. Entre los medios orgánicos se encuentran los de origen natural (turbas), los sintéticos (espuma de poliuretano y poliestireno expandido), y también los originados a partir de subproductos como la cascarilla de arroz, estiércol, aserrín y fibra de coco (Cadaña 2005).

La solución nutritiva es el componente del sistema hidropónico que nutre a las plantas, está compuesta por los macro y micro-nutrientes disueltos en agua, en cantidades necesarias para el buen crecimiento y desarrollo de los cultivos, a una concentración adecuada para el sano funcionamiento de las raíces, temperatura y pH óptimo que mantenga los nutrientes disponibles y de forma balanceada en cantidad de aniones y cationes (Steiner 1968; Sánchez & Escalante 1988; Burgueño 1997; Alpizar 2008).

2.3 Soluciones nutritivas

Resh (2001) se refiere a la solución nutritiva como la mezcla de todos los nutrientes en solución considerados esenciales para las plantas, a una concentración y relaciones elementales que favorecen su absorción por el cultivo. La base de la mayor parte las soluciones nutritivas hidropónicas tienen origen en las dos formulaciones propuestas por Hoagland & Arnon (1950) en su estudio "*The water-culture method for growing plants without soil*", esta publicación ha sido la más citada en literatura referente a ciencias agrícolas (Jones, 2005); a partir de

ese momento se han formulado muchas soluciones nutritivas para cultivar plantas sin suelo, A. Steiner reportó en 1968 la publicación de más de 300 formulaciones distintas (Hanan 1998).

Entre los factores que caracterizan a la solución nutritiva se encuentra el pH, que se caracteriza por ser inherente a su composición mineral, influye en las reacciones de combinación, disociación y precipitación en la solución nutritiva, lo que podría afectar la distribución elemental en la misma y por tanto la biodisponibilidad de los nutrientes para las plantas (Rick & Schrevens 1997; Juárez *et al.* 2006). Diferentes autores reportan valores óptimos del pH que oscilan entre 5,5 y 6,5 (Lara 2000, Jones 2005, Castellanos 2009). El monitoreo de esta variable adquiere más relevancia en sistemas hidropónicos cerrados.

La conductividad eléctrica es el factor de la solución nutritiva que representa la cantidad de iones disueltos en la misma, entre mayor sea la concentración de sales minerales, mayor será su conductividad eléctrica (presión osmótica) y menor su potencial osmótico (Taiz & Zeiger 2002). Al incrementar la conductividad eléctrica, los cultivos realizan un mayor gasto energético para la absorción de agua y nutrientes, lo que repercute negativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Asher & Edwards y Ehret & Ho citados por Lara 2000). Los valores de conductividad eléctrica utilizados en sistemas hidropónicos son bajos y oscilan entre 1,5 a 2,5mS/cm (Alpizar 2008), sin embargo su designación debe ser acorde con el cultivo en cuestión y las condiciones climatológicas imperantes (Burgueño 1997; Juárez *et al.* 2006); Jensen y Tanji citados por Trejo & Gómez (2012) reportan el uso de conductividades de hasta 3mS/cm en brócoli, repollo, tomate, pepino, rábano y chile.

La temperatura y el oxígeno disuelto son otros dos factores que caracterizan a la solución nutritiva; la temperatura presenta una relación directa con la cantidad de oxígeno consumido por la planta e inversamente proporcional al oxígeno disuelto en la solución. A temperaturas menores o iguales a 22°C la cantidad de oxígeno en la solución hidropónica permite abastecer lo requerido por la planta, sin embargo, a estas temperaturas se afecta la velocidad de algunos

procesos fisiológicos y con ello se reduce su crecimiento; temperaturas de la solución menores a 15°C deben ser evitadas para prevenir la reducción significativa en la absorción de nutrientes. A temperaturas superiores a los 22°C sucede lo contrario, la planta demanda mayor cantidad de oxígeno en la solución, que no es satisfecha debido a un incremento en la difusión de este nutriente, por lo tanto se considera ideal mantener la temperatura de la solución lo más cercana posible a 22°C (Graves 1983 citado por Lara 2000).

La composición de la solución hidropónica es el factor que presenta más variaciones; a lo largo de la historia, investigadores y agricultores han desarrollado sus propias formulaciones acorde a la demanda nutricional de la especie y el sistema hidropónico utilizado, según Voogt (2002) citado por Juárez *et al.* (2006) esta composición debe mantener una proporción que permita suplir de forma no limitante la extracción de los nutrientes requeridos por el cultivo; Abram Steiner en 1961 propuso el concepto de “Solución Nutritiva Universal” al estudiar diferentes proporciones de los iones que la componen, asegurando que los cultivos podrían crecer bien al manejar un correcto balance entre cationes y aniones.

2.4 Solución Universal de Steiner

Steiner (1961a; 1961b;1968) probó diferentes proporciones de nutrientes para los tres cationes (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}) y tres aniones (NO_3^- , $H_2PO_4^-$, SO_4^{-2}) que componen la solución nutritiva en gran cantidad de cultivos, siendo el primero en recibir mayor atención por su desarrollo de una solución ideal (Hanan 1998), en la que emplea el concepto de “relación iónica mutua” para referirse al balance entre los cationes y los aniones en dicha solución. En su trabajo Steiner indica que las plantas podrían cultivarse exitosamente con el uso de una solución nutritiva constituida por 50 a 70% NO_3^- , 3 a 20% $H_2PO_4^-$ y 25 a 40% SO_4^{-2} relativo al total de aniones; y por 30 a 40% K^+ , 35 a 55% Ca^{+2} y 15 a 30% Mg^{+2} relativo al total de cationes. Con esto sugirió que existe una mínima concentración de iones por debajo de la cual la planta no logra nutrirse lo suficiente, y por otro lado hay una concentración máxima sobre la que realiza un consumo de lujo.

En su metodología para formular soluciones Steiner contempla tres aspectos fundamentales: la conductividad eléctrica, la relación iónica mutua y el pH, sugiriendo que la “Solución Nutritiva Universal” debía contener las proporciones de aniones 60% NO_3^- , 5% H_2PO_4^- y 35% SO_4^{2-} , y de cationes 35% K^+ , 45% Ca^{+2} , 20% Mg^{+2} . Así, su procedimiento inicialmente considera definir la conductividad eléctrica (CE) deseada; posteriormente se calcula la concentración de la suma de aniones o cationes al multiplicar la CE por 10, resultado en miliequivalentes por litro (meq/l). Finalmente se multiplica esta concentración total por los porcentajes de cada ión que componen la fórmula universal de Steiner para obtener los miliequivalentes por litro de los nutrientes en la solución. Una vez calculados los equivalentes químicos de los aniones y los cationes en la solución, solamente resta determinar cuáles sales fertilizantes se usarán y en qué cantidad.

Por ejemplo, si se desea formular una solución nutritiva con una CE de 2 mS/cm, se tendría una concentración total de aniones (o de cationes) de 20 meq/l, y una concentración de los nutrientes de 12, 1 y 7 meq/l para el NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , y 7, 9 y 4 meq/l para el K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} respectivamente. Estos valores se introducen en una matriz o cuadro de doble entrada que facilita calcular los miliequivalentes por litro de las sales fertilizantes a usar según las fuentes disponibles, al distribuir los meq/l de cada ión dentro del cuadro, en la intersección que corresponda a la sal respectiva (**Cuadro 1**). Así, la intersección entre el anión SO_4^{2-} y el catión K^+ resultaría en sulfato de potasio (K_2SO_4) indicando los meq/l de esta sal; de igual manera se completa la solución con las sales fertilizantes restantes, manteniendo la concentración de cationes y aniones inicialmente establecida.

Cuadro 1. Cuadro de doble entrada para el cálculo y preparación de soluciones hidropónicas a partir de la intersección entre los equivalentes de los cationes y los aniones

Catión/Anión	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁻²	Σ
K⁺	3	1	3	7
Ca⁺²	9			9
Mg⁺²			4	4
Σ	12	1	7	20

Solución universal propuesta por Steiner a una conductividad de 2mS/cm.

En el caso de los micronutrientes, Steiner en 1984 recomendó utilizar en su fórmula universal una concentración de 1,3, 0,6, 0,13, 0,02, 0,05 y 0,44 ppm de Fe, Mn, Zn, Cu, Mo y B respectivamente (Castellanos 2009). El suministro de estos nutrientes en la solución nutritiva es cuantitativamente muy inferior en comparación al suministro de los macronutrientes, por lo tanto la proporción de micronutrientes no posee efecto significativo en la CE (Sonneveld & Voogt 2009 citados por Trejo & Gómez 2012).

Las absorciones de nutrientes de muchas especies cultivadas fueron consideradas por Steiner para formular su Solución Nutritiva Universal pero igualmente gran cantidad de autores han publicado y recomendado soluciones hidropónicas formuladas para condiciones específicas, entre ellas distintos climas, latitudes, técnicas de producción, etapa fenológica y especie a cultivar, considerando el contenido de nutrientes en la planta que representan la información inicial requerida para formular soluciones nutritivas (Steiner 1966; Hanan 1998; Hochmuth & Hochmuth 2001; Jones 2005).

2.5 Absorción de nutrientes en cultivos hidropónicos

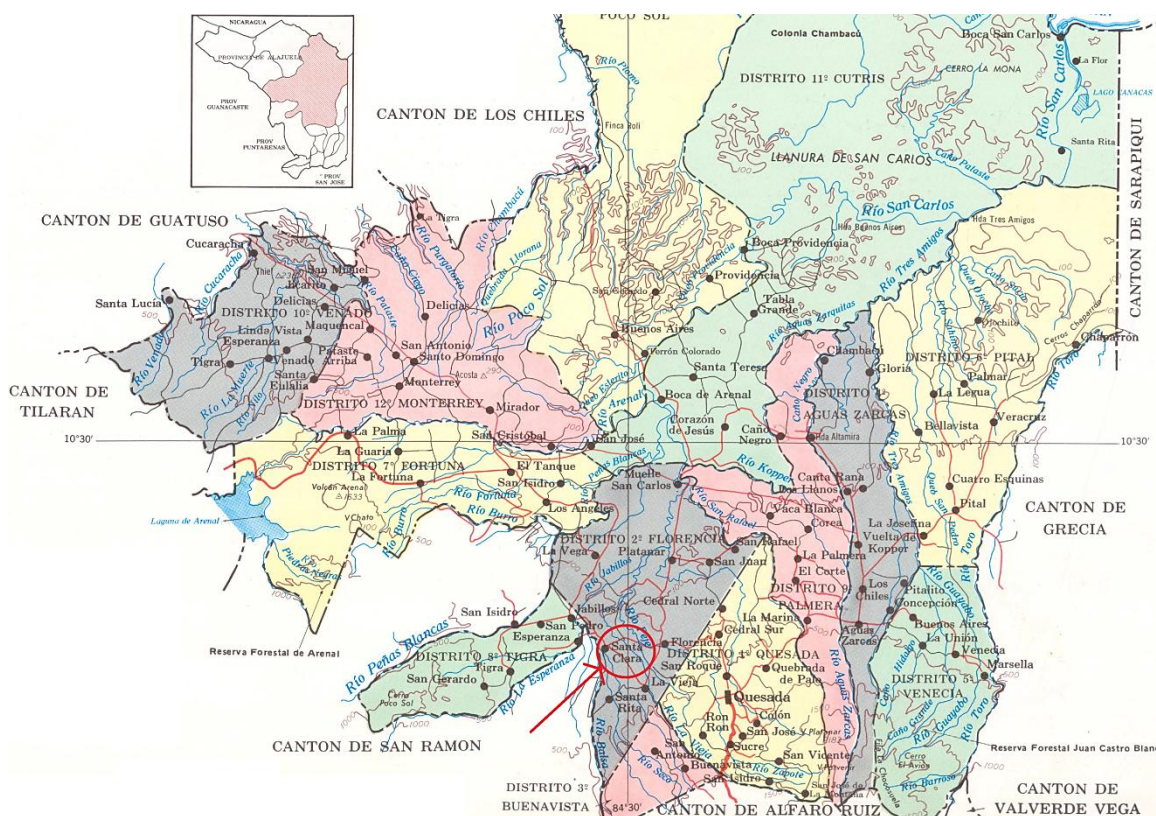
La absorción de nutrientes se refiere al requerimiento, extracción o consumo de nutrimentos que efectúa un cultivo para completar su ciclo de producción, estas absorciones representan las cantidades mínimas necesarias para alcanzar un determinado rendimiento (Bertsch 2003). Loneragan citado por Hanan (1998) describen el requerimiento nutricional “funcional” como la mínima concentración en los tejidos que posibilita un crecimiento no limitante en el que no hay exceso (desperdicio) de un determinado nutriente pero tampoco se hay deficiencia.

Los estudios de absorción de nutrientes en cultivos hidropónicos permiten disminuir los factores del suelo que imposibilitan conocer con precisión la extracción neta del cultivo (Calderón 2005). Las soluciones nutritivas se formulan a partir del contenido de nutrientes presente en la planta, los cuales son estimados principalmente a partir de análisis de tejidos (Hanan 1998); la utilización de una solución nutritiva universal posibilita el buen crecimiento de múltiples cultivos sin embargo la extracción de nutrientes difiere según la especie y las condiciones imperantes, por esto la formulación a partir de resultados propios de análisis de tejidos permite generar una condición nutricional menos limitante para alcanzar la máxima expresión posible del potencial genético del cultivo (Graves 1983 citado por Lara 2000; Steiner 1984).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del lugar y el periodo de estudio

El trabajo de campo se llevó a cabo en la Sede Regional San Carlos del Tecnológico de Costa Rica, ubicado en la comunidad de Santa Clara, distrito de Florencia del cantón de San Carlos, provincia de Alajuela, iniciando las evaluaciones el 26 de noviembre del 2013 con el trasplante de los almácigos y culminando el 26 de mayo del 2014. Dicha localidad se halla a 165 msnm aproximadamente en las coordenadas 10°21'43" Norte y 84°30'36" Oeste (Figura 1).



Modificado del Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM, 1985)

Figura 1. Localización geográfica del lugar de estudio donde se cultivaron tres especies hortícolas (*Lycopersicon esculentum* M., *Capsicum annuum* L., *Cucumis melo* L.) bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013–2014.

El lugar de estudio presenta clima tropical húmedo que caracteriza a la región Huetar Norte del país, de acuerdo con la descripción propuesta por Holdridge (1982) citado por Quesada (2007) acerca de las zonas de vida existentes en Costa Rica. Respecto a las condiciones climáticas, la precipitación promedio anual es de 3.400 mm, temperatura media de 25,4°C (temperatura mínima promedio de 20,8°C y máxima promedio de 30°C) y humedad relativa (HR) media de 87% (HR mínima promedio de 80% y máxima promedio de 93%). Estos datos meteorológicos corresponden a los valores registrados desde el año 2000 hasta abril del 2013, tomados en la estación meteorológica del Tecnológico de Costa Rica Sede Regional San Carlos ubicada en la finca La Esmeralda, aproximadamente a 200 metros de distancia del invernadero donde se realizaron los ensayos; en el **Anexo 1** se presenta con mayor detalle el registro climático.

3.2 Descripción general de la investigación

Se sembraron dos cultivares híbridos de amplio uso comercial, pertenecientes a tres especies hortícolas (*Lycopersicon esculentum* M., *Capsicum annuum* L., *Cucumis melo* L.) cultivadas bajo sistema protegido hidropónico abierto usando la Solución Nutritiva Universal de Steiner (1984) y un sustrato inerte dentro de contenedores plásticos. Durante el periodo de estudio se midieron variables de crecimiento, producción y absorción de nutrientes.

3.3 Descripción de la estructura de cultivo

El invernadero cuenta con un área de 270m² y presenta 30m de longitud, 9m de ancho, 4,5m de altura de la pared, 7,5m de altura de la cumbrera y 1,20m de ventana cenital. Las paredes fueron malla antiáfidos con una densidad de 1.024mesh, el techo una cobertura plástica de polietileno de baja densidad con filtro UV, y como piso se empleó una cubierta plástica blanca conocida como *Ground Cover*, que dispersa con mayor uniformidad la luz directa incidente y permite el drenaje de fluidos. En la siguiente figura se observa el invernadero y sus características.



Figura 2. Invernadero donde se cultivaron tres especies hortícolas (*Lycopersicon esculentum* M., *Capsicum annuum* L., *Cucumis melo* L.) bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013-2014.

3.4 Manejo agronómico de los cultivos

3.4.1 Preparación de la estructura de cultivo

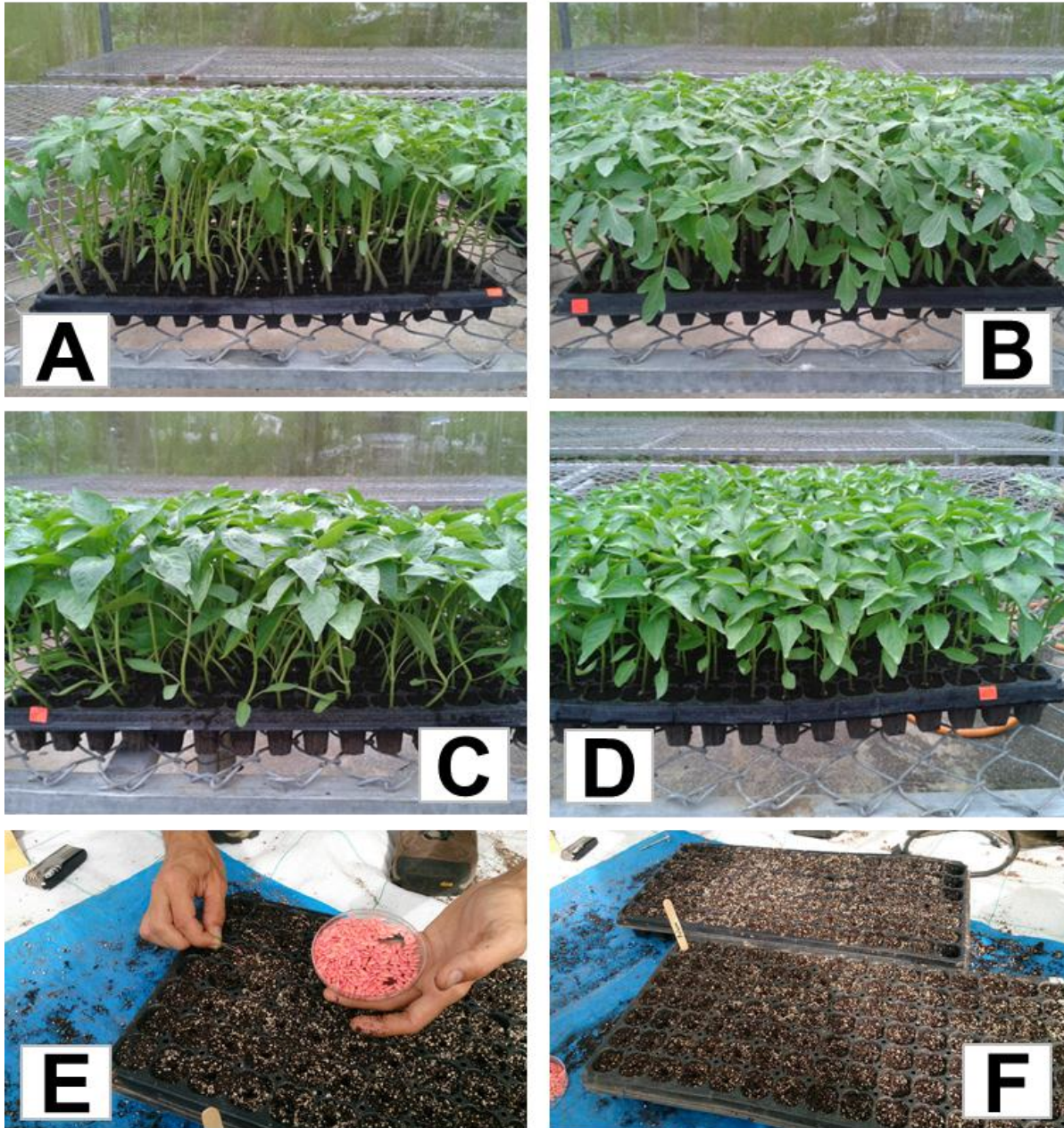
Previo al trasplante se limpió la estructura del invernadero (contenedores, paredes, techo, canoas e interior); la malla antiáfidos se lavó con una hidrolavadora DPD3800 (DeWalt, USA), se realizaron reparaciones en los drenajes y el piso, y se colocó el *Ground cover* blanco sobre la superficie; también se procedió a cribar el sustrato para uniformizar su tamaño de partícula y se esterilizó mediante la aplicación del desinfectante yodado Vanodine V18 (Evans Vanodine International, Gran Bretaña).

Las plántulas se sembraron en contenedores plásticos de diez litros, se usó como sustrato arena roja volcánica, también llamado tezontle, el cual ha sido utilizado efectivamente en múltiples estudios de producción hortícola (Lara 2000, Ojodeagua *et al.* 2008, Quesada 2011, Valentín *et al.* 2013). El tezontle como sustrato para hidroponía posee una relación inversa muy estrecha entre su retención de agua y su capacidad de aireación, por lo que es fundamental su

cribado para lograr una granulometría de 0,25 a 1,00mm, que representa el tamaño de partícula ideal para una correcta relación agua-aire (Vargas *et al.* 2008). Según Quesada (2011), la piedra roja volcánica presenta un comportamiento agronómico tan bueno como el compost maduro bajo un régimen de fertilización del 100% de la solución universal de Steiner en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.). Dicho sustrato se caracteriza por ser inerte químicamente y tener un considerable espacio poroso, es de bajo costo y fácil disponibilidad, por lo que resulta ser una buena alternativa como medio de cultivo para sistemas hidropónicos de la región.

3.4.2 Siembra y etapa de almácigo

La producción de los almácigos se llevó a cabo en un invernadero de 144m² localizado también dentro del campus de la Sede Regional San Carlos del Tecnológico de Costa Rica, cercano al invernadero donde se establecieron los ensayos. Las semillas se sembraron en bandejas plásticas de 105 celdas, usando *peat moss* como sustrato (*Germination mix*, Fafard, Canadá) y se colocaron sobre mesas metálicas de un metro de altura (**Figura 3**), irrigándose con un equipo de aspersión tipo *spray boom*, el cual estaba unido a dos pares de rodines montados en rieles que permitían su desplazamiento sobre las mesas, regando las plántulas de manera uniforme y semi automatizada.



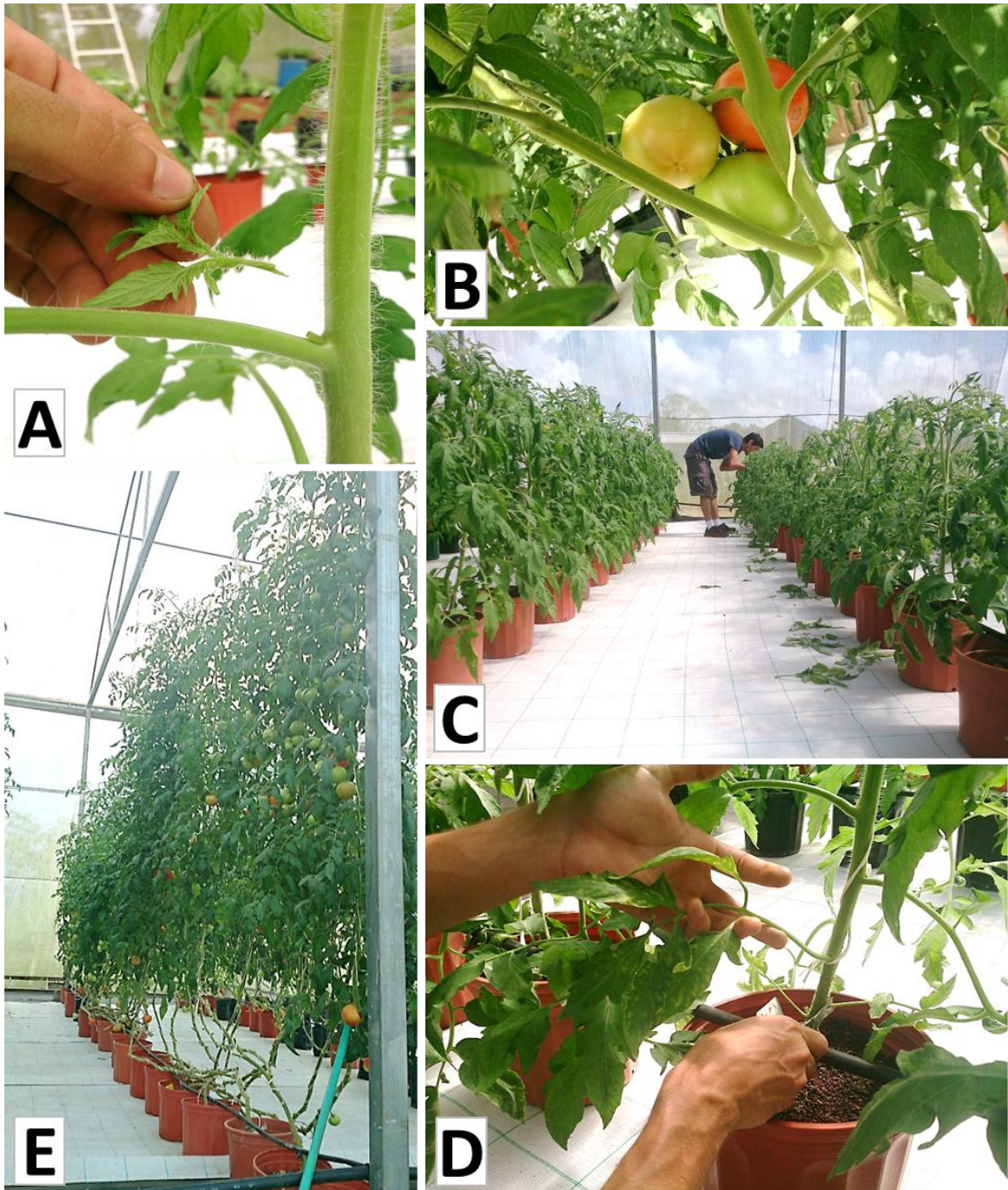
A y B: tomate Lyro y JR respectivamente; **C y D:** chile dulce Nathalie y 4212 en respectivo orden; **E y F:** siembra del melón híbridos Sol Real y Acclaim.

Figura 3. Almacigos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.), tomate (*Lycopersicon esculentum* M.) y melón cantaloupe (*C. melo* L.) cultivados bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013-2014.

3.4.3 Trasplante, podas, tutorado y manejo fitosanitario

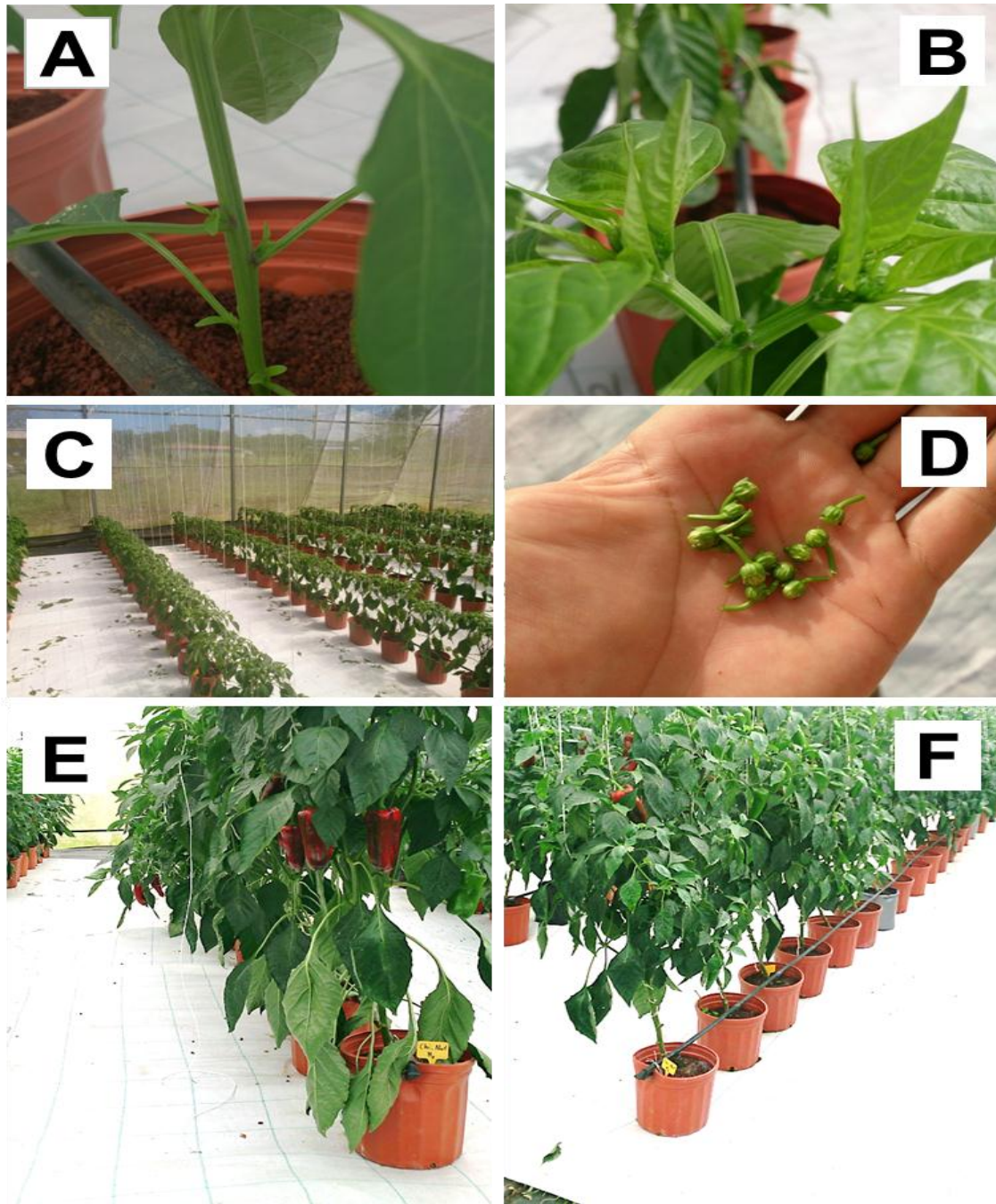
El espaciamiento entre hileras fue de 1,5m y 0,40m entre plantas para las tres especies hortícolas estudiadas, se trasplantó una planta por contenedor resultando en una densidad de 16.667plantas/ha; la edad al trasplante fue distinta para cada especie, basándose en recomendaciones literarias se a trasplantó el chile dulce a los 45 días después de la siembra (DDS), el tomate a los 35DDS y melón a los 12DDS. Reveles *et al.* (2010) y Carrillo *et al.* (2007) han afirmado que el tiempo necesario para obtener una plántula de chile dulce va de 40 a 50DDS, cuando posea una altura de entre 10 y 12cm y de tres a cuatro pares de hojas verdaderas. Montaña-Mata & Núñez citados por Reveles *et al.* (2010) mencionan que el rendimiento se ve significativamente reducido al llevar al campo una plántula de chile dulce de menos de 35DDS. Para el caso del tomate se recomienda hacer el trasplante aproximadamente a los 30-35DDS cuando las plántulas tienen entre tres y cuatro hojas verdaderas (Vavrina 1998; Sánchez *et al.* 2009). Respecto al melón, Robles *et al.* (2005) recomienda hacer el trasplante alrededor de los 15DDS, cuando las plántulas han desarrollado la segunda hoja verdadera.

En cuanto a las podas, en la **Figura 4** se observa que cada cultivo presentó sus particularidades, el tomate se trabajó con dos tallos ortotrópicos por planta, se realizó poda semanal de rebrotes vegetativos los cuales actúan como sumideros indeseables, y poda tardía de hojas bajas en busca de facilitar la práctica de agobiado, mejorar el microclima basal y eliminar posibles fuentes de inóculo. En el caso del chile dulce se podó en una sola ocasión los rebrotes y hojas que crecieron en el tallo principal por debajo de la primera bifurcación, además se podaron las primeras flores que emergieron en dicha ramificación (**Figura 5**). Respecto al melón cantaloupe no se realizaron podas y debido a que es un cultivo de polinización cruzada se introdujo una colmena de *Tetragonisca angustula* a los 33DDT.



A y C: poda de chupones a los 18 y 28DDT respectivamente, **B:** planta a los 58DDT con dos tallos ortotrópicos, **D:** inicio de poda de hojas bajas a los 28DDT, **E:** plantas de tomate a los 127DDT agobiadas y exhibiendo la base de sus tallos libres de hojas.

Figura 4. Podas realizadas en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.) bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica. San Carlos. 2013–2014.



A: emergencia de rebrotes en el tallo principal a los 17DDT, **B y D:** poda de las primeras flores que aparecen en la bifurcación a los 24DDT, **C:** ensayo de chile dulce a los 38DDT después de la poda de rebrotes, **E:** hilera de plantas con todas sus hojas bajas a los 92DDT, **F:** plantas después de la poda de hojas bajas a los 115DDT.

Figura 5. Podas realizadas en el cultivo de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica. San Carlos. 2013–2014.

Para tutorar las plantas se colocó un sistema de cables acerados sobre cada hilera de contenedores que servía como un soporte para colgar los mecates que sostuvieron las plantas en el caso de chile dulce y tomate (**Figura 6**), o la malla de polietileno en el caso del melón que busca aprovechar la habilidad trepadora de las cucurbitáceas (**Figura 7**). Las plantas fueron tutoradas en la medida que lo requerían.



A la izquierda se muestra la técnica de tutorado con ganchos de alambre, a la derecha una vista completa de los ensayos de tomate y chile dulce tutorados a los 26DDT.

Figura 6. Tutorado en cultivos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*L. esculentum* M.) bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013–2014.



A la izquierda plantas de melón cantaloupe sin tutorar; a la derecha plantas tutoradas con malla de polietileno (27DDT).

Figura 7. Tutorado en el cultivo de melón (*C. melo* L.) bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013–2014.

Las aplicaciones de productos fitosanitarios se realizaron con una bomba de espalda Supercarpi con capacidad para 16 litros (Carpi, Italia), en el **Anexo 2** se muestra el plan de manejo fitosanitario realizado para los tres cultivos en estudio, detallando específicamente el día de aplicación (DDT), motivo de aplicación (preventivo o curativo), la plaga o patógeno a combatir, nombre comercial del producto e ingrediente activo, dosis, volumen empleado. El programa fitosanitario realizado considera un manejo integrado de plagas, en el que muy pocas aplicaciones fueron de carácter preventivo, siendo estas exclusivas ante circunstancias especiales como las podas o ante plagas con poco margen de tolerancia como las que afectan los brotes o puntos de crecimiento, la floración, fructificación, cosecha y la población. Las aplicaciones se realizaron tras un análisis previo y su justificación se basó en la constante observación de los ensayos, la evolución de los problemas presentes y su comportamiento ante diferentes condiciones ambientales, el buen manejo de los umbrales económicos y la experiencia de los ejecutores del proyecto.

3.4.4 Sistema de riego

Se instalaron 20 mangueras de polietileno virgen de 12mm de diámetro y 9m de largo, una por cada hilera de cultivo, ubicadas de manera transversal a la estructura para facilitar la circulación de los vientos predominantes presentes en lugar de estudio, y además coincidir con el movimiento del sol de este a oeste. Dichas mangueras se conectaban a una tubería principal de una pulgada de diámetro cada 1,5m (distancia entre hileras), a través de la cual la bomba centrífuga de 0,5hp/110v modelo PM60 (Foras, Italia) impulsaba la solución nutritiva contenida en un tanque con capacidad para 1000 litros. Los goteros usados tenían un caudal de 2,5 litros por hora y se colocaron en las mangueras de 12mm a 40cm de distancia entre sí (distancia entre plantas). Una vez finalizada la instalación del sistema se procedió a calibrar su presión aproximadamente a 12psi con el uso de un manómetro analógico (Campbell, China) en busca de uniformizar el caudal de salida de los goteros, aspecto que fue corroborado uno por uno tras realizar mediciones de descarga en un tiempo determinado con probetas de 100ml 20025-H (Tekk, USA).

La bomba centrífuga se accionaba por medio de un programador de riegos *Timer EZ Pro jr 8300* (Nelson, USA) y un contactor LC1D12 (Schneider Electric, Francia), y una válvula solenoide (Irritec, Italia) se encargaba de dar paso a la solución hidropónica hacia el sistema, además se instaló un filtro de discos “tipo y” de 120mesh (Irritec, Italia) antes de la válvula. La instalación del programador permitió realizar nueve riegos diarios automatizados con una duración de entre uno y siete minutos, dependiendo de la etapa fenológica de los cultivos y de las condiciones ambientales imperantes. En muchas ocasiones y a lo largo de todo el ciclo de cultivo se realizaron riegos manuales adicionales a los nueve automatizados debido a que las plantas presentaban síntomas de estrés hídrico, sobre todo durante las horas del mediodía en donde la frecuencia de riego programada se volvía insuficiente para sostener la demanda del cultivo.

3.4.5 Preparación de la Solución Universal de Steiner (1984)

Durante toda la investigación las plantas fueron irrigadas con la Solución Universal de Abram Steiner (1984), la proporción de aniones y cationes relativa al total de cada grupo presente en esta solución nutritiva se observa en el **Cuadro 2**, junto a la cantidad de equivalentes químicos correspondiente a una conductividad eléctrica (CE) de 2mS/cm.

Cuadro 2. Porcentajes relativos de cationes y aniones y equivalentes químicos de dichos iones para preparar la Solución Universal de Steiner (1984) a una conductividad eléctrica (CE) de 2mS/cm.

Ión	% relativo	Equivalentes
Potasio (K^+)	35	7
Calcio (Ca^{+2})	45	9
Magnesio (Mg^{+2})	20	4
Nitrato (NO_3^-)	60	12
Fosfato ($H_2PO_4^-$)	5	1
Sulfato (SO_4^{-2})	35	7

La CE de la solución hidropónica se ajustó de acuerdo a la etapa fenológica de los cultivos, durante la etapa de almácigo se empleó la misma solución nutritiva que fue usada en la fase experimental, modificando únicamente su CE a 1mS/cm, aumentándose a 1,5mS/cm al final de la etapa para favorecer el endurecimiento de las plántulas al generar una condición osmótica en la raíz que evita una excesiva elongación. A partir del trasplante se aplicó una solución preparada a 1,5mS/cm, posteriormente se cambió a 1,75mS/cm tras el inicio de la floración y finalmente se aumentó su concentración a 2mS/cm debido a la presencia generalizada de frutos cuajados. La solución nutritiva mantuvo un pH entre 6,6 y 6,8 con una temperatura promedio entre los 25 y 29°C.

Para elaborar la solución nutritiva a partir de la fórmula de Steiner se utilizó un cuadro de doble entrada (**Cuadro 3**) en el que se colocan los equivalentes de los aniones en su fila inferior y los equivalentes de los cationes en la columna derecha, siendo la suma de cada grupo la concentración (eq/1000 litros) que tendrá la solución. Posteriormente se generan valores en la intersección entre los cationes y los aniones que representan las sales fertilizantes disponibles para preparar la solución en unidades de equivalentes a disolver en un volumen de 1000 litros de agua.

Cuadro 3. Cuadro de doble entrada para la preparación de la Solución Universal de Steiner (1984) con una conductividad eléctrica de 2mS/cm a partir de la intersección entre los equivalentes de los cationes y aniones

Catión/Anión	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁻²	Σ
K⁺	3	1	3	7
Ca⁺²	9			9
Mg⁺²			4	4
Σ	12	1	7	20

Una vez completo el cuadro de doble entrada, la cantidad de cada sal fertilizante a utilizar se calcula al multiplicar los equivalentes respectivos por su peso molar y se divide entre la valencia química de la sal, obteniendo en gramos las cantidades necesarias de fertilizantes para preparar 1000 litros de solución nutritiva (**Cuadro 4**).

Cuadro 4. Cantidad de sales fertilizantes necesarias para preparar un volumen de 1.000 litros de la Solución Universal de Steiner (1984) a una concentración de 2mS/cm.

Sal mineral	¹ Equivalentes (eq)	² Peso molar (g/mol)	³ Valencia química (eq/mol)	⁴ Peso equivalente (g/eq)	⁵ Cantidad (g)
Ca(NO ₃) ₂	9	164,1	2	82,0	738,5
MgSO ₄ *7 H ₂ O	4	246,5	2	123,2	493,0
KNO ₃	3	101,1	1	101,1	303,3
K ₂ SO ₄	3	174,3	2	87,2	261,5
KH ₂ PO ₄	1	136,1	1	136,1	136,1

¹Equivalentes provienen del resultado del Cuadro de doble entrada. ²Peso molar de cada sal mineral. ³Valencia química de la sal. ⁴Peso equivalente tras dividir el peso molar entre la valencia química. ⁵Cantidad requerida de cada sal tras multiplicar los equivalentes por el peso equivalente.

Para suplir la demanda de micronutrientes se utilizaron 10g del multimineral Microplex (Miller, Gran Bretaña), 5g de ácido bórico (Inkabor, Perú) y 5g de sulfato de zinc heptahidratado (Chengdu Chuanke Fine Chemicals, China); por cada 1.000 litros de solución, la composición porcentual de los productos mencionados se presenta en el **Cuadro 5**.

Cuadro 5. Composición de las fuentes de micronutrientes usadas en conjunto con la Solución Universal de Steiner. Tecnológico de Costa Rica, Santa Clara de San Carlos. 2013–2014.

Producto comercial	Nutriente	Contenido (%)
Microplex	Magnesio (Mg)	5,43%
	Boro (B)	0,5%
	Cobalto (Co)	0,05%
	Cobre (Cu)	1,5%
	Hierro (Fe)	4%
	Manganeso (Mn)	4%
	Molibdeno (Mo)	0,1%
	Zinc (Zn)	1,5%
H₃BO₃	Boro (B)	17,5%
ZnSO₄*7H₂O	Zinc (Zn)	22%
	Azufre (S)	11%

3.5 Material experimental

Se utilizaron dos cultivares híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.), de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) y de melón cantaloupe (*Cucumis melo* L.), su descripción se presenta en el **Cuadro 6**. Para llevar a cabo el ensayo se utilizaron 60 plantas por cada cultivar, para un total de 360.

Cuadro 6. Cultivares híbridos de tomate, chile dulce y melón cultivados bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013–2014.

Especie	Nombre común	Cultivar	Casa Comercial	País de origen
<i>Lycopersicon esculentum</i> M.	Tomate	JR	Hazera Seeds	Israel
		Lyro	Rijk Zwaan	Holanda
<i>Capsicum annuum</i> L.	Chile dulce	Nathalie	Rogers Syngenta Seeds	Estados Unidos
		4212	Monsanto Seminis	
<i>Cucumis melo</i> L.	Melón Cantaloupe	Sol Real Acclaim	Rogers Syngenta Seeds	Estados Unidos

3.6 Diseño experimental

El ensayo se realizó a nivel de invernadero y el área a su alrededor se mantuvo despejada aproximadamente 50 metros, las condiciones en su interior fueron bastante uniformes por lo que se seleccionó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo anidado, este arreglo se emplea cuando el factor B es intrínseco al factor A, es decir para un determinado nivel del factor A existen niveles del factor B que no pueden ser aplicables a los otros niveles del factor A; el uso del arreglo anidado en la investigación se justifica ya que cada cultivar es propio de una especie; por ejemplo, el cv Nathalie no puede ser aplicado al melón, ni el cv Sol Real puede ser aplicado al chile dulce, porque ambos son intrínsecos a su especie chile dulce y melón respectivamente.

El tipo de serie fue mixta cultivos y cultivares, el primero con tres niveles y el segundo con dos (serie=3²x2). Se utilizaron tres repeticiones para los seis tratamientos evaluados, cantidad mínima de repeticiones que podría tener un estudio con arreglo anidado 3²x2 para generar suficientes grados de libertad del error experimental (>=10). En el **Cuadro 7** se puede observar con más detalle la distribución de los grados de libertad para cada fuente de variación.

Cuadro 7. Grados de libertad para las fuentes de variación en la investigación de tres especies hortícolas (*Lycopersicon esculentum* M., *Capsicum annuum* L., *Cucumis melo* L.) cultivadas bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013–2014.

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	17
Factor 1: Cultivo	2
Factor anidado: Cultivar (Cultivo)	1
Error Experimental	14

3.7 Modelo estadístico

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_{ij}(A_i) + \varepsilon_{ijk}$$

Donde μ refiere a la media general, A_i y B_{ij} corresponden a los factores de estudio (especies hortícolas y cultivares híbridos), $B_{ij} (A_i)$ representa al factor cultivares (B) anidado dentro del factor cultivo (A), y ε_{ijk} el error experimental.

3.8 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos derivaron de un Diseño Completamente al Azar que integró dos factores cualitativos (cultivo hortícola y cultivar híbrido), los que se describen en el **Cuadro 8**. En el mismo se puede observar la interacción entre ambos factores de estudio y su respectiva abreviación.

Cuadro 8. Descripción de los tratamientos en la investigación de tres especies hortícolas bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013-2014.

Factor 1 (Cultivo)	Factor anidado (Cultivar)	Interacción	Abreviación
Tomate	Lyro	Tomate x Lyro	Tom-Lyr
	JR	Tomate x JR	Tom-JR
Chile dulce	Nathalie	Chile dulce x Nathalie	Chi-Nat
	4212	Chile dulce x 4212	Chi-4212
Melón cantaloupe	Acclaim	Melón x Acclaim	Mel-Acc
	Sol Real	Melón x Sol Real	Mel-Sol

3.9 Descripción de la unidad de estudio

La unidad experimental estuvo compuesta por una hilera de 20 plantas sembradas en contenedores individuales (**Figura 8**) cada parcela poseía nueve metros de longitud, con un espacio entre las mismas de 1,5m, y un espacio entre plantas de 0,4m. Con la intención de disminuir el efecto de factores externos al invernadero sobre la uniformidad de las unidades experimentales se tomó la decisión de utilizar un borde de parcela en sus extremos, equivalente a cuatro plantas (N° 1, 2, 19 y 20) así como dos hileras, una en cada extremo del invernadero.



Figura 8. Unidad experimental compuesta por veinte plantas de una de las tres especies hortícolas cultivadas bajo sistema protegido hidropónico. Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013-2014.

Cada tratamiento tuvo tres repeticiones por lo que se sembraron dieciocho unidades experimentales, para un total de 360 plantas, 120 por cada cultivo y 60 por cada cultivar. De las 20 plantas que contenía la unidad experimental ocho fueron utilizadas para los análisis de tejidos (variables de absorción) y se seleccionaron en forma aleatoria entre la tercera planta y la N° 18 (**Figura 8**). En cada muestreo destructivo se seleccionaron a la vez dos plantas por repetición, que permiten una mayor representatividad de la unidad experimental en los resultados. Las plantas que se sometieron a la toma de datos semanales (variables de crecimiento y producción) fueron las ocho restantes que no se asignaron a ningún muestreo destructivo mediante la aleatorización dada.

3.10 Distribución espacial de los tratamientos

El ensayo se dividió en tres secciones que correspondieron a cada cultivo hortícola (especie) asignados al azar, posteriormente dentro de cada sección se aleatorizaron los tratamientos correspondientes a cada cultivo, es decir los cultivares híbridos, asignando tres hileras de cada cultivar en cada sección. En la **Figura 9** se presenta el croquis de los tratamientos y se muestra una coloración para cada cultivo y la abreviación del respectivo tratamiento para cada unidad experimental, además se puede observar cuales plantas pertenecieron al borde de parcela y cuáles fueron sometidas a muestreos.

Planta (#)	Melón (<i>Cucumis melo</i>)						Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)						Chile dulce (<i>Capsicum annuum</i>)									
20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
19	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
18	x	•	•	M3	•	M1	•	M2	•	•	•	•	M1	•	M4	•	M3	•	M1	•	•	•
17	x	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
16	x	•	M4	•	M4	•	M3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
15	x	•	M2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
14	x	•	•	•	M3	•	M2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
13	x	•	•	•	M1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
12	x	•	•	•	•	•	M3	•	M2	•	M2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
11	x	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
10	x	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
9	x	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
8	x	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
7	x	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
6	x	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
5	x	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
4	x	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3	x	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Tratamiento	Mel-Hy	Mel-Hy	Mel-Sol	Mel-Sol	Mel-Sol	Mel-Hy	Tom-JR	Tom-Lyr	Tom-Lyr	Tom-Lyr	Tom-JR	Tom-JR	Chi-Nat	Chi-4212	Chi-4212	Chi-Nat	Chi-4212	Chi-Nat				



•	Plantas correspondientes a muestreo semanal
x	Plantas correspondientes al borde de parcela
M1	Muestreo destructivo a los 45 días
M2	Muestreo destructivo a los 90 días
M3	Muestreo destructivo a los 135 días
M4	Muestreo destructivo a los 180 días

Figura 9. Croquis de los tratamientos utilizados en la investigación de tres especies hortícolas cultivadas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013-2014.

3.11 Variables evaluadas

Las variables registradas durante el experimento están asociadas a crecimiento, producción y absorción de nutrientes, las mismas se describen con mayor detalle en el **Cuadro 9**. El periodo de evaluación dio inicio en el momento en que se realizó el trasplante (27 de noviembre del 2013), extendiéndose por seis meses en el caso del chile dulce y del tomate, y tres meses en el melón

Respecto a las variables de absorción, la toma de muestras para realizar los análisis de tejidos se llevó a cabo cada 45 días en los cultivares de tomate y chile dulce, y cada 30 días en el cultivo de melón, tomando dos plantas por muestreo en cada repetición; el primer muestreo fue al momento del trasplante y se tomaron entre 40 y 50 plántulas por cada cultivar.

La variable peso seco de frutos (PSF) y la absorción de nutrientes de la cosecha fue únicamente realizada en el último muestreo destructivo, extrayendo los frutos maduros de la parte aérea y analizándolos por separado, luego se extrapolaron los resultados de absorción con el rendimiento registrado a lo largo del ciclo. La razón por la cual se estimó esta variable de dicha manera radica en que resulta muy oneroso analizar la cosecha en todos los muestreos destructivos debido al valor de la cosecha y a la succulencia de los frutos.

Se registró diariamente valores mínimos y máximos de humedad relativa y temperatura en el interior del invernadero empleando un sensor electrónico (Extech Instruments, China), dicha información se presenta en el **Anexo 3**.

Cuadro 9. Variables evaluadas en la investigación de tres especies hortícolas (*Lycopersicon esculentum* M., *Capsicum annuum* L., *Cucumis melo* L.) cultivadas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, 2013-2014.

Abreviación	Variable (unidades)	Frecuencia de medición	Descripción
Alt	Altura de planta (cm)		Se utilizó una cinta métrica graduada, midiendo desde la base de la planta hasta el meristemo apical.
H	Número de hojas por planta (#)		Se contó el número total de hojas abiertas por planta.
FruCu	Número de frutos cuajados por planta (#)	Semanal	Se contó el número de frutos cuajados por planta.
FruCos	Número de frutos cosechados por planta (#)		Se registró el número de frutos cosechados por planta.
PCos	Peso total de cosecha por planta (Kg)		Se pesó cada fruto cosechado a lo largo del ciclo de cultivo y se realizó una sumatoria
PST	Peso seco total por planta (g)		Plantas completas se fraccionaron en parte aérea y radical, se empacaron en bolsas de papel y se sometieron a secado en un horno a 65 °C por 72 horas, luego se pesaron en una balanza granataria (OHaus, USA) por separado.
PSR	Peso seco de raíz (g)	30-45 días	<i>Idem</i>
PSA	Peso seco fracción aérea (g)		<i>Idem</i>
PSF	Peso seco de frutos (g)		Se extrapoló la absorción de nutrientes de la cosecha utilizando la producción de frutos con un único análisis químico al final del ciclo
(Símbolo químico + fracción planta)	Nutrientes minerales extraídos por planta (g)		Se extrapoló los términos porcentuales del análisis químico con las variables PST, PSR y PSA y PSF.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de crecimiento

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de significancia para las variables de crecimiento obtenidos a partir de análisis univariados, destacándose entre cultivares diferencias significativas en la mayoría de las variables de crecimiento a excepción del peso seco de la parte aérea.

Cuadro 10. Significancia de las variables de crecimiento en dos cultivares hortícolas de *Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* M. y *Cucumis melo* L. bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

Factor	Peso seco (g/planta)				N° Hojas/planta	Altura de planta (cm)
	Raíz	Aéreo	Cosecha	Total		
Cultivo	**	**	**	**	**	**
Cultivar (cultivo)	*	NS	**	**	**	**

* indica diferencias significativas a un p-valor > 0,05

** indica diferencias significativas a un p-valor > 0,01

La cantidad de hojas, la altura y el peso seco total por planta y sus fracciones raíz, aéreo y cosecha se presentan en el **Cuadro 11**, observándose como el peso seco aéreo es similar entre cultivares, contrario a las otras fracciones de la planta que presentaron diferencias significativas en el peso seco de la raíz y altamente significativas en el peso seco de la cosecha.

Cuadro 11. Crecimiento de tres cultivos hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.

*DDT	Cultivo	Cultivar	Peso Seco (g/planta)				N° Hojas/ planta	Altura de planta (cm)
			Raíz	Aéreo	Cosecha	Total		
180	<i>Capsicum annuum</i> L.	Nathalie	19,47 ± 1,94	343,1 ± 57,89	381,55	744,12 ± 59,58	666,63 ± 15,32	227,39 ± 14,03
		4212	25,73 ± 2,49	360,38 ± 60,00	423,42	809,53 ± 62,47	789,8 ± 58,69	214,13 ± 4,53
180	<i>Lycopersicon esculentum</i> M.	JR	20,52 ± 2,70	309,56 ± 31,15	373,34	703,41 ± 32,96	39,71 ± 1,65	490,31 ± 4,29
		Lyro	19,2 ± 1,91	343,8 ± 32,51	817,55	1180,54 ± 33,89	36,92 ± 6,05	534,2 ± 17,67
90	<i>Cucumis melo</i> L.	Sol Real	3,68 ± 1,20	99,3 ± 16,37	**87,8	190,79 ± 15,91	97,38 ± 9,50	443,61 ± 25,26
		Acclaim	3,68 ± 1,67	75,58 ± 29,56	**80,7	159,98 ± 31,03	117,88 ± 16,97	469,34 ± 16,01

*días después del trasplante

**frutos no comerciables

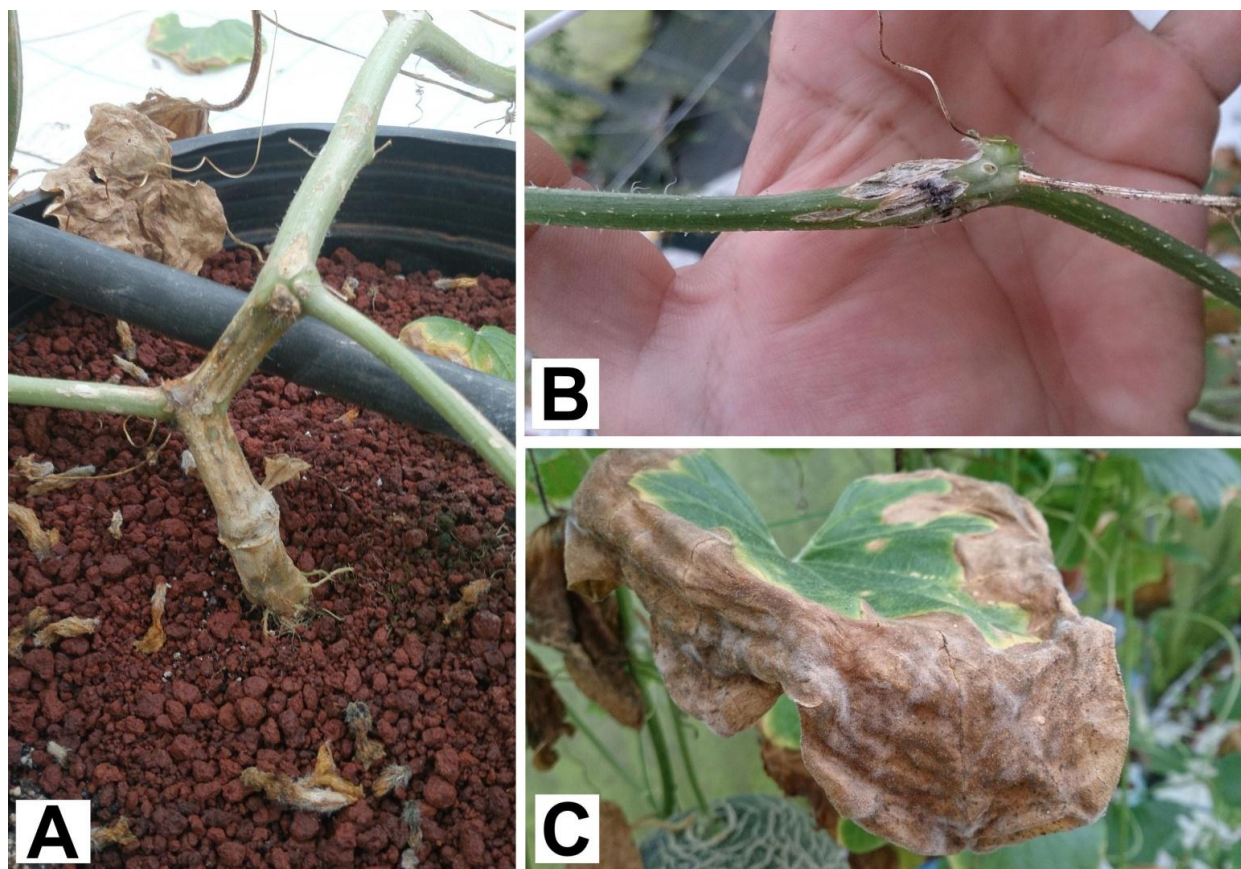
En el cv Nathalie de chile dulce la cosecha representó un 51,3% del peso seco total por planta que fue 744,12g y en el cv 4212 representó un 52,3% para un peso de 809,53g/planta, sobresaliendo el cv 4212 en el peso seco de todas las fracciones de la planta por encima del cv Nathalie. Chamú *et al.* (2011) encontraron que el cv Cannon F1 de chile dulce producido bajo sistema protegido hidropónico utilizando tezontle como sustrato acumuló un peso seco total 211g/planta a los 200DDT del cual la cosecha representó un 51%, proporción similar al obtenido en los cv Nathalie y 4212, mientras que en Sao Paulo Charlo *et al.* (2011) realizaron un estudio bajo invernadero utilizando fibra de coco como sustrato en plantas de chile dulce cv Eppo a los 189DDT registrando un peso seco total de 451,5g/planta del cual un 67% representó la fracción de la cosecha, Soto (2008) en el cultivo de chile dulce a campo abierto en Arizona de Estados Unidos reportó que a partir del inicio de la cosecha los frutos representan un 60% del peso seco total por planta. Valentin *et al.* (2013) obtuvo un peso seco total de 626,8g/planta a los 150DDT en la Universidad Autónoma de Chapingo en México con el

cv Ocotlán de chile dulce utilizando la Solución Nutritiva de Steiner (1984) bajo sistema protegido hidropónico abierto con arena roja volcánica. Ninguno de los autores consultados reportaron una acumulación de peso seco total por planta mayor a la de los cv Nathalie y 4212.

La cosecha en el cv Lyro de tomate aportó un 69,3% del peso seco total por planta, superior al cv JR cuya cosecha representó un 53,1%, en el peso seco aéreo no se hallaron diferencias significativas entre cultivares, sugiriendo que la cantidad de peso seco por planta obtenida en el cv Lyro (1180,5g) fue mayor que en el cv JR (703,4g) debido al aporte de la cosecha, puesto que el peso seco de las raíces es bajo respecto a las otras dos partes. Ramírez y Nienhuis (2012) en San Carlos de Costa Rica bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984) y piedra roja volcánica como sustrato registraron un peso seco total de 470,5g/planta con el cv Sabbia de tomate a los 180DDT, mayores resultados reportan Hernández *et al.* (2009) en la Habana de Cuba quienes lograron un peso seco total por planta de 1088,45g/planta en el cv HA-3019 de tomate a los 120DDT bajo sistema protegido, del cual un 43,1% representa a los frutos, resultado menor a los obtenidos en los cv JR y Lyro; Uexkull (1978) citado por Ruíz & Túa (2005) reporta que en grandes producciones de tomate la cosecha representa entre 65 y 75% de la peso seco total por planta coincidiendo con lo encontrado en el cv Lyro.

En el cultivo de melón el peso seco total por planta a los 90DDT fue de 190,8g en el cv Sol Real y 159,9g en el cv Acclaim, resultados mayores fueron reportados en otros estudios, Santos *et al.* (2014) en Rio Grande do Norte de Brasil utilizaron el cv Acclaim bajo sistema protegido y obtuvieron a los 53DDT un peso seco por planta de 295,1g/planta del cual un 72,3% representó a la cosecha, Soto (2008) encontró al iniciar la cosecha en el cv Sol Real un peso seco total de 304,3g/planta a campo abierto, del cual un 58% se acumuló en los frutos cosechados. El peso seco de los frutos en los cv Sol Real y Acclaim estuvo representado por melones no comerciables (**Cuadro 11**), debido a que tuvieron un grado Brix menor a 8 y a la presencia del hongo ascomycete *Didymella bryoniae* que afecta todos los órganos de la planta a excepción de la raíz e

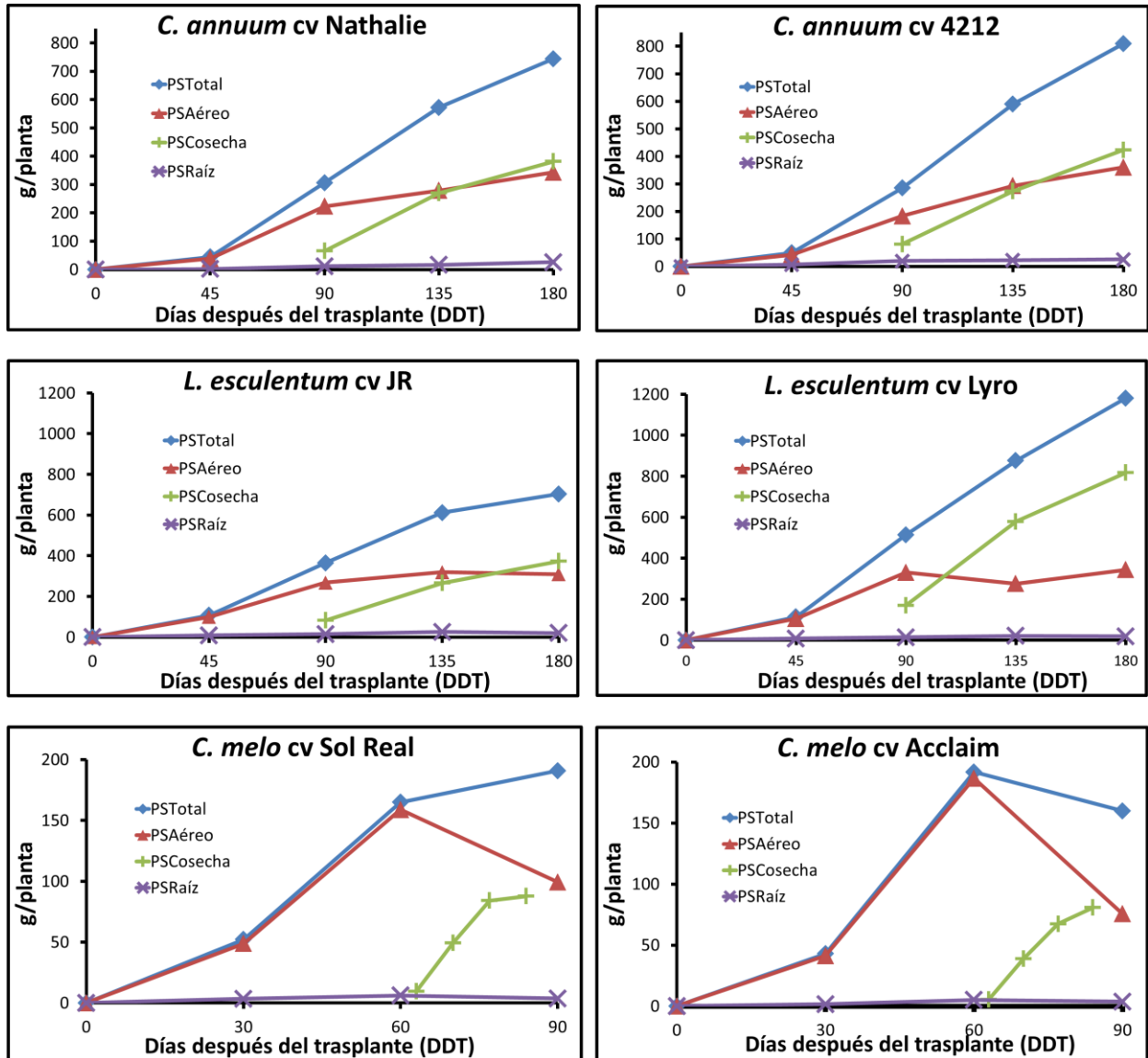
incluso reduce la vida poscosecha de los frutos, esta enfermedad se favoreció por la presencia de temperaturas nocturnas en el interior del invernadero entre los 16 y 24°C, y humedad relativa de 85%, factores propicios para que se dé la infección (Bernhardt *et al.* 1988; Paret *et al.* 2011). En el **Anexo 3** se presenta con mayor detalle el comportamiento de la humedad relativa y la temperatura en el interior del invernadero, condiciones climáticas que además de favorecer la proliferación del hongo no fueron las más apropiadas para ambos cultivares de melón, en Costa Rica este cultivo tradicionalmente se siembra en la Región Chorotega durante época seca y su ciclo se extiende por un periodo de 60 días en promedio. En la siguiente figura se presentan los síntomas de *D. bryoniae* encontrados en los cultivares de melón cantaloupe Sol Real y Acclaim.



A: daño basal del tallo con exudado pardo a los 77DDT, **B:** canchros y agrietamientos en una rama a los 76DDT, **C:** necrosis severa en el tejido foliar a los 79DDT.

Figura 10. Sintomatología de *Didymella bryoniae* presentada en los cultivares de melón cantaloupe Sol Real y Acclaim bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

En la **Figura 11** se presenta el peso seco total por planta y sus fracciones raíz, aéreo y cosecha para las tres especies hortícolas a lo largo del ciclo de cultivo.



PSCosecha en los cultivares Sol Real y Acclaim de melón está representado por frutos no comerciables.

Figura 11. Peso seco de tres cultivos hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.

Se observa en los cultivares de chile dulce como el peso seco total registra una tendencia creciente y lineal a partir de los 45DDT, muy similar al comportamiento que presenta el peso seco de la cosecha y contrastando con el de la fracción aérea que

incrementa desde los 45 a los 90DDT pero disminuye posteriormente hasta ser igualado por la cosecha a los 135DDT, comportamiento similar obtenido en Sinaloa de México por Burgueño (1994) quien reportó que entre los 100 y 120DDT el peso seco de los frutos iguala al peso seco de la fracción vegetativa en el cultivo de chile dulce tipo campana. Charlo *et al.* (2011) reporta que el peso seco de la planta y sus diferentes fracciones se mantuvo creciente hasta los 189DDT en el cv Eppo de chile dulce, Soto (2008) reportó que el peso seco total por planta de diez híbridos de chile dulce creció a lo largo del ciclo.

En tomate a partir de los 45DDT el cv Lyro creció más que el cv JR y aproximadamente a los 100DDT el peso seco de la cosecha alcanzó al peso seco de la fracción aérea, situación que ocurre en el cv JR hasta después de los 135DDT (**Figura 11**), lo que refleja una mejor distribución de los fotoasimilados en el cv Lyro, el cual alcanzó una mejor relación entre órganos fuente y sumidero, y por tanto mayor producción. Burgueño (1994) reportó que el peso seco de los frutos iguala al peso seco de la fracción vegetativa entre los 100 y 120DDT en el cultivo de tomate tipo bola en Sinaloa de México.

En el cultivo de melón el máximo peso seco total se registró a los 60DDT en el cv Acclaim y a los 90DDT en el cv Sol Real, siendo decreciente el peso seco aéreo en ambos cultivares entre los 60 y 90DDT, asociado a una poda fitosanitaria que se realizó a los 65DDT debido a la afectación por *Didymella bryoniae*. Soto (2008) utilizando el cv Sol Real y Santos *et al.* (2014) con el cv Acclaim reportaron un comportamiento creciente del peso seco total por planta hasta el inicio de la madurez fisiológica de los frutos.

El número de hojas y la altura de la planta se presentan en el **Cuadro 11**, mostrando que el cv 4212 de chile dulce alcanzó 789,8hojas/planta, mayor cantidad respecto al cv Nathalie que produjo 666,6hojas/planta; en cuanto a la altura ambos cultivares crecieron por encima de los dos metros, común en híbridos con hábito de crecimiento indeterminado (Cruz *et a./* 2009; Orellana *et al.* s.f.), registrando valores de

227,3cm en el cv Nathalie y 214,1cm en el cv 4212. Charlo *et al.* (2011) obtuvieron en chile dulce cv Eppo un total de 87hojas/planta y una altura de 136,9cm a los 189DDT, Campos (2009) con el cv Nathalie en San Carlos, Costa Rica bajo sistema protegido hidropónico usando la Solución Universal de Steiner (1984) obtuvo una altura de la planta de 176,8cm a los 180DDT, estos resultados son inferiores a los obtenidos por los cv Nathalie y 4212, que alcanzaron una altura de la planta entre 2 y 3m, similar a lo reportado por Cruz *et al.* (2009), posiblemente por el diseño del sistema de tutorado.

En el cultivo de tomate la cantidad de hojas por planta fue mayor en el cv JR con 39,7 unidades mientras en el cv Lyro se registraron 36,9hojas/planta, la altura de la planta fue mayor en el cv Lyro que alcanzó 534,2cm sobre el cv JR que registró 490,3cm (**Cuadro 11**). Ramírez & Nienhuis (2012) bajo sistema protegido obtuvieron 27 hojas y una altura de 207cm en el cv Sabbia de tomate a los 180DDT, a campo abierto en la Universidad de Córdoba en Colombia Barraza *et al.* (2004) reportaron una altura de la planta de 240,3cm a los 120DDT en el cv Santa Cruz Kada de tomate. Resh (2004) citado por Sánchez *et al.* (2009) menciona que las plantas de tomate de hábito indeterminado comúnmente superan los siete metros de longitud en sistemas de cultivo protegido en América y Europa.

En cuanto al cultivo de melón el número de hojas y altura de la planta fueron superiores en el cv Acclaim con valores de 117,9hojas/planta y 4,7m de altura, sobre las 97,4hojas/planta y 4,45m de altura que obtuvo el cv Sol Real (**Cuadro 11**). A campo abierto en Puntarenas de Costa Rica Vargas (2013) encontró que el cv Hy Mark de melón cantaloupe produjo 48hojas/planta a los 63DDS, Robles *et al.* (2005) a campo abierto en Bermijillo de México obtuvieron en melón cantaloupe 178cm de altura de la planta utilizando tutorado, en San Carlos de Costa Rica Barrientos (2012) obtuvo a los 56DDT 368 y 361hojas/planta en los cv Acclaim y Sol Real respectivamente, y una altura de la planta de 225cm en el cv Acclaim y de 220cm en el cv Sol Real, este autor reportó mayor cantidad de hojas en ambos cultivares pero una menor altura de la planta con respecto al presente estudio.

Para las tres especies hortícolas en estudio el comportamiento del número de hojas y altura de la planta a lo largo del ciclo de cultivo se muestran en la **Figura 12**.

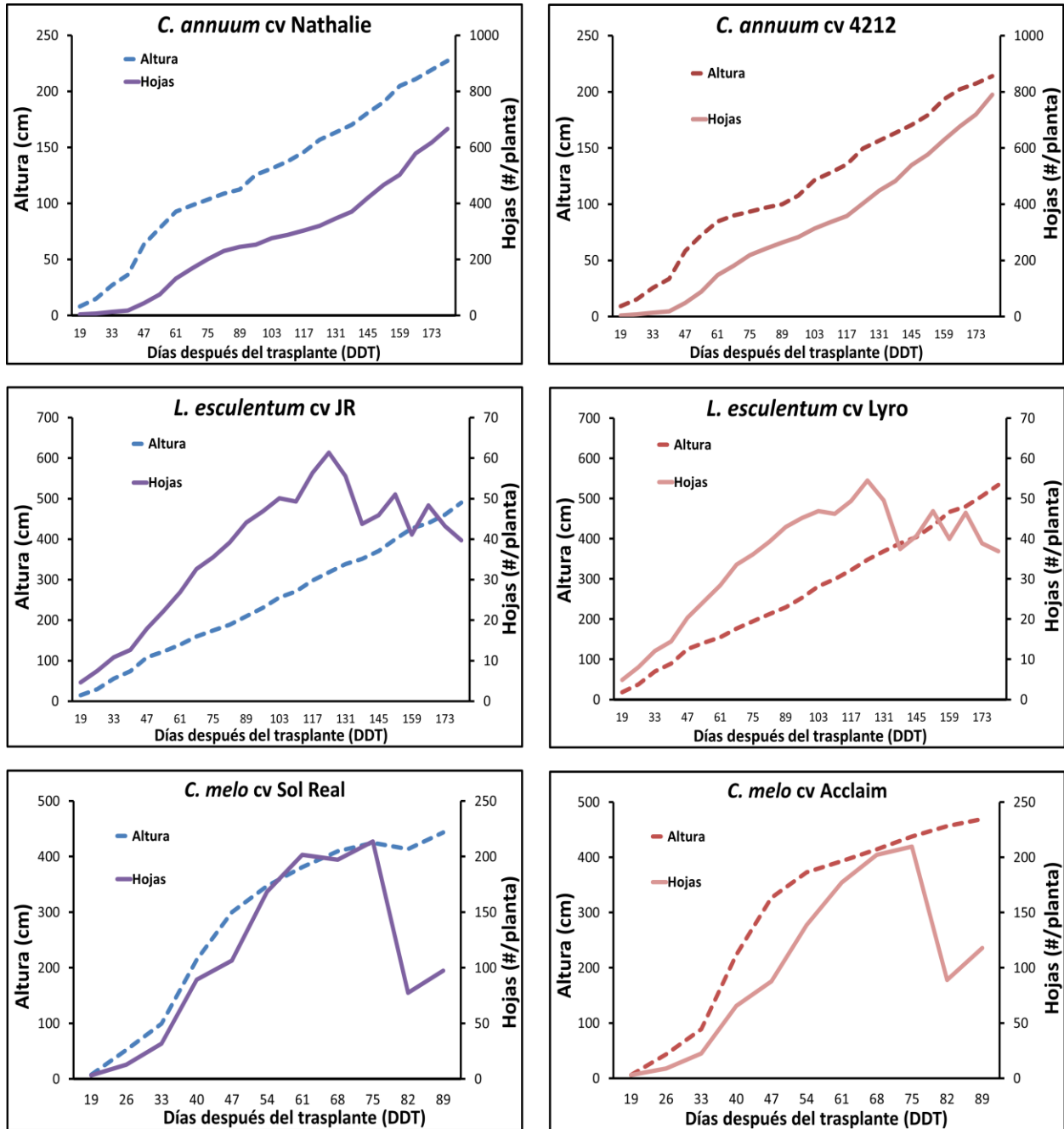


Figura 12. Altura y número de hojas por planta de tres especies hortícolas cultivadas bajo sistema protegido hidropónico utilizando Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.

En la figura anterior el crecimiento en número de hojas y altura de la planta en los cultivares de chile dulce fue en incremento a lo largo del ciclo de cultivo, asociado al manejo estructural de la planta que se basó en un mínimo de podas. Campos (2009) con el cv Nathalie de chile dulce reportó que la altura de la planta fue creciente durante todo el ciclo y Charlo *et al.* (2011) con el cv Eppo encontraron que la cantidad de hojas fue creciente hasta los 168DDT.

Respecto a los cultivares de tomate la altura de la planta fue creciente a lo largo del ciclo de cultivo no así el número de hojas que decrece a los 103DDT producto de la poda de hojas bajas (**Figura 4**), presentando fluctuaciones a partir de este momento y hasta finalizar el ciclo del cultivo, mismo comportamiento reportó Barranza *et al.* (2004) en la altura de la planta que se mantuvo creciente hasta los 120DDT y en el número de hojas que disminuyó aproximadamente a los 90DDT. Jaramillo *et al.* (2007) recomiendan eliminar los órganos senescentes que podrían servir como fuente de inóculo para plagas y enfermedades, además esta poda mejora la aireación y entrada de luz, y facilita la práctica de agobiado de los tallos que se hace necesaria en variedades de crecimiento indeterminado una vez las plantas superan los 2,5m de altura. El cv JR de tomate mantuvo mayor cantidad de hojas a lo largo del ciclo de cultivo en comparación al cv Lyro, el máximo valor se registró a los 124DDT y fue de 61,3 hojas/planta en el cv JR y de 54,5hojas/planta en el cv Lyro.

En los cultivares de melón la altura de la planta muestra una tendencia creciente a lo largo del ciclo, contrario al número de hojas por planta que decrece considerablemente a los 75DDT a causa de una poda fitosanitaria que se realizó ante la presencia de la enfermedad *Didymella bryoniae* que afectó severamente el crecimiento de ambos cultivares. Barrientos (2012) en San Carlos de Costa Rica reportó en los cv Sol Real y Acclaim un comportamiento creciente número de hojas, pero la altura creció hasta los 49DDT y luego permaneció constante.

4.2 Análisis de producción

La significancia de las variables de producción se presentan en el **Cuadro 12**, entre cultivares las diferencias fueron altamente significativas solamente en el rendimiento (g/planta).

Cuadro 12. Significancia de las variables de producción en dos cultivares hortícolas de *Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* M. y *Cucumis melo* L. bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013- 2014.

Factor	Rendimiento (g/planta)	N° Frutos cosechados/planta	Peso de fruto (g)	N° Frutos cuajados/planta
Cultivo	**	**	**	**
Cultivar (cultivo)	**	NS	NS	NS

** indica diferencias significativas a un p-valor > 0,01

El rendimiento, el número de frutos cosechados, el número de frutos cuajados y el peso promedio por fruto para los tres cultivos estudiados se presentan a continuación.

Cuadro 13. Producción en tres cultivos hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

*DDT	Cultivo	Cultivar	Rendimiento (g/planta)	Frutos cosechados (N°/planta)	Peso de fruto (g)	***Frutos cuajados (N°/planta)
180	<i>Capsicum annuum</i> L.	Nathalie	4704,95 ± 216,66	45,25 ± 3,68	104,20 ± 4,22	62,04 ± 9,00
		4212	4694,13 ± 189,30	46,33 ± 0,36	101,33 ± 4,51	72,63 ± 11,35
180	<i>Lycopersicon esculentum</i> M.	JR	8492,45 ± 538,71	67,88 ± 4,23	125,11 ± 0,39	19,63 ± 1,41
		Lyro	10982,20 ± 453,24	74,17 ± 3,49	148,11 ± 1,71	22,29 ± 0,92
90	<i>Cucumis melo</i> L.	Sol Real	**1721,79 ± 347,98	**1,83 ± 0,29	**934,93 ± 59,15	0,79 ± 0,26
		Acclaim	**1522,88 ± 227,05	**1,50 ± 0,13	**1012,15 ± 73,91	0,21 ± 0,14

*días después del trasplante

**frutos no comerciables con un grado Brix menor a 8

***representa los frutos cuajados en la edad indicada

Los cv Nathalie y 4212 de chile dulce alcanzaron prácticamente el mismo rendimiento con un promedio de 4,7kg/planta en el cv Nathalie y 4,69kg/planta en el cv 4212. Esta situación contrasta con el resultado de significancia que se mostró en el **Cuadro 12** y se debe a que entre los cultivares de tomate y entre los de melón se presentaron rendimientos distintos, reflejándose en el resultado del análisis estadístico.

El rendimiento obtenido en los cultivares de chile dulce representó 78,3ton/ha a los 180DDT con una densidad de siembra de 16.667plantas/ha, superando las 68ton/ha que reporta Campos (2009) con el cv Nathalie en San Carlos, Costa Rica bajo sistema protegido hidropónico usando la Solución Universal de Steiner (1984) y piedra roja volcánica como sustrato. Ramos & De Luna (2006) concluyeron que es posible alcanzar rendimientos de 70ton/ha en chile dulce cv San Juan bajo sistema protegido hidropónico en Aguascalientes, México, empleando tezontle como sustrato y la Solución Universal de Steiner (1984).

El cv Nathalie alcanzó 45,25 frutos cosechados por planta con un promedio de 104g/fruto, y el cv 4212 produjo 46,3frutos/planta con un peso promedio de 101,3g/fruto (**Cuadro 13**); Campos (2009) reporta una producción de 39,2 frutos/planta en el cv Nathalie a los 180DDT, con un peso promedio por fruto de 104,08g. Según Carrillo *et al.* (2007) en el mercado costarricense este tamaño de fruto corresponde a un chile de segunda calidad que se cotiza a un menor precio, el fruto de chile dulce de primera calidad es todo aquel que supera los 119g, el de segunda calidad pesa entre 86–118g y el de tercera entre 51–85g. En el siguiente cuadro se presenta la categorización de la calidad de cosecha obtenida en los cultivares Nathalie y 4212 según el peso de la misma y el número de frutos cosechados por planta.

Cuadro 14. Calidad de la cosecha durante un periodo de producción de 90 días en el cultivo de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

Cultivares de chile dulce	Peso de la cosecha				Cantidad de frutos cosechados			
	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
	g/planta				N° frutos/planta			
Nathalie	1516,7	2175,6	801,1	211,7	11,2	21,4	10,9	1,9
4212	1834,3	1921,3	779,0	159,6	13,3	19,1	11,1	2,7
	% relativo al peso				% relativo a la cantidad			
Nathalie	32,2%	46,2%	17,0%	4,5%	25,0%	47,5%	24,3%	4,1%
4212	39,4%	41,3%	16,9%	2,4%	28,9%	41,2%	24,1%	5,9%

En Costa Rica el chile dulce se comercializa por unidad adquiriendo más relevancia el número de frutos cosechados como indicador de calidad (**Cuadro 14**) mostrando un 28,9% de frutos de primera calidad en el cv 4212 y el cv Nathalie con 25% de frutos de primera; el porcentaje de frutos de segunda calidad fue mayor para el cv Nathalie y el de tercera fue casi el mismo para ambos cultivares. La predominancia de frutos categorizados como de segunda calidad se debe a aspectos de manejo cómo la nutrición limitada a la Solución Universal de Steiner sin el uso de fertilización foliar ni productos hormonales, un manejo incontrolado de la carga de frutos y estructura de la planta, así como también la elevada temperatura interior del invernadero predominante en la zona de estudio la cual se encontró sobre el nivel óptimo para un adecuado desarrollo de frutos en el cultivo de chile dulce (Carrillo *et al.* 2007). La cantidad de frutos rechazados fue baja, menor al 6% en ambos cultivares (2 a 3 frutos/planta), correspondientes a frutos con peso menor a 50g, quemados por el sol, con *Blossom end rot* y frutos inmaduros como se aprecia en la **Figura 13**.



A: Blossom end rot en chile dulce, **B:** fruto quemado por el sol, **C:** frutos inmaduros afectados con blossom end rot y quemados por el sol.

Figura 13. Principales causas de rechazo de frutos y pérdidas de cosecha en los cv Nathalie y 4212 de chile dulce cultivados bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984).

Las plantas de ambos cultivares de chile dulce alcanzaron los 180DDT con una considerada carga de frutos y buena condición fitosanitaria, por esto se decidió alargar su ciclo de vida con el objetivo de continuar registrando el rendimiento, prorrogándose por 90 días más que permitieron alcanzar 10,5 y 10,8kg/planta (117,8 y 119,1frutos/planta) para Nathalie y 4212 respectivamente, logrando más del doble de rendimiento alcanzado en los primeros tres meses de cosecha. La diferencia en el peso registrado para los cultivares pareciera no ser muy alta sin embargo, al extrapolar los resultados a hectáreas la diferencia resulta ser de unas cuatro toneladas (21.667 frutos) más para el cv 4212 que rindió 180ton/ha, equivalentes a 1.985.040 frutos/ha. Carrillo *et al.* (2007) en un análisis de la agrocadena del chile dulce en la Región Central Occidental de Costa Rica reportan rendimientos entre 30 y 150ton/ha en plantaciones bajo sistema protegido, por ende la productividad obtenida tras alcanzar 180 días de periodo de cosecha en los cv Nathalie y 4212 refleja que el cultivo de chile dulce bajo sistema protegido hidropónico se desarrolla bien en la región de trópico húmedo de bajura, pudiendo extender su ciclo por hasta 270DDT y alcanzando productividades tan altas como las obtenidas en regiones de Costa Rica consideradas hortícolas por

excelencia. Chamú *et al.* (2011) y Carrillo *et al.* (2007) consideran que el ciclo de vida del chile dulce podría alcanzar los 12 meses de edad bajo buenas prácticas de manejo, control de plagas y condiciones climáticas apropiadas, lo que permitiría lograr hasta 200ton/ha en la región de estudio con un ciclo de cultivo superior a los 270DDT.

El cv JR de tomate produjo 67,8frutos/planta con un peso total de 8,4kg/planta y el cv Lyro produjo 74,1frutos/planta con un peso de 10,98kg/planta; estos rendimientos equivalen a productividades de 141,5ton/ha en el cv JR y 183ton/ha en el cv Lyro. Ramírez y Nienhuis (2012) en San Carlos de Costa Rica bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984) y piedra roja volcánica como sustrato lograron 96,6ton/ha de tomate con el cv Sabbia de habito de crecimiento indeterminado a los 180DDT. En esta localidad bajo sistema protegido utilizando como sustrato compost inoculado con *Trichoderma* y fertilizando con la Solución Universal de Steiner (1984), Quesada (2011) reporta un rendimiento promedio en tomate determinado cv QualiT-21 de casi 12kg/planta a los 180DDT. Barrientos y López (2010) en un estudio de la cadena productiva del tomate en Costa Rica reportan una producción bajo sistema protegido de 150ton/ha, similar a lo obtenido en los cv JR y Lyro, Ojodeagua *et al.* (2008) registró un rendimiento de 12,6kg/planta a los 257DDT con el cv Girona en Guanajuato bajo sistema protegido utilizando tezontle como sustrato, Alpizar (2008) afirma que en el cultivo de tomate bajo sistema hidropónico los rendimientos varían entre 15 a 20kg/planta.

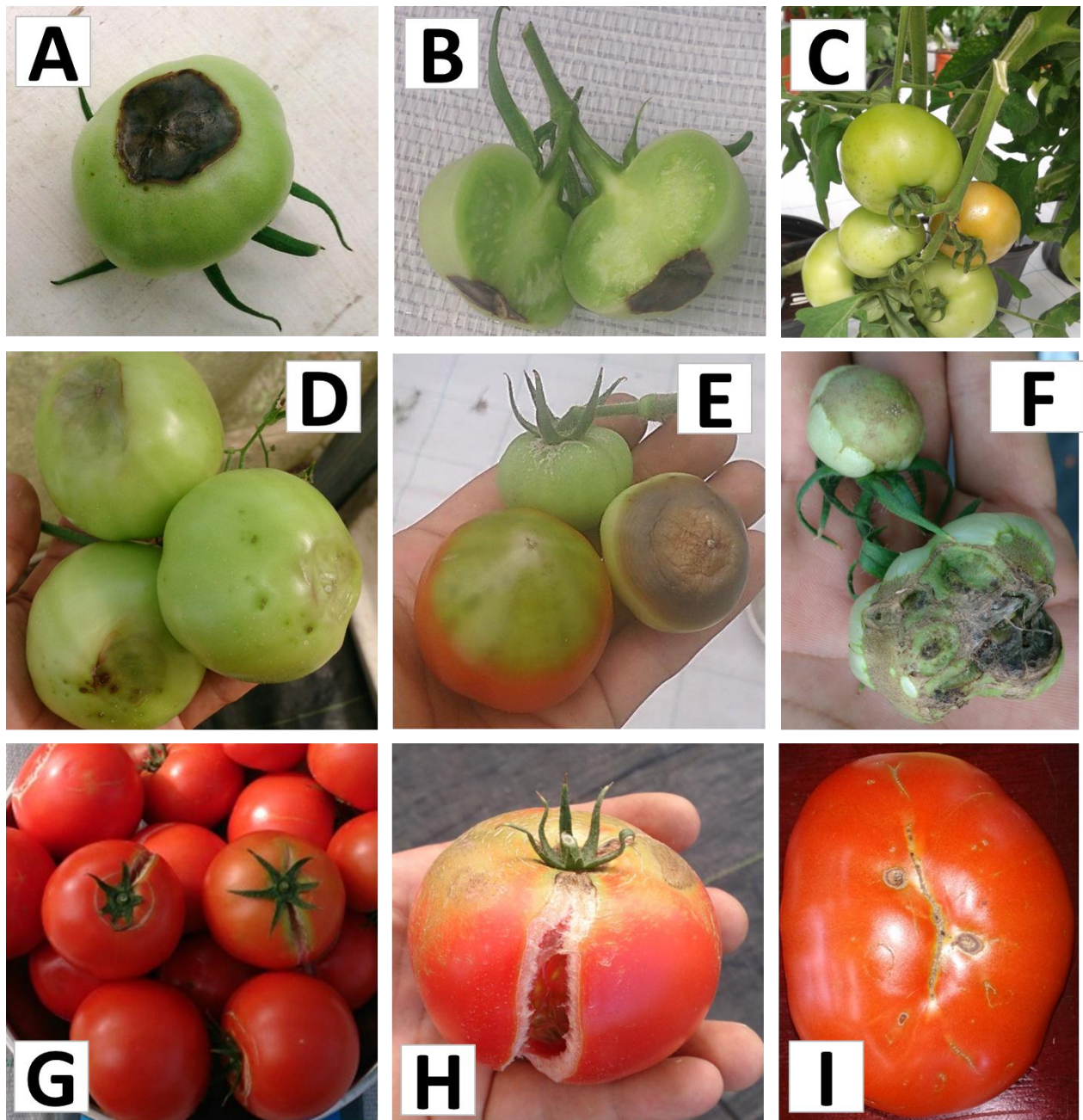
En tomate el tamaño del fruto es una característica de gran importancia en el mercado costarricense, según Quesada (2011) un tomate de primera calidad supera los 250g, uno de segunda pesa entre 100 y 250g, y los frutos de tercera calidad pesan menos de 100g. El cv JR logró un peso promedio por fruto de 125,1g y el cv Lyro obtuvo frutos de 148,1g, ambos clasificados como tomates con un peso de segunda calidad que se venden a un menor precio y con menor aceptación por parte de los consumidores.

En el **Cuadro 15** se muestra la categorización de la calidad de cosecha obtenida en los cv JR y Lyro de acuerdo al peso de la misma y el número de frutos cosechados por planta.

Cuadro 15. Calidad de la cosecha durante un periodo de producción de 90 días en el cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum* M. bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

Cultivares de tomate	Peso de la cosecha				Cantidad de frutos cosechados			
	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
	g/planta				N° frutos/planta			
JR	165,7	4606,2	1097,3	2623,2	0,7	31,4	14,9	20,9
Lyro	556,1	6589,8	774,1	3062,1	1,9	41,7	10,0	20,6
	% relativo al peso				% relativo a la cantidad			
JR	2,0%	54,2%	12,9%	30,9%	1,0%	46,2%	22,0%	30,8%
Lyro	5,1%	60,0%	7,0%	27,9%	2,6%	56,2%	13,5%	27,7%

En Costa Rica el tomate se comercializa por kilogramo teniendo más importancia el peso la cosecha que muestra un porcentaje más alto de frutos de primera y segunda calidad para el cv Lyro con valores de 7% y 83,3% sobre 2,8% y 78,6% para el cv JR (**Cuadro 15**), similar a lo encontrado por Quesada (2011) en el cv QualiT-21; el cv JR produjo casi el doble de frutos de tercera calidad en comparación con cv Lyro. La mayoría de frutos se categorizaron como de segunda calidad, esto se puede relacionar al tipo de nutrición limitada a la Solución Universal de Steiner sin el uso de fertilización foliar ni productos hormonales, un manejo incontrolado de la carga de frutos y temperaturas en el interior del invernadero sobre el nivel óptimo para un buen crecimiento de frutos en el cultivo de tomate (Jaramillo *et al.* 2007). El rechazo incluyó frutos con *Blossom end rot*, agrietamientos, *catface*, frutos deformes y pequeños, como se aprecia en la **Figura 14**.



A, B y D: frutos inmaduros con blossom end rot, **C:** racimo de frutos desprendido de la planta debido al peso de los tomates, **E:** frutos maduros con blossom end rot y al fondo un fruto pequeño y deforme, **F:** frutos deformes, **G:** tomates con agrietamientos concéntricos y radiales, **H:** fruto con severo agrietamiento radial, **I:** fruto con catface.

Figura 14. Causas de rechazo de frutos y pérdidas de cosecha en los cv JR y Lyro de tomate cultivados bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984).

En el cv JR los frutos con *blossom end rot* (daño distal) representó un 64% del rechazo. *Blossom end rot* (BER) es causada por deficiencias de calcio en los tejidos de la parte basal del fruto, al ser este nutriente poco móvil en la planta la región distal de los frutos puede experimentar su escasez, plantas con un rápido crecimiento, bajo estrés hídrico, manejo desproporcionado del riego y fertilizadas con altas proporciones de nitrógeno son más susceptibles, como medidas de manejo para minimizar este daño se recomienda no fertilizar con alta proporción de nitrógeno durante la fase productiva, irrigar el cultivo frecuentemente y con cantidades apropiadas de agua. La suplementación con calcio puede contribuir en algunos casos pero generalmente este tratamiento es inefectivo, también pueden escogerse cultivares que tiendan a desarrollar este daño con menor frecuencia (Koike *et al.* 2007). Bar-Tal & Pressman (1996); Nzanza *et al.* (2005) y Parra *et al.* (2008) señalan que el incremento de calcio en la solución nutritiva disminuyó significativamente el número de frutos con BER, mientras que niveles decrecientes en la conductividad eléctrica de la solución aumentaron su incidencia

En el cv Lyro el rechazo por agrietamientos representó un 60%, efectos sinérgicos y antagónicos entre factores genéticos, climáticos y culturales influyen en la generación de este daño en los frutos de tomate, temperaturas superiores al rango óptimo para el cultivo, alta humedad relativa, cambios bruscos en el estado hídrico de los frutos y grandes diferencias entre temperaturas diurnas y nocturnas son condiciones propicias para el desarrollo de agrietamientos; ya que promueven una mayor transpiración en la planta y un crecimiento más rápido de los frutos que provoca una demanda de calcio insostenible al ser un nutriente poco móvil en la planta, generando agrietamientos por una reducción en la elasticidad y rigidez de la cutícula. En momentos de alta actividad fotosintética esta afectación podría disminuirse considerablemente al controlar la transpiración de las plantas, al incrementar la conductividad eléctrica de la solución nutritiva y también al aplicar calcio a nivel foliar (Peet & Willits 1995; Dorais *et al.* 2004).

Los cultivares de melón fueron improductivos debido a que dieron frutos no comerciables y con grado Brix menor a 8 (**Cuadro 13**), Vargas (2013) reportó en el cv Hy Mark de melón a campo abierto un rendimiento de 1,75kg a los 63DDT. Barrientos (2012) en San Carlos, Costa Rica bajo sistema protegido hidropónico utilizó los cv Acclaim y Sol Real obteniendo a los 131DDT rendimientos de 3,3 y 3,5kg (4,8 y 3,7frutos/planta) respectivamente. Cantliffe *et al.* (2009) en Florida, Estados Unidos cultivaron melón cantaloupe Charantais bajo invernadero obteniendo un rendimiento de 3,3kg/planta (3,6 frutos) a los 98DDT, también en Florida Rodríguez *et al.* (2007) cultivaron melón Galia cv Gal-152 bajo sistema protegido y alcanzaron un rendimiento de 12,8kg/planta (7,1frutos/planta) a los 174DDT.

En la **Figura 15** se muestra la distribución semanal del peso de la cosecha y el número de frutos cosechados para los cultivos de chile dulce y tomate.

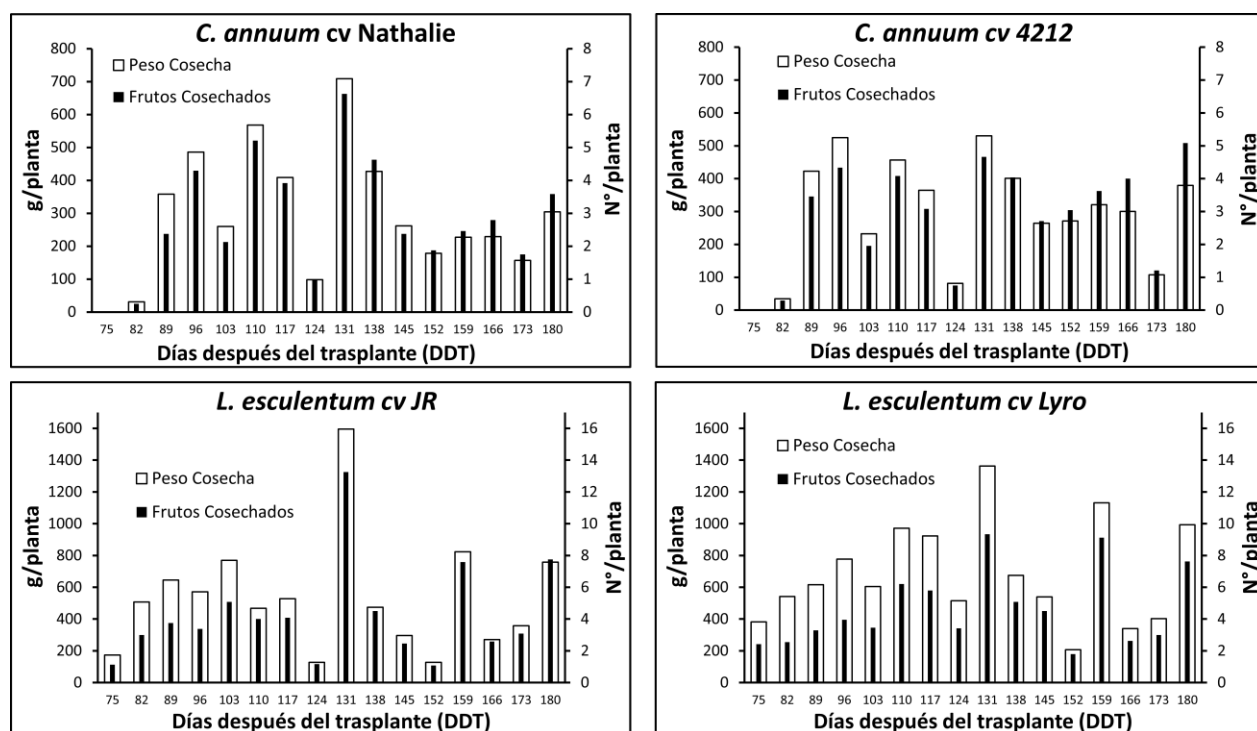


Figura 15. Peso de la cosecha y cantidad de frutos cosechados en chile dulce (*Capsicum annuum* L.) y tomate (*Lycopersicon esculentum* M.) bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

En los cultivares de chile dulce la producción inició a los 82DDT y coinciden a los 131DDT con el momento de mayor productividad, registrándose 709g/planta en el cv Nathalie y 530,2g/planta en el cv 4212, la cantidad máxima de frutos cosechados en el cv Nathalie también se obtuvo a los 131DDT, en cambio en el cv 4212 fue a los 180DDT. El cv Nathalie presenta mayores rendimientos en la primera mitad de la fase productiva y en el caso del cv 4212 la distribución del peso de la cosecha y el número de frutos cosechados se mantuvo más uniforme a lo largo del ciclo.

El comportamiento del peso promedio de fruto se logra analizar a partir de los gráficos de la **Figura 15**, en los cuales cada unidad del eje y_2 (derecha) equivale a 100 gramos de peso en el eje y_1 (izquierda), en ambos híbridos de chile dulce el peso promedio de fruto se reduce conforme avanza la producción, como ha sido reportado por otros autores (Campos 2009; Cruz *et al.* 2009; Orellana *et al.* s.f.), tanto el cv Nathalie como el cv 4212 produjeron frutos de más de 100g hasta los 138DDT y luego incrementan los frutos con peso inferior a los 100g. A los 89DDT el cv Nathalie registró el mayor peso promedio por fruto con 150,8g al igual que el cv 4212 con 122,2g/fruto, resultados que disminuyeron hasta alcanzar 82,2 g/fruto en cv Nathalie a los 166DDT y 74,7g/fruto en el cv 4212 a los 180DDT.

En el cultivo de tomate los cultivares registraron la primera cosecha a los 75DDT y al igual que el cultivo de chile dulce la mayor producción se registró a los 131DDT con 1592,2g/planta en el cv JR y 1362,4g/planta en el cv Lyro, momento en que ambos cultivares también obtuvieron la mayor cantidad de frutos con 13,3frutos/planta en el cv JR y 9,3frutos/planta en el cv Lyro.

El máximo peso promedio de fruto se presentó al inicio de la fase productiva, en el cv JR fue de 172,2g/planta a los 89DDT y en el cv Lyro fue de 213,0g/planta a los 82DDT, los valores mínimos se registraron en el cv JR a los 180DDT con 97,7g/fruto y en el cv Lyro a los 152DDT con 115,3g/fruto, el cv Lyro se mantiene prácticamente durante toda la producción con frutos de mayor peso en comparación al cv JR, este último mantuvo un peso promedio de fruto superior a 150g entre los 75 y 103DDT,

mientras que el cv Lyro lo realizó hasta los 124DDT, en general el peso promedio del fruto decreció conforme avanzó el ciclo, similar a lo obtenido en el cultivo de chile dulce.

En la **Figura 16** se presenta la cantidad de frutos cosechados y cuajados por planta a través de la etapa productiva en tres cultivos hortícolas.

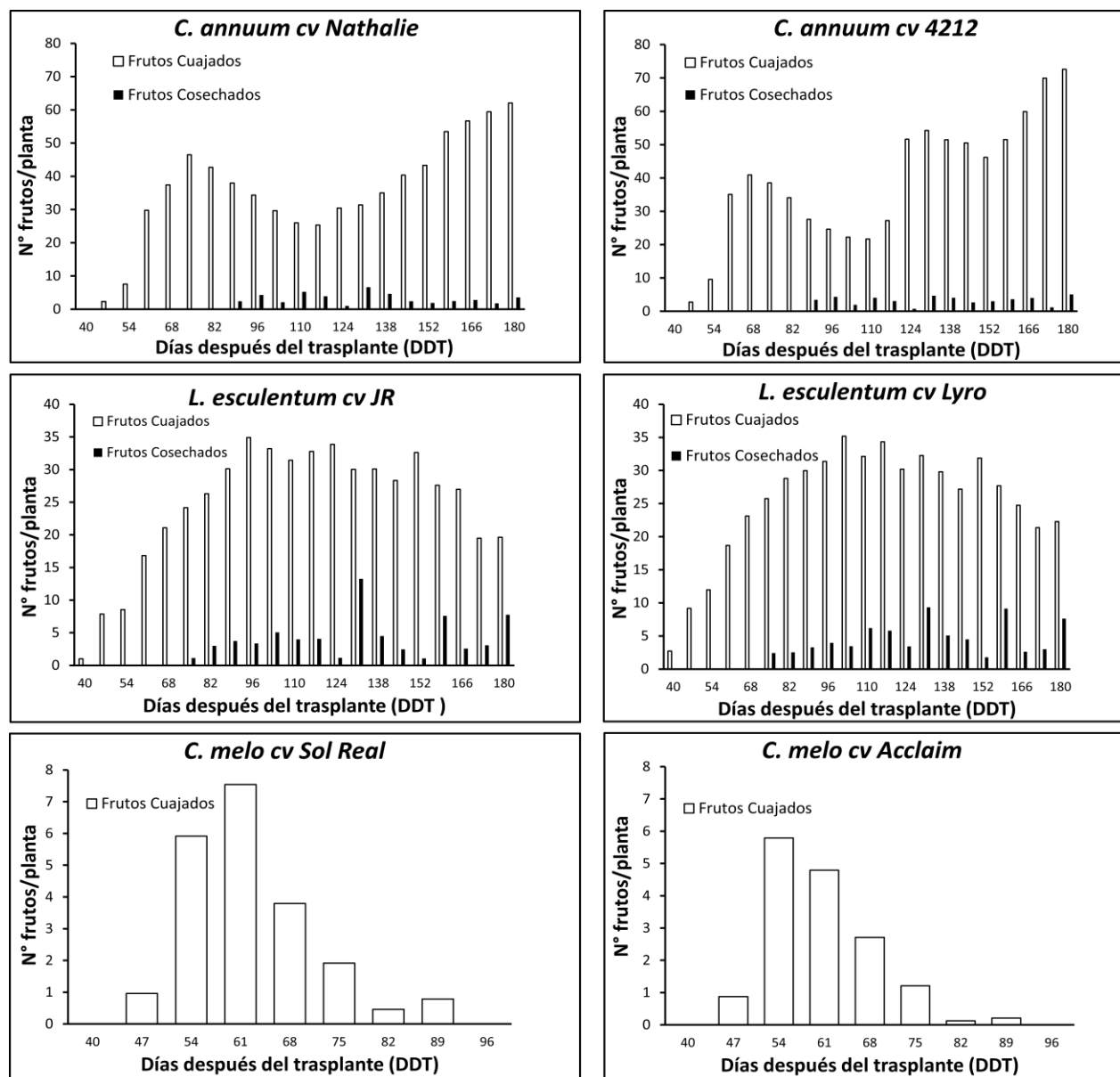


Figura 16. Número de frutos cuajados y cantidad de frutos cosechados en tres cultivos hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

En los cv Nathalie y 4212 de chile dulce los primeros frutos cuajados se registraron a los 47DDT y la mayor presencia a los 180DDT, asimismo ambos cultivares muestran un comportamiento oscilante y creciente en la cantidad de frutos cuajados, utilizando el cv Nathalie Campos (2009) reporta un comportamiento oscilante pero no creciente en el número de frutos cuajados en comparación con los cv Nathalie y 4212. La diferencia entre la cantidad de frutos cuajados y la de cosechados a lo largo del ciclo de cultivo (**Figura 16**) se debió a la incapacidad de la planta para llenarlos posiblemente por las temperaturas altas presentes en el interior del invernadero, sobre los 27°C durante el día que se consideran máximas para una buena fructificación en el cultivo de chile dulce (Carrillo *et al.* 2007). Orellana *et al.* s.f. afirman que la floración se da hasta que la planta alcanza la capacidad de madurar su carga de frutos cuajados, luego ocurre un periodo en el que la mayoría se abortan generando una producción de flores fluctuante que posibilita la presencia de frutos de diferentes edades en la planta y permite cosechar semanalmente.

En el cultivo de tomate los primeros frutos cuajados se reportaron a partir de los 40DDT, la máxima cantidad se registró a los 96DDT en el cv JR con 34,9 frutos/planta y a los 103DDT en el cv Lyro con 35,2 frutos/planta. En ambos cultivares la cantidad de frutos cuajados por planta presentó un comportamiento creciente aproximadamente hasta los 100DDT, posteriormente decrece hasta finalizar el ciclo de cultivo; en la **Figura 16** se observa que la cantidad de frutos cuajados fue muy alta en comparación con la cantidad de frutos cosechados lo que significa que muchos no llenaron ni se desarrollaron; las temperaturas máximas presentadas en el interior del invernadero alcanzaron niveles superiores a los 32°C reportados como temperatura límite para un buen cuajado de frutos en el cultivo de tomate (Jaramillo *et al.* 2007).

El conteo de frutos cuajados por planta en el melón inició en ambos cultivares a los 40DDT y creció hasta alcanzar la mayor cantidad a los 54DDT en el cv Acclaim con 5,79frutos/planta y a los 61DDT en el cv Sol Real con 7,54frutos/planta, a partir de este momento la cantidad de frutos cuajados por planta disminuye hasta los 82DDT debido al aborto que sufrieron las plantas relacionado a la afectación por el hongo *Dydimella bryoniae* y a la carga incontrolada de frutos y flores que actúan como sumideros a expensas del crecimiento vegetativo, en gran medida por el gasto energético que representa la producción de lípidos contenidos en las semillas (El-Keblawy & Lovett-Doust 1996).

4.3 Análisis de absorción de macronutrientes

En el siguiente cuadro se presenta la significancia de los macronutrientes expresados como concentración en la materia seca (%) y cantidad extraída por planta en gramos.

Cuadro 16. Significancia de la concentración y extracción total de macronutrientes en dos cultivares de *Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* M. y *Cucumis melo* L. bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

Factor	N	Ca	Mg	K	P	N	Ca	Mg	K	P
	Concentración (%MS)					Extracción (g/planta)				
Cultivo	**	**	**	NS	**	**	**	**	**	**
Cultivar (cultivo)	**	**	*	NS	*	**	**	NS	**	**

* indica diferencias significativas a un p-valor > 0,05

** indica diferencias significativas a un p-valor > 0,01

Respecto a la concentración de los macronutrientes en la materia seca, destaca la presencia de diferencias no significativas entre cultivos y cultivares en el Potasio (K) indicando porcentajes similares para este nutriente, en contraste con el Nitrógeno (N), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Fósforo (P) que presentaron diferencias significativas entre cultivos y cultivares. En la cantidad de macronutrientes extraída por planta se encontraron diferencias altamente significativas entre cultivos y cultivares, a excepción del Mg que presentó diferencias no significativas entre cultivares.

El Cuadro 17 contiene los resultados totales de macronutrientes extraídos por planta y sus fracciones.

Cuadro 17. Absorción de macronutrientes en tres cultivos hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

*DDT	Cultivo	Cultivar	Fracción	g/planta				
				N	Ca	Mg	K	P
180	<i>Capsicum annuum</i> L.	Nathalie	**Cosecha	8,51 (52%)	0,09 (3%)	0,95 (49%)	8,89 (35%)	1,25 (61%)
			Aérea	7,46 ± 1,18	3,16 ± 0,80	0,97 ± 0,16	16,39 ± 5,32	0,64 ± 0,09
			Raíz	0,5 ± 0,07	0,27 ± 0,07	0,037 ± 0,006	0,14 ± 0,03	0,166 ± 0,035
			Total	16,46 ± 1,22	3,51 ± 0,86	1,95 ± 0,17	25,43 ± 5,34	2,05 ± 0,08
		4212	**Cosecha	8,34 (48%)	0,32 (8%)	0,83 (40%)	14,00 (46%)	1,29 (57%)
			Aérea	8,45 ± 1,80	3,92 ± 0,82	0,97 ± 0,16	16,40 ± 5,76	0,68 ± 0,07
			Raíz	0,71 ± 0,02	0,46 ± 0,10	0,037 ± 0,006	0,25 ± 0,02	0,275 ± 0,058
			Total	17,50 ± 1,82	4,70 ± 0,90	2,07 ± 0,25	30,65 ± 5,78	2,25 ± 0,12
180	<i>Lycopersicon esculentum</i> M.	JR	**Cosecha	7,65 (52%)	3,25 (42%)	0,65 (37%)	8,3 (32%)	1,38 (48%)
			Aérea	6,65 ± 0,94	3,49 ± 0,69	1,08 ± 0,19	17,41 ± 8,56	1,42 ± 0,16
			Raíz	0,51 ± 0,10	0,27 ± 0,06	0,033 ± 0,006	0,06 ± 0,03	0,070 ± 0,014
			Total	14,82 ± 1,01	7,00 ± 0,73	1,76 ± 0,19	25,77 ± 8,59	2,87 ± 0,17
		Lyro	**Cosecha	17,26 (69%)	0,25 (7%)	1,01 (46%)	48,93 (78%)	2,35 (61%)
			Aérea	7,40 ± 0,65	3,21 ± 0,13	1,18 ± 0,19	13,60 ± 7,18	1,44 ± 0,06
			Raíz	0,46 ± 0,08	0,27 ± 0,01	0,036 ± 0,008	0,19 ± 0,06	0,065 ± 0,006
			Total	25,12 ± 0,71	3,73 ± 0,14	2,22 ± 0,19	62,72 ± 7,20	3,85 ± 0,05
90	<i>Cucumis melo</i> L.	Sol Real	***Aérea	3,16 ± 0,48	1,77 ± 0,61	0,47 ± 0,14	4,11 ± 1,07	0,41 ± 0,05
			Raíz	0,08 ± 0,03	0,04 ± 0,01	0,005 ± 0,002	0,03 ± 0,01	0,011 ± 0,004
			Total	3,24 ± 0,48	1,81 ± 0,61	0,47 ± 0,14	4,13 ± 1,06	0,42 ± 0,05
		Acclaim	***Aérea	2,80 ± 1,03	1,71 ± 0,86	0,46 ± 0,23	3,96 ± 1,56	0,38 ± 0,06
			Raíz	0,09 ± 0,05	0,04 ± 0,02	0,006 ± 0,003	0,02 ± 0,01	0,035 ± 0,006
			Total	2,89 ± 1,07	1,75 ± 0,87	0,47 ± 0,23	3,98 ± 1,58	0,39 ± 0,07

*días después del trasplante.

**resultados obtenidos a partir de un muestreo de extracción de nutrientes de la cosecha; entre paréntesis se incluye el % del nutriente acumulado en los frutos cosechados.

***incluye tallos, peciolas, hojas, frutos cuajados y en desarrollo.

El orden de absorción de los macronutrientes en los cv Nathalie y 4212 de chile dulce fue K>N>Ca>P>Mg, diferente a lo encontrado por otros autores como Soto (2008) que cultivó chile dulce a campo abierto en Arizona de Estados Unidos y Chavarría (2013) con el cv Nathalie en suelo bajo invernadero en el Tecnológico de Costa Rica en

Cartago encontraron el orden $K > N > Ca > Mg > P$, donde el Mg se extrajo en mayor cantidad que el P. Marcussi *et al.* (2004) cultivaron el híbrido Elisa de chile dulce en Sao Paulo bajo condiciones de invernadero absorbiendo a los 140DDT mayor cantidad de N respecto al K y de Mg respecto al P para un orden de extracción $N > K > Ca > Mg > P$, igual al obtenido por Valentin *et al.* (2013) a los 150DDT en el cv Ocotlán de chile dulce utilizando la Solución Universal de Steiner (1984) bajo sistema protegido hidropónico abierto con arena roja volcánica, Azofeifa & Moreira (2005) en un estudio realizado a campo abierto en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno ubicada en Alajuela de Costa Rica reportan un orden de extracción $K > N > P > Ca > Mg$ en el cv UCR598 de chile dulce a los 166DDS con mayor absorción de P que de Ca en comparación a los cv Nathalie y 4212. En el cultivo de chile dulce ninguno de los autores consultados reporta el orden de absorción obtenido en los cultivares Nathalie y 4212, pero la mayoría de estudios reportan al N y al K como los macronutrientes de mayor absorción.

Considerando que se utilizó una densidad de siembra de 16.667plantas/ha la absorción en kilogramos fue 274kg/ha de N, 59 de Ca, 33 de Mg, 424 de K y 34 de P en el cv Nathalie de chile dulce, y de 292kg/ha de N, 78 de Ca, 35 de Mg, 511 de K y 38 de P en el cv 4212, destacándose para todos los macronutrientes una extracción total por planta mayor en el cv 4212; a campo abierto Soto (2008) reportó una absorción promedio de nutrientes de 216kg/ha de N, 117 de Ca, 56 de Mg, 292 de K, 20 de P en el cultivo de chile dulce.

Chavarría (2013) bajo invernadero y en suelo obtuvo resultados menores a los alcanzados por los cv Nathalie y 4212 registrando un rendimiento de 40ton/ha y una absorción total de macronutrientes de 160kg/ha de N, 59 de Ca, 23 de Mg, 241 de K y 21 de P. Marcussi *et al.* (2004) lograron 1,3kg/planta (41,7ton/ha) a los 140DDT con una extracción de 6,6g/planta de N, 2,6 de Ca, 1,3 de Mg, 6,4 de K y 0,7 de P, valores inferiores a los obtenidos en los cv Nathalie y 4212 (**Cuadro 17**) al igual que Valentin *et al.* (2013) quienes obtuvieron un rendimiento de 2,6kg/planta (57,2ton/ha) y una absorción por planta de 16,9g/planta de N, 16,6g de K, 3,5g de Ca, 1,3g de Mg y 1,1g de P a los 150DDT, Azofeifa & Moreira (2005) reportaron a los 166DDS absorciones de

6,7g/planta de N, 1,0 de Ca, 0,6 de Mg, 7,4 de K y 1,2 de P alcanzando un rendimiento de 2,2kg/planta (45,8ton/ha). No se encontró ningún autor ni estudio en el cultivo de chile dulce que reportara absorciones de macronutrientes tan altas como las encontradas en los cv Nathalie y 4212.

El contenido de K en la fracción aérea del cv Nathalie duplica al de la cosecha, en contraste con el cv 4212 cuyas absorciones de K en ambas fracciones son similares, en ambos cultivares la cosecha acumula menos cantidad de Ca y más de P en comparación a la fracción aérea lo que concuerda con Azofeifa & Moreira (2005); en los cv Nathalie y 4212 el N y el Mg se concentran en una proporción 1:1 en las fracciones aérea y cosecha. Soto (2008) registró mayor cantidad de N, P, y K en la cosecha en comparación a la fracción vegetativa que presentó mayor contenido de Ca y Mg.

El orden de extracción de los macronutrientes en los cultivares JR y Lyro de tomate coincidió con el de chile dulce y fue $K > N > Ca > P > Mg$, diferente del encontrado por otros autores como Hernández *et al.* (2009) que reportan en tomate cv HA-3019 producido bajo sistema protegido hidropónico en La Habana, Cuba un orden de absorción de $K > Ca > N > P > Mg$ a los 120DDT, coincidiendo con los cv JR y Lyro en que el P no es el macronutriente menos absorbido; Calderón (2005) encontró mayor acumulación de Mg respecto a P en el híbrido Money Maker de tomate a los 147DDT cultivado en Bogotá usando cascarilla de arroz como sustrato con un orden de absorción $K > N > Ca > Mg > P$, al igual que el obtenido por Fontes (1995) citado por Ruíz & Túa (2005).

Las cantidades extraídas de N, Mg, K y P en el cultivo de tomate fueron más altas para el cv Lyro con respecto al cv JR que solo fue superior en la extracción de Ca (**Cuadro 17**), para ambos cultivares las cantidades absorbidas fueron mayores a las reportadas por Hernández *et al.* (2009) en el híbrido HA-3019 a excepción del Ca, con resultados de 10,22g/planta de N, 15,15 de Ca, 1,83 de Mg, 24,17 de K, 1,76 de P a los 120DDT en un estudio bajo invernadero; Calderón (2005) reporta un rendimiento en tomate de 6,34kg/planta y extracciones de macronutrientes similares a las alcanzadas

en el cv JR con resultados de 14g/planta de N, 7,01 de Ca, 2,86 de Mg, 23,8 de K, 1,5 de P pero diferentes a las obtenidas por el cv Lyro sobretodo en las cantidades absorbidas de N, K y Ca.

En el cv Lyro de tomate los macronutrientes N, K y P se presentaron en mayor contenido en la fracción de cosecha de acuerdo con lo reportado por Dumas (1990) citado por Lara (2000) quien afirmó que al final su ciclo la planta de tomate acumula entre un 60 y 70% del N, P y K total en los frutos, el cv JR no presentó este comportamiento, acumulando más del doble de K en la fracción aérea con respecto a la cosecha, el cv JR acumuló más de diez veces la cantidad de Ca que extrajo el cv Lyro en la fracción de la cosecha.

El orden de absorción de los macronutrientes en los cultivares de melón fue $K > N > Ca > Mg > P$, igual al reportado por Soto (2008) en el cv Sol Real producido a campo abierto en Arizona, este orden de absorción contrasta con el reportado por otros autores como Rodríguez & Pire (2004) que sembraron a campo abierto el cv Packstar a una densidad de 22.000plantas/ha en el estado de Lara de Venezuela obteniendo el orden de extracción $N > K > Ca > Mg > P$, donde destaca una mayor cantidad de N respecto al K a diferencia de los cv Sol Real y Acclaim, mientras Misle (2003) obtuvo mayor absorción de Ca en relación al N, registrando el orden de extracción $K > Ca > N > Mg > P$ a los 90DDT en melón cantaloupe cv Naud, utilizando 31.000plantas/ha bajo macrotúneles con fertirrigación en Curicó de Chile. El mismo orden de absorción encontrado en los cv Sol Real y Acclaim es reportado por Rincón *et al.* (1998) a los 125DDT quienes estudiaron el contenido de macronutrientes en melón cv Toledo bajo invernadero en Murcia de España a una densidad de siembra de 5.000plantas/ha.

La extracción total de macronutrientes en melón cantaloupe se presenta en el **Cuadro 17** y fue de 54kg/ha de N, 30 de Ca, 8 de Mg, 69 de K, 7 de P en el cv Sol Real con valores mayores a los encontrados en el cv Acclaim que registró 48kg/ha de N, 29 de Ca, 8 de Mg, 66 de K y 6 de P; similar a lo obtenido por Rodríguez & Pire (2004) a campo abierto quienes alcanzaron una producción de 1,29kg/planta (28,4ton/ha) y una extracción de 75kg/ha de N, 62 de Ca, 10 de Mg, 64 de K y 7 de P, resultados mayores obtuvo Soto (2008) 158kg/ha de N, 135 de Ca, 30 de Mg, 229 de K y 22,8 de P. Misle (2003) que obtuvo mayores resultados a los alcanzados por Sol Real y Acclaim con un rendimiento de 2,38kg/planta (73,8ton/ha) y una absorción de 12,2g de N, 13,7 de Ca 2,1 de Mg, 20,9 de K, y 2,7 de P, al igual que Rincón *et al.* (1998) quienes reportaron un rendimiento de 10,64kg/planta (53,2ton/ha) y extracciones de 10,1g/planta de N, 8,4 de Ca, 4,2 de Mg, 20,7 de K, 1,7 de P.

En la siguiente figura se presenta de manera gráfica la absorción de los macronutrientes a lo largo del ciclo en los cultivos de chile dulce, tomate y melón cantaloupe.

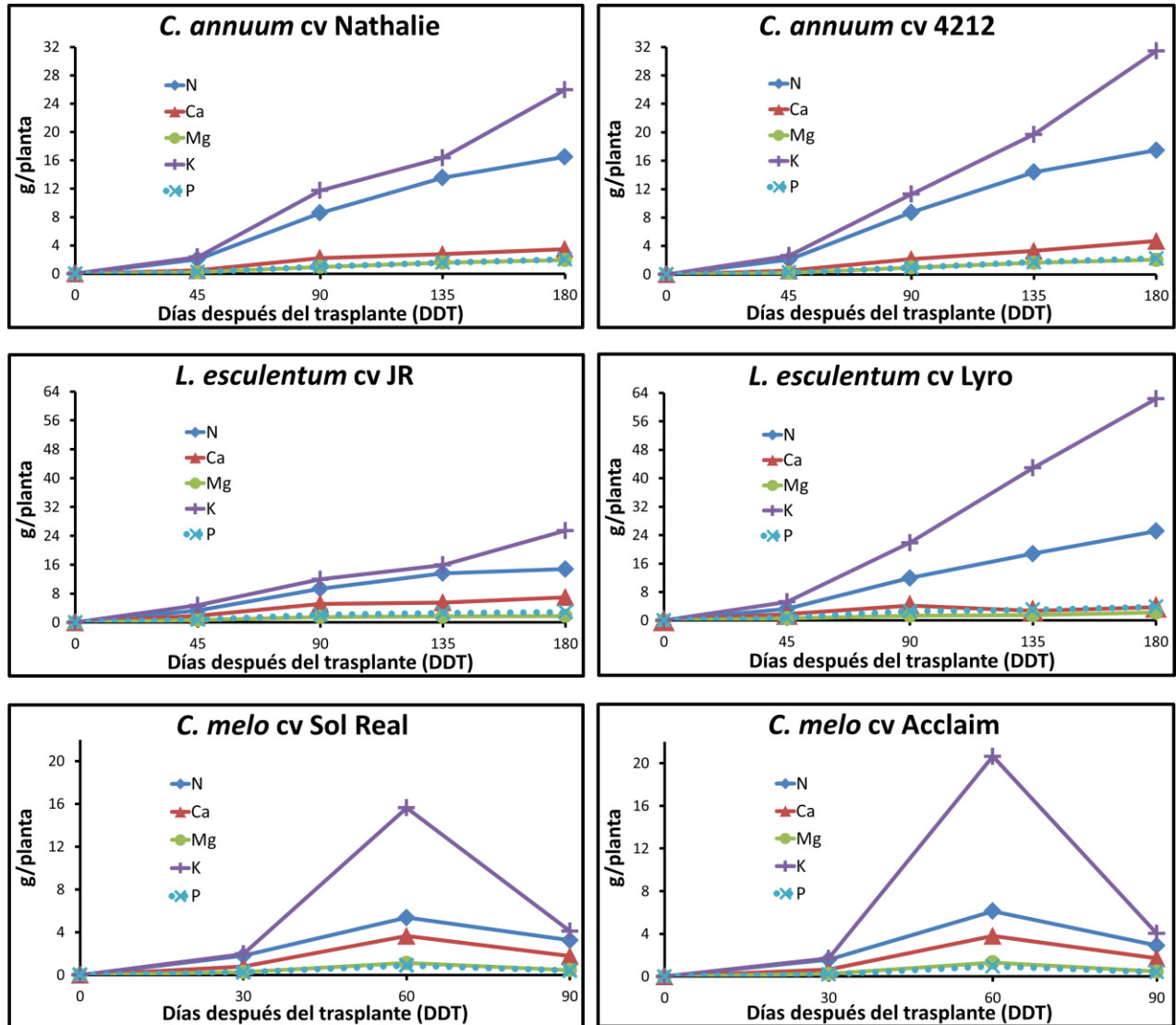


Figura 17. Absorción de macronutrientes en tres especies hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

En los cultivares de chile dulce la absorción de los macronutrientes fue creciente a lo largo del ciclo hasta los 180DDT y con un orden de absorción que mantuvo la secuencia K>N>Ca>P>Mg en todo el ciclo de cultivo, en contraste con Chavarría (2013) que obtuvo con el cv Nathalie la mayor absorción de nutrientes a los 141 días después de la siembra (DDS), y en un orden de absorción similar al que reporta Azofeifa & Moreira (2005) que se mantuvo a lo largo del ciclo K>N>Ca>P>Mg igual que los cv Nathalie y 4212, pero que al finalizar el ciclo (166DDS) mostró una mayor cantidad de fósforo con respecto al calcio; el cv 4212 registró mayor extracción de nutrientes durante el ciclo de cultivo a excepción de la cantidad de Ca, K y P absorbido a los 90DDT que fue superior en el cv Nathalie. El nutriente absorbido en mayor cantidad fue el K, acorde con lo reportado por Marcussi *et al.* (2004) que señalan a este macronutriente como el más demandado en el cultivo de chile dulce entre los 61 y 120DDT, período que contempla el inicio de la cosecha y la máxima producción.

El orden de absorción de macronutrientes en ambos cultivares de tomate fue K>N>Ca>P>Mg a lo largo del ciclo de cultivo donde el cv Lyro extrajo mayor cantidad de estos en comparación al cv JR con algunas excepciones como el Ca que se absorbió en mayor cantidad durante todo el ciclo de cultivo y el Mg a los 45, 90 y 135DDT que también fue mayor en el cv JR sobre Lyro. En ambos cultivares la extracción de N, P, K y Mg se mantuvo creciente a través del ciclo de cultivo con excepción del calcio que presentó su mayor absorción a los 90DDT. Hernández *et al.* (2009) coinciden en cómo la extracción de macronutrientes en el cultivo de tomate posee comportamiento similar al del peso seco total por planta (**Figura 11 y Figura 17**).

En la **Figura 17** se presenta la absorción de macronutrientes en los cv Sol Real y Acclaim de melón, observándose que los dos mantienen el orden de absorción de $K > N > Ca > Mg > P$ a lo largo del ciclo de cultivo y destacando una mayor extracción de nutrientes a los 60DDT en ambos cultivares con resultados más altos en el cv Acclaim y mostrando un considerable incremento en la extracción de K que alcanza una relación 3:1 con respecto al N en momentos previos al inicio de la cosecha, Sol Real obtuvo mayor contenido de todos los macronutrientes a los 30 y 90DDT. Bertsch (2003) a campo abierto y Rincón *et al.* (1998) bajo sistema protegido obtuvieron un comportamiento creciente en la absorción de todos los macronutrientes a lo largo del ciclo en el cultivo de melón, situación contraria reportó Soto (2008) con el cv Sol Real a campo abierto, cuya extracción de macronutrientes fue creciente hasta el cuaje de frutos.

4.4 Análisis de absorción de micronutrientes

En el **Cuadro 18** se presenta la significancia de la extracción de micronutrientes expresados como concentración en la materia seca (ppm) y cantidad extraída en miligramos por planta.

Cuadro 18. Significancia de la concentración y extracción total de micronutrientes en dos cultivares de *Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* M. y *Cucumis melo* L. bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

Factor	Fe	Cu	Mn	Zn	Fe	Cu	Mn	Zn
	Concentración (ppm)				Extracción (mg/planta)			
Cultivo	**	**	**	*	**	**	**	**
Cultivar (cultivo)	*	**	NS	**	NS	*	NS	NS

* indica diferencias significativas a un p-valor > 0,05

** indica diferencias significativas a un p-valor > 0,01

En la concentración de los micronutrientes Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn) de la materia seca total se encontraron diferencias significativas entre cultivares a excepción del Mn que presentó diferencias no significativas entre cultivares, en contraste con la cantidad de micronutrientes que presentó diferencias no significativas entre cultivares para el Fe, Mn y Zn. En el siguiente cuadro se muestran las cantidades de micronutrientes extraídos por planta y sus fracciones raíz, aérea y cosecha.

Cuadro 19. Absorción de micronutrientes en tres hortalizas producidos bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

*DDT	Cultivo	Cultivar	Fracción	mg/planta					
				Cu	Fe	Mn	Zn		
180	<i>Capsicum annuum</i> L.	Nathalie	**Cosecha	5,59 (43%)	25,78 (41%)	14,18 (9%)	24,49 (29%)		
			Aérea	6,16 ± 1,03	37,67 ± 14,42	143,02 ± 33,05	46,62 ± 6,28		
			Raíz	1,32 ± 0,21	11,59 ± 1,92	5,00 ± 1,28	13,67 ± 3,08		
			Total	13,07 ± 0,94	75,04 ± 13,63	162,20 ± 31,7	84,78 ± 7,00		
		4212	**Cosecha	8,29 (49%)	17,50 (28%)	13,36 (7%)	21,65 (21%)		
			Aérea	7,03 ± 2,36	27,73 ± 8,96	162,25 ± 32,42	59,12 ± 8,54		
			Raíz	1,58 ± 0,14	16,53 ± 1,08	7,77 ± 2,68	21,08 ± 4,49		
			Total	16,90 ± 2,42	61,26 ± 8,55	183,38 ± 34,87	101,85 ± 13,12		
		180	<i>Lycopersicon esculentum</i> M.	JR	**Cosecha	8,04 (48%)	9,57 (21%)	6,12 (14%)	16,07 (18%)
					Aérea	6,16 ± 2,28	20,41 ± 9,41	31,42 ± 7,74	61,01 ± 4,43
Raíz	2,50 ± 0,42				15,25 ± 3,14	6,46 ± 0,67	12,15 ± 3,79		
Total	16,70 ± 1,64				45,23 ± 7,60	44,00 ± 8,53	89,23 ± 10,35		
Lyro	**Cosecha			10,89 (62%)	21,78 (40%)	7,54 (22%)	20,95 (32%)		
	Aérea			4,63 ± 1,40	18,66 ± 0,91	21,25 ± 3,08	34,66 ± 28,82		
	Raíz			2,01 ± 0,49	14,32 ± 2,95	5,82 ± 1,43	9,47 ± 2,72		
	Total			17,53 ± 1,17	54,76 ± 4,35	34,61 ± 4,27	65,08 ± 25,7		
90	<i>Cucumis melo</i> L.			Sol Real	***Aérea	0,57 ± 0,13	8,43 ± 3,55	13,54 ± 4,86	8,08 ± 1,18
					Raíz	0,25 ± 0,08	2,52 ± 1,03	0,89 ± 0,58	1,23 ± 0,31
		Total	0,82 ± 0,06		10,95 ± 3,94	14,43 ± 4,47	9,31 ± 1,38		
		Acclaim	***Aérea	0,51 ± 0,32	10,51 ± 7,20	11,42 ± 5,14	7,72 ± 4,50		
			Raíz	0,20 ± 0,09	3,14 ± 2,08	0,76 ± 0,36	0,90 ± 0,64		
			Total	0,71 ± 0,41	13,65 ± 9,14	12,18 ± 5,49	8,62 ± 5,14		

*días después del trasplante.

**resultados obtenidos a partir de un muestreo de extracción de nutrientes de la cosecha; entre paréntesis se incluye el % de cada nutriente en los frutos cosechados.

***incluye tallos, peciolas, hojas, frutos cuajados y en desarrollo.

El orden de absorción de los micronutrientes en chile dulce fue Mn>Zn>Fe>Cu, diferente al reportado por otros autores, como Soto (2008) en Arizona de Estados Unidos el cual reportó el orden de absorción Fe>Mn>Zn>Cu en el cultivo de chile dulce, Azofeifa (2000) citado por Bertsch (2003) obtuvo el orden Fe>Mn>Cu>Zn en el cv UCR589 a los 166DDT. En el **Cuadro 19** se observa que el cv 4212 presentó mayor absorción de Cu, Mn y Zn a los 180DDT en comparación al cv Nathalie que extrajo mayor cantidad de Fe.

Azofeifa (2000) citado por Bertsch (2003) y Soto (2008) reportan una mayor absorción de Fe en comparación al cv Nathalie que extrajo 1,25kg/ha de Fe y al cv 4212 que absorbió 1,02kg/ha, caso contrario se presentó con la cantidad absorbida de Mn y Zn que fueron mayores a los valores reportados por estos autores, con 2,7kg/ha de Mn y 1,4kg/ha de Zn extraídos por el cv Nathalie, y 3,07kg/ha de Mn y 1,7kg/ha de Zn absorbidos por el cv 4212, en ambos cultivares de chile dulce el Cu fue el micronutriente absorbido en menor cantidad con 0,22kg/ha en el cv Nathalie y 0,28kg/ha de Cu en el cv 4212 (**Cuadro 19**), resultados mayores a los reportados por otros autores como Soto (2008) que encontró en chile dulce una absorción promedio de 0,14kg/ha en chile dulce y Azofeifa (2000) citado por Bertsch (2003) que encontró 0,18kg/ha. En los cultivares de chile dulce la mayor proporción de micronutrientes se concentró en la fracción aérea a excepción del Cu en el cv 4212 que se acumuló en mayor cantidad en la cosecha.

En los cultivares JR y Lyro de tomate el orden de absorción de micronutrientes fue Zn>Fe>Mn>Cu, a diferencia de Ramírez (2007) quien reportó en el cv Gabriela de tomate el orden de absorción Fe>Mn>Zn>Cu en Guanajuato de México, Calderón (2005) encontró en el cv Money Maker bajo sistema protegido hidropónico el orden de absorción Mn>Fe>Zn>Cu, destacando al Mn absorbido en mayor cantidad que el Fe.

El cv Lyro presentó mayor absorción de Fe y Cu respecto al cv JR que extrajo más Mn y Zn (**Cuadro 19**), las cantidades de Fe y Mn absorbidas por los cultivares de tomate fueron inferiores a las reportadas por Calderón (2005) a los 147DDT con un

rendimiento de 6,34kg/planta y una extracción de 85mg/planta de Fe y 99mg/planta de Mn; el Zn fue el micronutriente más absorbido en los cultivares de tomate con resultados de 89,2mg/planta en el cv JR y 65mg/planta en el cv Lyro, superiores a los reportados por Calderón (2005) que encontró una extracción de 55mg/planta. El Cu se extrajo en menor proporción respecto al resto de micronutrientes con valores de 16,7mg/planta de Cu en el cv JR y 17,5mg/planta en el cv Lyro, resultados mayores a los alcanzados por Calderón (2005) que registró 4mg/planta de Cu en el híbrido Money Maker. En los cv de tomate el Mn y el Zn se acumularon mayormente en la fracción aérea a diferencia del Cu que se extrajo en más cantidad en la cosecha, en el cv JR el Fe se presentó en mayor proporción en la fracción aérea mientras que el cv Lyro lo acumuló en mayor cantidad en la cosecha.

En el **Cuadro 19** se observa que el cv Sol Real de melón cantaloupe presentó el orden de absorción Mn>Fe>Zn>Cu con una mayor extracción de Mn (14,42mg/planta) en comparación con el cv Acclaim (12,18mg/planta) que extrajo mayor cantidad de Fe (13,65mg/planta) respecto al cv Sol Real (10,95mg/planta) en un orden de absorción de micronutrientes Fe>Mn>Zn>Cu; los órdenes de absorción de los micronutrientes presentados anteriormente contrastan con los reportados por Soto (2008) en un estudio hecho en Arizona, Estados Unidos en el que sembraron el cv Sol Real a campo abierto y encontraron un orden de absorción Fe>Zn>Mn>Cu; este autor alcanzó niveles de absorción inferiores a los encontrados en los cultivares estudiados Sol Real y Acclaim. El Zn y el Cu fueron los micronutrientes extraídos en menor cantidad por parte de ambos cultivares de melón.

En la **Figura 18** se muestra en forma gráfica la absorción de micronutrientes a través del ciclo en los cultivares de chile dulce, tomate y melón cantaloupe.

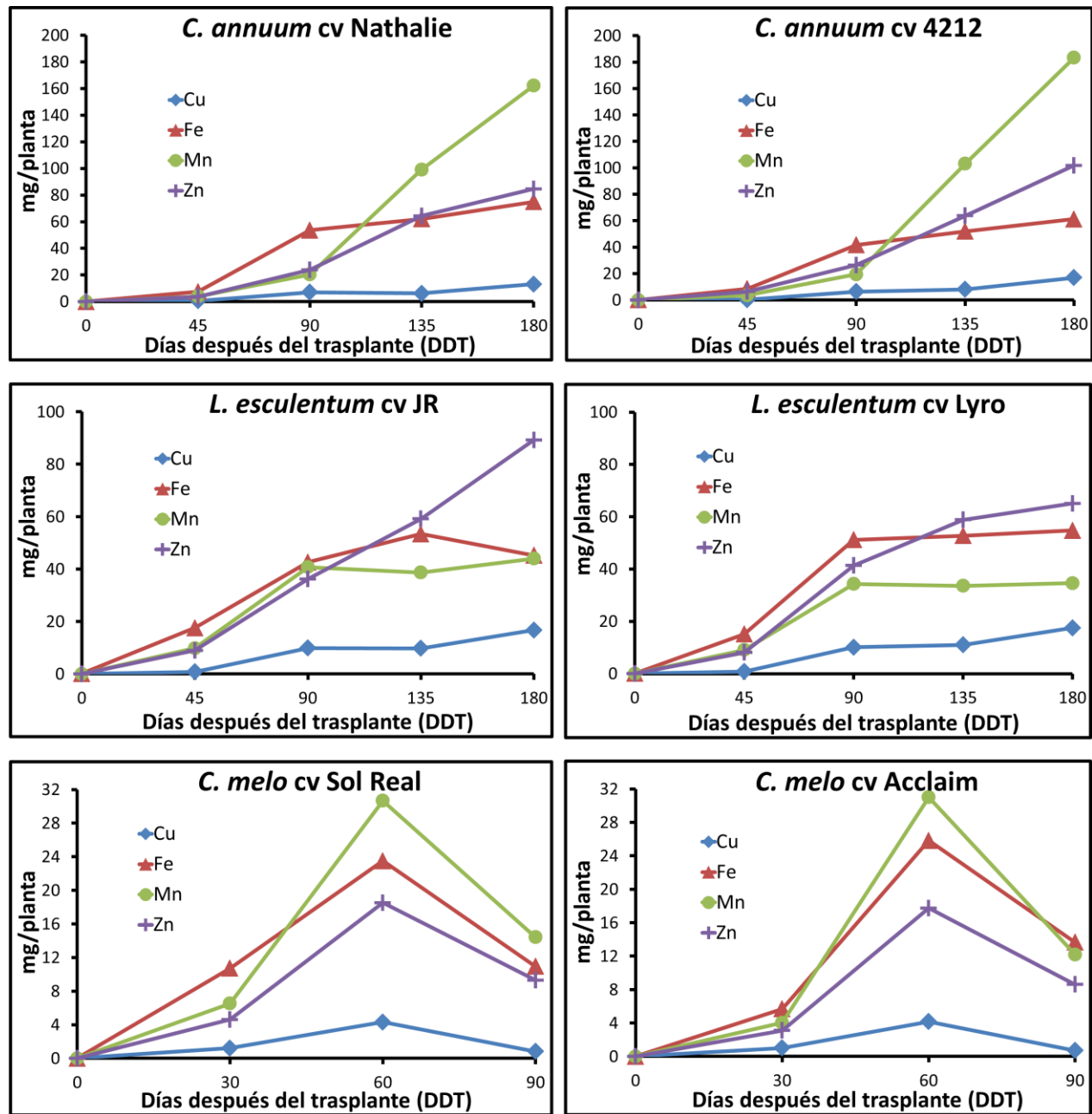


Figura 18. Absorción de micronutrientes de especies hortícolas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). San Carlos, Costa Rica. 2013-2014.

En el cultivo de chile dulce la absorción de Fe, Mn y Zn fue creciente a lo largo del ciclo, contrario al Cu que disminuye su contenido a los 135DDT, el orden de absorción no fue constante durante el ciclo, a los 45 y 90DDT el micronutriente extraído en mayor cantidad fue el Fe, mientras que a los 135 y 180DDT fue el Mn, el Cu se presentó siempre como el de menor absorción. Soto (2008) reportó en el cultivo de chile dulce un comportamiento creciente en la extracción de Cu, Fe y Zn a lo largo del ciclo, con el orden de absorción Fe>Mn>Zn>Cu que se mantuvo constante a través del ciclo.

En los cultivares de tomate la absorción de Zn y Cu fue creciente a través del ciclo, el orden de absorción varió a través del ciclo de cultivo, el Fe fue el micronutriente que más se absorbió a los 45 y 90DDT en cambio a los 135 y 180DDT el Zn fue el más extraído, el Cu presentó una menor absorción durante todo el ciclo al igual que en el cultivo de chile dulce. Calderon (2005) reportó en el cv Money Maker que el orden de absorción Mn>Zn>Cu se mantuvo constante a lo largo del ciclo de cultivo.

En el cultivo de melón cantaloupe la absorción no fue creciente en ninguno de los micronutrientes, la mayor acumulación de Cu, Fe, Mn y Zn se presentó a los 60DDT en los cultivares Sol Real y Acclaim, a los 30DDT el Fe fue el micronutrientes más extraído en ambos cultivares mientras que a los 60DDT fue el Mn, a los 90DDT en el cv Sol Real el Mn también fue el más demandado, en cambio en el cv Acclaim fue el Fe. Soto (2008) utilizando el cv Sol Real obtuvo un comportamiento creciente en la extracción de micronutrientes y el orden de absorción Fe>Zn>Mn>Cu constante a través del ciclo.

5. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se desarrolló este experimento se concluye que:

Los tres cultivos estudiados registraron un comportamiento creciente en la altura de la planta a lo largo del ciclo no así el número de hojas por planta que solo fue creciente en el cultivo de chile dulce el cual se manejó con un mínimo de podas, mientras en el tomate la máxima cantidad se alcanzó a los 124DDT seguido por una disminución a causa la poda de hojas bajas, y en el melón a partir de los 75DDT la cantidad de follaje decrece producto de la poda fitosanitaria realizada debido a la afectación por *Didymella bryoniae*.

El peso seco total por planta en los cultivares estudiados de chile dulce y tomate se mantuvo creciente a lo largo del ciclo, comportamiento similar al peso seco de la cosecha que iguala al de la fracción aérea a los 135DDT en ambos cultivares de chile dulce, en contraste con el tomate cuya situación ocurrió más rápido en el cv Lyro a los 100DDT mientras que en el cv JR sucedió hasta después de los 135DDT.

En los cultivares de melón el peso seco total por planta se comportó de manera distinta con respecto al chile dulce y al tomate, en el cv Sol Real el peso seco total por planta fue creciente con una menor intensidad al final del ciclo, contrario al cv Acclaim que mantuvo un peso seco creciente hasta los 60DDT y posteriormente decreció posiblemente influido por la afectación de *Didymella bryoniae*.

El rendimiento en los cultivares de chile dulce fue superior al reportado por los autores consultados con aproximadamente 4,7kg/planta, sin embargo el cv 4212 obtuvo mayor cantidad de frutos de primera calidad con un 29% del total en comparación cv Nathalie que registró un 25% de frutos de primera.

El cv Lyro de tomate registró un rendimiento de 10,9kg/planta, superando al cv JR en 2,5kg/planta, además la calidad de la cosecha fue superior en el cv Lyro lo que demostró una mayor adaptación y mejor comportamiento productivo en este híbrido.

El orden de absorción de los macronutrientes fue el mismo para los cultivos de chile dulce y tomate (K>N>Ca>P>Mg) pero distinto en el cultivo de melón (K>N>Ca>Mg>P), en los tres cultivos dicho orden de absorción de macronutrientes no varió a lo largo del ciclo a diferencia del de los micronutrientes que si cambió y fue distinto para las tres especies estudiadas.

Al finalizar el ciclo de cultivo el cv 4212 de chile dulce presentó mayor extracción de macronutrientes que el cv Nathalie, al igual que el cv Sol Real de melón cantaloupe que absorbió más macronutrientes en comparación al cv Acclaim, y en tomate el cv Lyro absorbió mayor cantidad de N, Mg, K y P en comparación al cv JR que acumuló más Ca.

En los cultivares de chile dulce y tomate la calidad del fruto fue en detrimento conforme avanzó el ciclo de cultivo, en el chile dulce la cantidad de frutos rechazados fue relativamente baja con un 5% aproximadamente, en tomate el rechazo representó alrededor de un 30% y en el cultivo de melón todos los frutos fueron categorizados como rechazo debido a la afectación por *Didymella bryoniae*.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda el cultivo de chile dulce bajo sistema protegido hidropónico durante periodos mayores a 300DDT con el fin de alcanzar una producción superior a las 200ton/ha.

Bajo condiciones de cultivo protegido en el trópico húmedo de bajura el cv Lyro de tomate representa una mejor alternativa en comparación al cv JR ya que tiene un potencial productivo más alto y que podría incrementarse si se redujera el rechazo de frutos cosechados con diferentes afectaciones (agrietamientos, *Blossom end rot*, deformidades y frutos pequeños).

Bajo sistema protegido hidropónico en el trópico húmedo se sugiere el uso de equipo y tecnología de riego que permita el abastecimiento frecuente de solución nutritiva con el objetivo de mantener una humedad óptima en el sustrato, debido a que nueve riegos por día no fueron suficientes principalmente en el cultivo de tomate que es más susceptible a estrés hídrico.

Al realizar estudios de absorción de nutrientes en cultivos hortícolas se sugiere analizar solamente la fracción productiva por separado del resto de la planta debido a que los frutos representan más del 50% del peso seco total de la misma.

En estudios de crecimiento y absorción de nutrientes la remoción de órganos en la planta debe cuantificarse para ser considerada en las variables relacionadas como el peso seco por planta, la extracción de nutrientes y el número de hojas por planta.

Se recomienda realizar una evaluación financiera que permita cuantificar los costos e ingresos del sistema de cultivo protegido hidropónico en la región tropical húmeda de bajura y con ello determinar la rentabilidad económica de la actividad.

En sistemas de producción diversificada deben considerarse las repercusiones que podría tener el uso de agroquímicos en las actividades agrícolas desarrolladas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alpizar A, L. 2008. Hidroponía cultivo sin tierra. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 104p.
- Azofeifa, A; Moreira; M. 2005. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* cv UCR 589) en Alajuela, Costa Rica. Revista Agronomía Costarricense 29(1): 77-84.
- Bar-Tal, A; Pressman; E. 1996. Root restriction and potassium and calcium solution concentrations affect dry-matter production, cation uptake and *Blossom-end Rot* in greenhouse tomato. Journal of the American Society for Horticultural Science 121(4): 649-655.
- Barraza, FV; Fischer, G; Cardona, CE. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate en el Valle del Sinú medio, Colombia. Agronomía Colombiana 22(1): 81.90.
- Barrientos B, M. 2012. Cultivo protegido hidropónico de melón en la zona norte de Costa Rica. Tesis Lic. Ing. Agr. Costa Rica, TEC. 96h.
- Barrientos S, O; López, L. 2010. Cadena productiva de tomate, Políticas y Acciones. SEPSA-MAG. 19P.
- Bástida T, A; Ramírez A, JA. 2002. Invernaderos en México, diseño construcción y manejo. Serie de publicaciones Agribot. Universidad de Chapingo, México. 163p.
- Bernhardt, E; Dodson, J; Watterson, J. 1988. Cucurbit diseases a practical guide for seedsmen, growers & agricultural advisors. Petoseed Co. Commander International Printing, Hong Kong. 48p.
- Bertsch H, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Editorial ACCS. San José, Costa Rica. 307p.
- Burgueño, H. 1994. La fertigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. ed4. Sinaloa, México. 45p.
- Burgueño, H. 1997. La fertirrigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico Vol. 3. Grupo Formato S.A. Coyoacán, México D.F. 86p.

- Cadahía, C. 2005. Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España. 681p.
- Calderón S, F. 2005. Requerimientos nutricionales de un cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en la sabana de Bogotá. Colombia. 11p.
- Campos O, M. 2009. Efecto de la inoculación de sustratos con *Trichoderma* spp. Sobre el crecimiento y producción de plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) bajo ambiente protegido. Tesis Lic. Ing. Agr. Costa Rica, TEC. 92h.
- Cantliffe, DJ; Harty, JM; Shaw, NL; Sargent, SA; Stoffela, PJ. 2009. Greenhouse production of 'Charentais'-type Cantaloupes (*Cucumis melo* L. var. cantalupensis). Florida State Horticultural Society 122: 281-285.
- Carrillo, M; Jiménez, U; Campos, H; Ramírez, JV; Marín, S; Barrantes, L. 2007. Agrocadena regional cultivo chile dulce. Grecia, Alajuela, CR. MAG. 76p.
- Castellanos, JZ (ed). 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Ocmá soluciones impresas. 458p.
- Castilla, N. 2005. Invernaderos de plástico tecnología y manejo. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 462p.
- Chamú B, JA; López O, A; Ramírez A, C; Trejo L, C; Martínez V, E. 2011. Respuesta del pimentón morrón al secado parcial de la raíz en hidroponía e invernadero. Revista mexicana de Ciencias Agrícolas 2(1): 97-110
- Charlo, HCO.; de Oliveira, S; Castoldi, R; Vargas, P; Braz, L; Barbosa, J. 2011. Growth analysis of sweet pepper cultivated in coconut fiber in a greenhouse. Horticultura Brasileira 29: 316-323.
- Chavarría, A. 2013. Eficiencia de tres fuentes fertilizantes sobre la producción de chile dulce (*Capsicum annuum*) cv Nathalie y sus curvas de absorción, en la producción de chile dulce en invernadero. Revista Ingeniería Agrícola 3(1): 29-39.
- Cotec. 2009. Invernaderos de plástico. Fundación Cotec para la innovación tecnológica. Madrid, España. 102p.
- Cruz H, N; Sánchez C, F; Ortiz C, J; Mendoza C, MC. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y periodo de cosecha en chile pimiento. Agricultura Técnica en México 35(1): 73-80.

- De Rijck, G; Schrevens, E. 1997. pH influenced by mineral composition of nutrient solutions. Department of Applied Sciences K.U. Leuven, Heverlee, Bélgica.
- Dorais, M; Demers, DA; Papadopoulos, AP; Van Ieperen. W. 2004. Greenhouse tomato fruit cracking. *Horticultural Reviews* 30: 163-184.
- El-Keblawy, A; & Lovett-Doust, J. 1996. Resource re-allocation following fruit removal in cucurbits: patterns in cantaloupe melons. *New Phytologist* 134: 413-422.
- Gericke, WF. 1938. Crop production without soil. *Nature* 141: 536-540
- Hanan, J. 1998. Greenhouses: advanced technology for protected horticulture. Editorial CRC Press. Boca Raton, Florida. 684 p.
- Hernández, M; Chailloux, M; Moreno, V; Mojena, M; Salgado, J. 2009. Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicon* L.) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. *Cultivos Tropicales* 30(4): 71-78.
- Hoagland DR; Arnon, DI. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Circular 347, Agricultural Experiment Station. University of California, Berkeley, California, U.S.A. 32p.
- Hochmuth, GJ; Hochmuth, RC. 2001. Nutrient solution formulation for hydroponic (perlite, rockwool, NFT) tomatoes in Florida. University of Florida, U.S.A. 11p.
- Instituto Nacional de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM). 1985. Mapa del cantón de San Carlos en la provincia de Alajuela, Costa Rica. Atlas cantonal. San José, Costa Rica.
- Jaramillo N, J; Rodríguez, V; Guzmán A, M; Zapata C, M; Rengifo M, T. 2007. Manual técnico de buenas prácticas agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. Editorial CTP Print. FAO-MANA-CORPOICA. Medellín, Colombia. 314 p.
- Jensen, MH. 1997. Hydroponics. *HortScience* 32(6): 1018-1021.
- Jones, JB. 2005. Hydroponics: a practical guide for the soilless grower. ed2. Editorial CRC Press. Boca Raton, Florida. 423p.
- Jones, JB. 2012. Plant Nutrition and soil Fertility Manual. Taylor and Francis Group. Boca Raton, Florida, U.S. 282p.

- Juárez H, M. de Jesús; Baca C, GA; Aceves N, LA; Sánchez G, P; Tirado T, JL; Sahagún C, J; Colinas, MT. 2006. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Revista Interciencia* 31(4): 246-253.
- Keith, R. 2003. *How to hydroponics*. ed4. The Futuregarden Press. Farmingdale, New York. 100p.
- Koike, ST; Gladders, P; Paulus, A. 2007. *Vegetables diseases*. Manson Publishing. London, Reino Unido. 448p.
- Lara, H. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Revista Terra* 17(3): 221-229.
- Marcussi, F; Bôas, V; Lyra, R; Godoy, L; Goto, R. 2004. Macronutrient accumulation and partitioning in fertigated sweet pepper plants. *Scientia Agricola* 61(1): 62-68.
- Marín, F. 2010. Cuantificación y valoración de estructuras y procesos de producción agrícola bajo ambientes protegidos en Costa Rica. ProNAP-FITTACORI. 34p.
- Misle, E. 2003. Caracterización termofisiológica del ritmo de absorción de nutrientes del melón (*Cucumis melo* L var *reticulatus* Naud). *Ciencia e investigación agraria* 30(1):39-50.
- Nzanza, B; Marais, D; Claassens, A. 2005. Yield and fruit quality of tomato as affected by rates and ratios of K and Ca in water culture system.
- Ojodeagua A, JL; Castellanos R, JZ; Muñoz R, JJ; Alcántar G, G; Tijerina C, L; Vargas T, P; Enríquez R, S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(4): 367-374.
- Orellana B, FE; Escobar B, JC; Morales B, AJ; Méndez S, IS; Cruz V, RA; Castellón H, ME. s.f. *Guía Técnica. Cultivo de chile dulce*. Centro Nacional de tecnología agropecuaria, El Salvador. 51p.
- Paret, M; Dufault; N; Olson, S. 2011. Management of Gummy Stem Blight (Black Rot) on cucurbits in Florida. Cooperative Extension Service, University of Florida, U.S.A. 9p.
- Parra T, S; Villarreal R, M; Sánchez P, P; Corrales M, JL; Hernández V, S. 2008. Efecto del calcio y potencial osmótico de la solución nutritiva en la pudrición apical, composición mineral y rendimiento de tomate. *Revista Interciencia* 33(6): 449-456.

- Peet, MM; Willits, DH. 1995. Role of excess water in tomato fruit cracking. HortScience 30(1): 65-68.
- Quesada B, P. 2011. Uso de compost y arena volcánica como sustratos en un sistema hidropónico abierto para el cultivo protegido de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tesis Lic. Ing. Agr. Costa Rica, TEC. 96h.
- Ramírez M, R; Aguilar R, J; León G, R. 2010. Introducción a los cultivos protegidos bajo cobertura plástica en Costa Rica. San José: MAG-SUNII. 128p.
- Ramírez S, LF. 2007. Efecto de la concentración de potasio en la solución nutritiva y su relación con la calidad de jitomate en cultivos sin suelo, bajo invernadero. Tesis Dr. Ing. Agr. España, Universidad Politécnica de Valencia. 132h.
- Ramírez V, C; Neinhuis, J. 2012. Evaluación del crecimiento y productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo cultivo protegido en tres localidades de Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha 25(1): 3-15
- Ramos G, F; Luna J, A. 2006. Evaluación de tres variedades de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) en cuatro concentraciones de una solución hidropónica bajo invernadero. Investigación y Ciencia 34: 6-11.
- Resh, HM. 2001. Cultivos hidropónicos. ed5. Mundi-Prensa. Barcelona, España. 558p.
- Reveles H, M; Huchín A, S; Velásquez V, R; Trejo C, R; Ruíz T, J. 2010. Producción de plántulas de chile en invernadero. Folleto Técnico N° 41. Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, México. CIRNOC-INIFAP. 40p.
- Rincón, L; Sáez, J; Pérez, J; Pellicer, C; Gómez, M. 1998. Crecimiento y absorción de nutrientes del melón bajo invernadero. Invest. Agr. Prod. Prot. Veg. 13(1-2):111-120.
- Robles T, R; Rodríguez L, S; Martínez S, J. 2005. Desarrollo vegetativo de melón (*Cucumis melo* L.) establecido por trasplante, con guiado vertical y acolchado plástico en la Comarca Lagunera. México. Revista Chapingo serie Zonas Áridas 4: 15-20.
- Rodríguez D, A. 2012. Advances of hydroponics in Latin America. Proc. 2nd IS on Soilless Culture and Hydroponics, Acta Horticulturae 947: 23-32.
- Rodríguez, H; Muñoz, S; Alcorta, E. 2006. El tomate rojo: sistema hidropónico. Editorial Trillas. México D.F. 81p.

- Rodríguez, JC; Shaw, NL; Cantliffe, DJ. 2007. Influence of plant density on yield and fruit quality of greenhouse-grown *Galia muskmelons*. *HorTechnology* 17(4): 580-585.
- Rodríguez, Z; Pire, R. 2004. Extracción de N, P, K, Ca y Mg por plantas de melón (*Cucumis melo* L.) híbrido Packstar bajo condiciones de Tarabana, estado. Lara. *Revista de la facultad de agronomía LUZ* 21: 141-154.
- Ruiz, C; Túa, D. 2005. Criterios técnicos para fertilizar el cultivo de tomate. *INIA Divulga* 4: 37-41.
- Samperio R, G. 2009. *Hidroponía comercial*. Editorial Planeta Mexicano S.A. San Miguel Iztacalco, México D.F. 172p.
- Sánchez del C, F; Escalante R, ER. 1988. *Hidroponía*. ed3. Universidad Autónoma de Chapingo. 194p.
- Sánchez del C, F; Moreno P, E; Cruz A, EL. 2009. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(1): 67-73.
- Santos, FGB; Negreiros, MZ; Medeiros, JF; Lopes, WAR; Soares, AM; Nunes, GHS; Freitas, FCL. 2014. Growth and yield of Cantaloupe melon 'Acclaim' in protected cultivation using agrotexile. *Horticultura Brasileira* 32: 55-62.
- Soto O, R. 2008. Crop phenology, dry matter production, and nutrient uptake and partitioning in cantaloupe (*Cucumis melo* L.) and chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis Dr. Estados Unidos, University of Arizona. 173h.
- Steiner, AA. 1961a. A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. *Plant and Soil* 15(2): 134-154.
- Steiner, AA. 1961b. Recipe for a Universal Nutrient Solution. Centre for Plant Physiological Research. Wageningen, Holanda. 4p.
- Steiner, AA. 1966. The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant and Soil* 24(3): 454-466.
- Steiner, AA. 1968. Soilless culture. En *Proc.6th Colloq. Int. Potash Inst. Florence, Italy*. 324-341.
- Steiner, AA. 1984. The universal nutrient solution. Sixth international congress on soilless culture, Lunteren, Netherlands. International Society for Soilless Culture (ISOSC). Wageningen, Holanda. p. 633-649.

- Taiz, L; Zeiger, E. 2006. Plant physiology. ed3. Universidad Jaime I, Castellón de la plana, Valencia, España. 623p.
- Trejo, L; Gómez, F. 2012. Nutrient solutions for hydroponic systems. InTech. México. 23p.
- Ureña, G. 2012. Análisis de mercado de ambientes protegidos. Consejo Nacional de Producción-Sistema de Información e Inteligencia de Mercados. 8p.
- Valentín M, MC; Castro B, R; Rodríguez P, JE; Pérez G, M. 2013. Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 19(4): 71-78.
- Vargas B, MI. 2013. Producción de melón (*Cucumis melo* L.) cantaloupe con dos sistemas de tutorado en la zona pacífico central. Tesis Lic. Ing. Agr. Costa Rica, TEC. 63h.
- Vargas T, P; Castellanos R, JZ; Muñoz R, JJ; Sánchez G, P; Tijerina C, L; López R, RM; Martínez S, C; Ojodeagua A, JL. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. Agricultura Técnica en México 34(3): 323-331.
- Vavrina, CS. 1998. Transplant age in vegetables crops. HortTechnology 8(4): 550-555.
- Witwer, SH; Castilla, N. 1995. Protected cultivation of horticultural crops worldwide. HortTechnology 5(1): 6-23.
- Yang, N; Zang, L; Wang, S; Guo, J; Xu, H; Zhang, F; Wan, F. 2014. Biological pest management by predators and parasitoids in the greenhouse vegetables in China. Biological Control 68: 92-102.

8. ANEXOS

Anexo 1. Precipitación, temperatura y humedad relativa calculados con base en el registro climático 2000-2013 tomado por la Estación Meteorológica de la Sede Regional San Carlos del Tecnológico de Costa Rica.

Temperatura (°C)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>Máxima</i>	28,4	29,6	30,7	31,6	31,4	30,2	29,4	30,1	30,4	30,4	28,6	28,4
<i>Media</i>	24,2	24,5	25,2	25,9	26,2	26,1	25,7	25,7	25,9	25,9	24,7	24,2
<i>Mínima</i>	19,8	19,3	19,6	20,2	21,5	22,0	21,8	21,4	21,2	21,3	20,6	19,9

Humedad Relativa (%)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>Máxima</i>	94	94	92	90	92	94	94	95	92	93	95	95
<i>Media</i>	86	81	81	80	87	89	90	90	89	89	91	89
<i>Mínima</i>	77	69	69	70	80	85	85	86	85	86	88	83

Precipitación (mm)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>Media</i>	283,3	147,1	101,5	76,7	313,3	395,5	429,2	383	373	347,7	442,7	331,1

Anexo 2. Manejo fitosanitario de tres especies hortícolas (*Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* M., *Cucumis melo* L.) cultivadas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013-2014.

DDT	Motivo, Plaga o Patógeno	Producto	I.A	Dosis (ml/l)	Volumen aplicado (l)	Cultivo aplicado		
						C. <i>annuum</i>	L. <i>esculentum</i>	C. <i>melo</i>
4	Mosca blanca	Muralla Delta 19 OD (Bayer CropScience)	Imidacloprid+Deltametrina	1		x	x	
7	Bacteriosis del follaje	Kilol LDF 11 SL (VISAVA Agroindustrial)	Extracto semilla cítricos	3	2	x		
7	Preventivo al drench	Actinel (Laboratorios Dr. Obregón)	Metabolitos de <i>Streptomyces</i>	85	12 (drench)	x	x	
12	Mosca blanca	Actara 25 WG (Syngenta)	Tiametoxam	2,5 (g/l)	10 (drench)			x
15	Preventivo tras poda de chupones	Kasumín 2 SL (DAC)	Kasugamicina	1	3		x	
18	Lepidopteros	Muralla Delta 19 OD (Bayer CropScience)	Imidacloprid+Deltametrina	1	6	x	x	
18	Preventivo tras poda de chupones	Kasumín 2 SL (DAC)	Kasugamicina	1	4		x	
27	Preventivo tras podas	Kasumín 2 SL (DAC)	Kasugamicina	1	12	x	x	
32	Preventivo tras podas	Kasumín 2 SL (DAC)	Kasugamicina	1	14	x	x	
32	Ácaros	Vertimec 1,8 EC (Syngenta)	Abamectina	1	18	x	x	
32	<i>Diaphania sp.</i>	SpinTor 12 SL (Dow AgroSciences)	Spinosad	3	60			x
36	<i>Botrytis cinerea</i>	Sportak 45 EC (Bayer CropScience)	Prochloraz	3	60			x
40	Preventivo tras podas	Kasumín 2 SL (DAC)	Kasugamicina	1	6	x		
42	Preventivo tras podas	Kasumín 2 SL (DAC)	Kasugamicina	1	22		x	
42	Preventivo a <i>Anthonomus eugenii</i>	Regent (Bayer CropScience)	Fipronil	1	8	x		
47	Lepidopteros	Muralla Delta 19 OD (Bayer CropScience)	Imidacloprid+Deltametrina	1	24	x	x	
49	Preventivo tras podas	Kasumín 2 SL (DAC)	Kasugamicina	1	26	x	x	
53	Mosca blanca	Muralla Delta 19 OD (Bayer CropScience)	Imidacloprid+Deltametrina	1	18	x	x	
54	Mosca blanca	Plural 20 OD (Bayer CropScience)	Imidacloprid	5	80 (drench)			x
55	Ácaros	Vertimec 1,8 EC (Syngenta)	Abamectina	1	12	x	x	
56	<i>Diaphania sp.</i>	Solaris 6 SC (Dow AgroSciences)	Spinetoram	3	90			x
57	Ácaros	Vertimec 1,8 EC (Syngenta)	Abamectina	1,5	80			x
60	<i>Botrytis cinerea</i>	Sportak 45 EC (Bayer CropScience)	Prochloraz	1,25	16		x	

Anexo 2. Manejo fitosanitario de tres especies hortícolas (*Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* M., *Cucumis melo* L.) cultivadas bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, 2013-2014. (continuación)

DDT	Motivo, Plaga o Patógeno	Producto	I.A	Dosis (ml/l)	Volumen aplicado (l)	Cultivo aplicado		
						C. <i>annuum</i>	L. <i>esculentum</i>	C. <i>melo</i>
72	<i>Dydimella brioniae</i>	Silvacur Combi 30 EC (Bayer CropScience)	Tebuconazole+Triadimenol	1	50			x
74	<i>Botrytis cinerea</i>	Suspensión de <i>Trichoderma</i> en arroz	<i>Trichoderma harzianum</i>	6 (g/l)	54	x	x	
80	<i>Dydimella brioniae</i>	Kasumín 2 SL (DAC)	Kasugamicina	3	60			x
81	Mosca blanca	Muralla Delta 19 OD (Bayer CropScience)	Imidacloprid+Deltametrina	1	40	x		
91	<i>Botrytis cinerea</i> y mosca blanca	<i>Trichoderma harzianum</i> + <i>Isaria fumosisearum</i>	<i>Trichoderma</i> + <i>Isaria</i>	20 (g/l, c/u)	60	x	x	
91	Ácaros	Vertimec 1,8 EC (Syngenta)	Abamectina	1	26	x	x	
96	<i>Dydimella brioniae</i>	Kasumín 2 SL (DAC)	Kasugamicina	3	36			x
97	Mosca blanca	Plural 20 OD (Bayer CropScience)	Imidacloprid	5	80	x	x	
97	<i>Diaphania</i> sp.	Solaris 6 SC (Dow AgroSciences)	Spinetoram	3	36			x
97	<i>Leveillula taurica</i>	Chlorotal 50 SC (Bayer CropScience)	Chlorothalonil	6,25	50	x		
102	<i>Leveillula taurica</i>	Chlorotal 50 SC (Bayer CropScience)	Chlorothalonil	6,25	50		x	
103	<i>Leveillula taurica</i>	Dithane 80 WP (Dow Agrosciences)	Mancozeb	1,4 (g/l)	80	x		
111	<i>Leveillula taurica</i>	Rally 40 WP (Dow AgroSciences)	Myclobutanil	0,75 (g/l)	50	x		
117	<i>Leveillula taurica</i>	Dithane 80 WP (Dow Agrosciences)	Mancozeb	2 (g/l)	80	x		
123	Aparición de marchitez	Cycosin 50 SC (BASF)	Metil-tiofanato	1,4	20 (drench)		x	
124	<i>Leveillula taurica</i>	Suspensión de <i>Trichoderma</i> en arroz	<i>Trichoderma harzianum</i>	10 (g/l)	80	x		
130	Ácaros	Vertimec 1,8 EC (Syngenta)	Abamectina	1,5	40	x	x	
131	Mosca blanca	Actara 25 WG (Syngenta)	Tiametoxam	2,5 (g/l)	30 (drench)	x	x	
134	Marchitez	Cycosin 50 SC (BASF)	Metil-tiofanato	1,4	20 (drench)	x	x	
140	<i>Leveillula taurica</i>	Dithane 80 WP (Dow Agrosciences)	Mancozeb	2 (g/l)	50	x		
160	Mosca blanca y lepidopteros	SpinTor 12 SL (Dow AgroSciences)	Spinosad	1	60		x	
169	Mosca blanca	Plural 20 OD (Bayer CropScience)	Imidacloprid	5	40	x		
169	Mosca blanca	SpinTor 12 SL (Dow AgroSciences)	Spinosad	3	40	x		
176	Mosca blanca	Muralla Delta 19 OD (Bayer CropScience)	Imidacloprid+Deltametrina	1	80	x		

Anexo 3. Temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero durante el ciclo de cultivo de tres especies hortícolas (*Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* M., *Cucumis melo* L.) bajo sistema protegido hidropónico utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). Tecnológico de Costa Rica, San Carlos. 2013-2014.

