

**CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y EXTRACCIÓN NUTRICIONAL EN LOS CULTIVOS PROTEGIDOS DE CHILE DULCE (*Capsicum annuum* L.) Y TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) UTILIZANDO DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN SANTA CLARA, SAN CARLOS, COSTA RICA**



**RONALD ANDRÉS CAMPOS SALAS**  
**CARLOS ARGUEDAS GUTIÉRREZ**

Tesis presentada 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**

**2017**

**CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y EXTRACCIÓN NUTRICIONAL EN LOS CULTIVOS PROTEGIDOS DE CHILE DULCE (*Capsicum annuum* L.) Y TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) UTILIZANDO DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN SANTA CLARA, SAN CARLOS, COSTA RICA**

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica



**RONALD ANDRÉS CAMPOS SALAS**

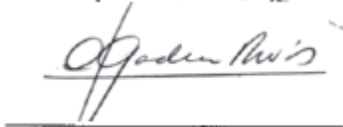
**CARLOS ARGUEDAS GUTIÉRREZ**

**Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:**

Ing. Agr. Carlos Ramírez Vargas, Ph. D.

  
Asesor principal

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

  
Jurado

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

  
Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.

  
Coordinadora de trabajos  
finales de graduación

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

  
Director  
Escuela de Agronomía

**2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor Carlos Ramírez, quien en conjunto con la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Tecnológico de Costa Rica nos permitió realizar este trabajo.

A la profesora Marlen Camacho por su paciente ayuda. A los profesores Parménides Furcal y Arnoldo Gadea por su colaboración, y a los funcionarios Juan Flores, Alexander Paniagua y Ronald Jiménez.

A nuestros compañeros Ignacio Corea, Bryan Rivera, Alfredo Zamora, Patricia Artavia, Daniel Mora, Adolfo Vargas, Oscar Castro, José Daniel Zúñiga, Esteban Sánchez y Fabián Vargas por la ayuda brindada en el trabajo de campo. En general a todas las personas que han formado parte de este proceso de enseñanza que nunca acaba. ¡Gracias totales!

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Objetivo general.....	3
1.2.	Objetivos específicos.....	3
1.3.	Hipótesis de investigación.....	3
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1.	Cultivos protegidos .....	4
2.1.1.	Cultivo protegido de chile dulce ( <i>Capsicum annuum</i> L.).....	6
2.1.2.	Cultivo protegido de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	7
2.2.	Sistemas hidropónicos .....	8
2.3.	Soluciones nutritivas.....	10
2.4.	Absorción de nutrientes en los cultivos de chile dulce y tomate .....	12
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1.	Ubicación y período de estudio.....	16
3.2.	Descripción de la estructura de cultivo y equipo .....	17
3.3.	Descripción general de la investigación .....	18
3.4.	Material experimental vegetal .....	19
3.5.	Diseño de soluciones nutritivas.....	19
3.6.	Descripción de los tratamientos .....	22
3.7.	Descripción de la unidad de estudio.....	23
3.8.	Variables evaluadas .....	25
3.9.	Modelo estadístico y diseño experimental.....	26
3.9.1.	Repeticiones y grados de libertad .....	27
3.9.2.	Distribución espacial de los tratamientos .....	27

3.9.3.	Análisis estadístico utilizado .....	28
3.9.4.	Pruebas <i>a priori</i> y <i>a posteriori</i> .....	28
3.10.	Manejo agronómico.....	28
3.10.1.	Preparación del invernadero .....	28
3.10.2.	Siembra y manejo de almácigos .....	29
3.10.3.	Trasplante, podas, tutorado, fitosanidad y cosecha .....	30
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	35
4.1.	Determinación del crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción nutricional en el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) .....	36
4.1.1.	Crecimiento vegetativo .....	36
4.1.2.	Producción de frutos .....	41
4.1.3.	Extracción de macronutrientes y micronutrientes.....	46
4.2.	Determinación del crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción nutricional en el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.).....	52
4.2.1.	Crecimiento vegetativo .....	52
4.2.2.	Producción de frutos .....	57
4.2.3.	Extracción de macronutrientes y micronutrientes.....	62
5.	CONCLUSIONES .....	68
5.1.	Cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) .....	68
5.2.	Cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.).....	69
6.	RECOMENDACIONES .....	70
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	71
8.	ANEXOS .....	80

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N°	Título	Página
1.	Datos climáticos promedio de Santa Clara, San Carlos, recopilados en el período 2004 - 2014.....	17
2.	Cultivares híbridos utilizados los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	19
3.	Aniones y cationes para la <i>solución nutritiva B</i> , basada en la composición nutricional del cultivo de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) obtenida por Rojas y Paniagua (2015).....	19
4.	Composición de la <i>solución nutritiva A</i> preparada con una conductividad eléctrica (CE) de 2 mS/cm en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014-2015. Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	20
5.	Aniones y cationes para la <i>solución nutritiva B</i> , basada en la composición nutricional del cultivo de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.)obtenida por Rojas y Paniagua (2015). Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	20
6.	Composición de la <i>solución nutritiva B</i> preparada con una conductividad eléctrica (CE) de 2 mS/cm en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	20
7.	Composición nutricional de la solución madre de micronutrientes agregada a las soluciones nutritivas aplicadas en los ensayos sobre	

	crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	21
<b>8.</b>	Proporciones nutricionales establecidas para las soluciones nutritivas (A y B) aplicadas en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	21
<b>9.</b>	Descripción de los factores (tratamientos) en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	22
<b>10.</b>	Variables de respuesta en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	25
<b>11.</b>	Distribución de los grados de libertad según la fuente de variación en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	27
<b>12.</b>	Significancia de las variables de crecimiento vegetativo para dos factores y su interacción en el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	36
<b>13.</b>	Promedios para las variables de crecimiento vegetativo en el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	36
<b>14.</b>	Significancia de las variables de producción de frutos para dos factores y su interacción en el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.)	

	utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	41
<b>15.</b>	Promedios para las variables de producción de frutos en el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) a los 135 DDT utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	41
<b>16.</b>	Significancia de las variables de extracción de macro y micronutrientes para dos factores y su interacción en el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	46
<b>17.</b>	Promedios de extracción de macronutrientes (g/planta) obtenidos al final del ciclo del cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	46
<b>18.</b>	Cantidad de macronutrientes totales extraídos en kilogramos por hectárea (Kg/ha) según los tratamientos aplicados en el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	48
<b>19.</b>	Cantidad de fertilizantes aplicados (Kg) durante el ensayo sobre el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	49
<b>20.</b>	Cantidad de macronutrientes aportados por cada solución nutritiva (Kg) durante el ensayo sobre el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	49
<b>21.</b>	Promedios de extracción de micronutrientes (mg/planta) obtenidos al final del ciclo de cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	50



<b>22.</b>	Cantidad de micronutrientes totales extraídos en kilogramos por hectárea (Kg/ha) según los tratamientos aplicados en el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	50
<b>23.</b>	Significancia de las variables de crecimiento vegetativo para dos factores y su interacción en el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	52
<b>24.</b>	Promedios para las variables de crecimiento vegetativo en el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	52
<b>25.</b>	Significancia de las variables de producción de frutos para dos factores y su interacción en el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	57
<b>26.</b>	Promedios para las variables de producción de frutos en el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) a los 135 DDT utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	57
<b>27.</b>	Significancia de las variables de extracción de macro y micronutrientes para dos factores y su interacción en el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	62
<b>28.</b>	Promedios de extracción de macronutrientes (g/planta) obtenidos al final del ciclo del cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	63
<b>29.</b>	Cantidad de macronutrientes totales extraídos en kilogramos por hectárea (Kg/ha) según los tratamientos aplicados en el cultivo	

	protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	64
<b>30.</b>	Cantidad de fertilizantes aplicados (Kg) durante el ensayo sobre el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	65
<b>31.</b>	Cantidad de macronutrientes aportados por cada solución nutritiva (Kg) durante el ensayo sobre el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	65
<b>32.</b>	Promedios de extracción de micronutrientes (mg/planta) obtenidos al final del ciclo de cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	66
<b>33.</b>	Cantidad de micronutrientes totales extraídos en kilogramos por hectárea (Kg/ha) según los tratamientos aplicados en el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura N°	Título	Página
1.	Mapa físico-político de la provincia de Alajuela (izquierda) y el cantón de San Carlos (derecha), Costa Rica. Imágenes tomadas y adaptadas de: IFAM (1985).....	16
2.	Invernadero de horticultura donde se realizaron los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	18
3.	Croquis general de los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	24
4.	Remodelación del invernadero de horticultura donde se realizaron los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	29
5.	Almácigos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizados los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	30
6.	Sitios de poda en los cultivos protegidos de A) chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y B) tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	31
7.	Manejo de la estructura de los cultivos protegidos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	32

<b>8.</b>	Aplicación de agroquímicos con bomba de mochila de 18 L de capacidad sobre los cultivos protegidos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) y tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	33
<b>9.</b>	Comportamiento del peso seco vegetativo, de frutos y total en el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	37
<b>10.</b>	Comportamiento de la altura de la planta y número de hojas en el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	38
<b>11.</b>	Plantas de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) afectadas por mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> ) y fumagina ( <i>Capnodium elaeophilum</i> ) en la etapa final del ciclo de cultivo en el experimento sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	40
<b>12.</b>	Frutos de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) cosechados al final del ciclo de cultivo en el experimento sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	42
<b>13.</b>	Temperatura registrada en el interior del invernadero de horticultura durante el ensayo sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	43
<b>14.</b>	Comportamiento semanal del número de frutos cuajados y número de frutos cosechados en el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	44

<b>15.</b>	Comportamiento semanal del peso de cosecha en el cultivo protegido de chile dulce ( <i>C. annuum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	44
<b>16.</b>	Comportamiento del peso seco vegetativo, de frutos y total en el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	53
<b>17.</b>	Comportamiento de la altura de la planta y número de hojas en el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	54
<b>18.</b>	Plantas de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) afectadas por marchitez bacteriana ( <i>Ralstonia solanacearum</i> ) en el ensayo sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	55
<b>19.</b>	Plantas de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) afectadas por A) mildiú polvoso ( <i>Leveillula taurica</i> ) y B) moho gris ( <i>Botrytis cinerea</i> ) en el ensayo sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	55
<b>20.</b>	Plantas de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) afectadas por A) tizón temprano ( <i>Alternaria solani</i> ) y B) mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> ) en el ensayo sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	56
<b>21.</b>	Problemas de agrietamiento (izquierda) y <i>Blossom End Rot</i> (derecha) en los frutos de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) en la etapa final del ciclo de cultivo en el ensayo sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	58
<b>22.</b>	Temperatura registrada en el interior del invernadero de horticultura durante el ensayo sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y	

	extracción de nutrientes en tomate ( <i>S lycopersicum</i> L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. ....	58
<b>23.</b>	Comportamiento semanal del número de frutos cuajados y número de frutos cosechados en el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	59
<b>24.</b>	Comportamiento semanal del peso de cosecha en el cultivo protegido de tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.....	60

## RESUMEN

Este experimento se llevó a cabo entre diciembre de 2014 y junio de 2015 en San Carlos, Costa Rica. Con el objetivo de evaluar el crecimiento vegetativo, la producción de frutos y la extracción nutricional se realizaron ensayos con dos especies hortícolas de la familia Solanaceae en invernadero con sistema hidropónico abierto utilizando dos soluciones nutritivas distintas (*SN-A* y *SN-B*). Se utilizaron los cultivares 4212 y Nathalie para el chile dulce (*Capsicum annuum* L.), y los cultivares JR y Lyro para el tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Cada ensayo contó con tres repeticiones para dos tratamientos en un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial. Durante el ciclo de cultivo se realizaron mediciones para cada conjunto de variables (crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes). En el cultivo de chile dulce la altura de la planta presentó diferencias estadísticamente significativas, la altura fue mayor cuando las plantas se regaron con la *SN-A*, y el cv. Nathalie presentó altura superior al cv. 4212. Del mismo modo el número de frutos cuajados por planta presentó diferencias, las plantas regadas con la *SN-A* obtuvieron una mayor cantidad, y el cv. 4212 fue superior al cv. Nathalie. Por su parte, el número de hojas por planta, número de frutos cosechados por planta, peso de cosecha y peso seco vegetativo no presentaron diferencias significativas. En el cultivo de tomate no existieron diferencias estadísticamente significativas para las variables de crecimiento vegetativo y producción de frutos. El orden de extracción de macronutrientes fue  $K > N > Ca > Mg > P$  en ambos cultivos, mientras el orden de extracción de micronutrientes difirió, para chile dulce fue  $Fe > Cu > Mn > Zn$ , y para tomate  $Cu > Fe > Zn > Mn$ . El manejo del cultivo, las condiciones climáticas y la presencia de plagas y enfermedades afectaron directamente el crecimiento vegetativo, la producción de frutos y la extracción de nutrientes de las plantas de chile dulce y tomate.

**Palabras clave:** horticultura, cultivos protegidos, hidroponía, trópico húmedo, Solanaceae, *Capsicum annuum* L., *Solanum lycopersicum* L., solución nutritiva, crecimiento vegetativo, producción de frutos, extracción nutricional.

## ABSTRACT

This experiment was between December 2014 and June 2015 in San Carlos, Costa Rica. In order to evaluate vegetative growth, fruit production and nutritional extraction, two essays were performed with two horticultural species of Solanaceae family under greenhouse with an open hydroponic system using different nutrient solutions (*SN-A* and *SN-B*). Were used cultivars 4212 and Nathalie of sweet pepper (*Capsicum annum* L.), and cultivars JR and Lyro of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Each essay counted with three replications for two treatments in a Completely Randomized Design (DCA) with factorial array. During the growing cycle, variables of vegetative growth, fruit production and nutritional extraction were measured. The height of the plant showed statistically significant differences, the height was higher when the plants were irrigated with *SN-A*, and cv. Nathalie showed higher height than cv. 4212. Likewise, the number of fruits curdled per plant showed differences, the plants irrigated with *SN-A* obtained a greater quantity. The number of leaves per plant, number of fruits harvested per plant, harvest weight and vegetative dry weight did not present significant differences. In the tomato crop there were no statistically significant differences for the variables of vegetative growth and fruit production. The nutritional extraction order of macronutrients was  $K > N > Ca > Mg > P$  in both cultures, while the nutritional extraction order of micronutrients differed, for sweet pepper was  $Fe > Cu > Mn > Zn$ , and in tomato was no definite nutritional extraction order. Crop management, climatic conditions and presence of pests and diseases affected directly vegetative growth, fruit production and nutrient extraction of sweet pepper and tomato plants.

**Key-words:** horticulture, protected crops, hydroponics, humid tropics, Solanaceae, *Capsicum annum* L., *Solanum lycopersicum* L., nutrient solution, vegetative growth, fruit production, nutrient extraction.



# 1. INTRODUCCIÓN

El chile dulce (*Capsicum annuum* L.) y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) son hortalizas de fruto de la familia *Solanaceae*, cuya producción es de las más importantes a nivel mundial y local debido a su consumo, su adaptabilidad, y su ingreso económico. Por estas razones, es necesario optimizar el funcionamiento de estos sistemas productivos, procurando obtener buenos rendimientos, económica y ambientalmente sostenibles. Dicha optimización se enfoca en cómo evitar la limitación de los niveles productivos en el tiempo y cómo aumentarlos, balancear los costos de manera que el sistema permanezca rentable, promover un manejo del agroecosistema que disminuya a la medida de lo posible el impacto ecológico y que brinde a la vez productos de calidad con trazabilidad garantizada.

La horticultura en nuestro país se desarrolla principalmente a campo abierto y en la Región Central. El clima, los suelos y la cultura hortícola arraigada, permiten sembrar a lo largo del año en esta zona; sin embargo, se ha venido dando una expansión urbana que responde al aumento demográfico, en consecuencia, se da un desplazamiento de la actividad agrícola. La alta presión ejercida por plagas y enfermedades es otro factor importante a considerar en el desarrollo de la horticultura, existe una alta demanda de agroquímicos para combatir estos problemas, aunado al alto uso de fertilizantes inorgánicos. Aquí surgen los cultivos protegidos como una alternativa que posibilita la producción agrícola en condiciones desfavorables y/o no tradicionales, donde además se mejoran los rendimientos convencionales. Con un manejo adecuado del sistema se puede facilitar el control de plagas y enfermedades, se disminuye el uso de pesticidas, se optimiza la nutrición, y se puede contrarrestar en cierto grado los efectos del cambio climático sobre las plantas. En Costa Rica existen zonas con potencial para la producción de hortalizas en ambientes protegidos, por ejemplo la Zona Norte o el Pacífico Norte. No obstante, la investigación sobre este campo en esas zonas específicas es deficiente. Actualmente el Valle Central y Zarcero son las zonas con mayor extensión de cultivos protegidos (Ramírez y Nienhuis 2012).

La agricultura en ambiente protegido y controlado está en auge, los países a la vanguardia son China, España, Japón y Países Bajos. En Costa Rica su implementación inició hace más de dos décadas, desde entonces se han desarrollado almácigos, cultivos florales, ornamentales, hortícolas, frutícolas y forestales. Marín, citado por Solórzano (2013), diferencia

tres tipos de ambiente protegido en el país: sistemas automatizados (ambientes controlados), semiautomatizados, y tecnología de baja escala (mallas, túneles, techos, umbráculos).

A partir de 1996, muchos pequeños y medianos productores adoptaron este tipo de sistema, objetados por razones como minimizar el impacto climático, controlar en mayor grado la incidencia de plagas y enfermedades, aumentar rendimientos, mantener una oferta constante, entre otras. Un alto porcentaje de las estructuras que se edificaron después de este año carecieron de asesoría pertinente, hubo mucha improvisación, esto ocasionó estructuras inseguras e inapropiadas, aumento en los costos y uso ineficiente de los recursos (Rojas 2007).

En la implementación de sistemas hidropónicos el fertirriego es considerado un factor determinante a lo largo del ciclo vital de las plantas. Independientemente si el cultivo es en campo abierto o protegido, se debe corresponder a la demanda nutritiva necesaria para que se completen todas las funciones en el ciclo vital y se produzca una determinada cosecha. Imposible soslayar que el comportamiento productivo de las plantas depende tanto de la nutrición como de la sanidad, factores ligados al ambiente.

Esta investigación tiene el fin de generar información sobre la implementación de este tipo de sistemas en la Región Huetar Norte; asimismo, forma parte del proyecto *“Determinación de necesidades nutricionales para cultivos hortícolas bajo sistema de cultivo protegido hidropónico”*, financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Tecnológico de Costa Rica, y desarrollado por el Ing. Agr. Carlos Ramírez Vargas. Dentro del proyecto, previo a este experimento, se dio otra etapa, e igualmente se consideraron variables de crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes a lo largo del ciclo de los cultivos, pero utilizando una única solución nutritiva, la Solución Universal de Steiner para cultivos de fruto. En este caso se utilizaron dos soluciones nutritivas diferentes con la intención de observar su comportamiento. Estas soluciones fueron propuestas de forma directa utilizando el método de Hoagland & Arnon (1950) sobre los datos de extracción de nutrientes de la etapa anterior, obtenidos por Rojas y Paniagua (2015).

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar el crecimiento vegetativo, la producción de frutos y la extracción de nutrientes en los cultivos protegidos hidropónicos de chile dulce y tomate con dos soluciones nutritivas distintas en Santa Clara, San Carlos.

### **1.2. Objetivos específicos**

- ✓ Determinar el crecimiento vegetativo de dos cultivares de chile dulce y dos de tomate en un sistema protegido hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos.
- ✓ Determinar la producción de frutos de dos cultivares de chile dulce y dos de tomate en un sistema protegido hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos.
- ✓ Cuantificar la composición nutricional (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn) al final del ciclo de cultivo de dos cultivares de chile dulce y dos de tomate en un sistema protegido hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos.

### **1.3. Hipótesis de investigación**

- ✓ El crecimiento vegetativo, la producción de frutos y la composición nutricional al final del ciclo de cultivo de los cultivares de chile dulce (4212 y Nathalie) presentan diferencias entre sí según la solución nutritiva que se utilice.
- ✓ El crecimiento vegetativo, la producción de frutos y la composición nutricional al final del ciclo de cultivo de los cultivares de tomate (JR y Lyro) presentan diferencias entre sí según la solución nutritiva que se utilice.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Cultivos protegidos

En los últimos años se han manejado muchas definiciones de cultivo en ambiente protegido, Santos *et al.* (2010), resumen varias definiéndolo como un sistema agrícola especializado que implica algún tipo de protección física para controlar parcial o totalmente el medio edafoclimático, manipulando así condiciones circundantes a las plantas (nutrición, radiación solar, viento, temperatura, humedad, suelo, entre otras), con el propósito de alcanzar un adecuado crecimiento vegetal, buenos rendimientos, y productos que cumplan con las exigencias del mercado.

Según Ramírez y Nienhuis (2012), en Costa Rica la horticultura se da principalmente en campo abierto en el Valle Central. La producción es intensiva a lo largo del año, las fincas son relativamente pequeñas (1 ha - 5 ha) debido a la topografía de los terrenos. Además, la actividad se caracteriza por un alto requerimiento de mano de obra, desplazamiento debido a la expansión urbana y una alta carga de agroquímicos. Los cultivos no son estacionales por lo que los inóculos se mantienen y las condiciones climáticas propician el desarrollo de plagas y/o enfermedades. Esto resulta perjudicial en cuanto a la gestión ambiental en los sistemas hortícolas, pero a la vez representa un desafío en búsqueda de soluciones más ecológicas y eficientes.

La agricultura protegida surge como una alternativa para la producción sostenible. Para 2008 - 2009 en Costa Rica se registró un área dedicada a la actividad de 700 ha aproximadamente, distribuidas en su mayoría en plantas ornamentales (67%) y hortalizas (28%). El suelo es el principal sustrato utilizado, y el recurso hídrico proviene de la cañería, quebradas, pozos, y reservorios; el tratamiento a este recurso es deficiente por parte de los productores. Por otro lado la producción se comercializa en gran parte por exportaciones directas y en el mercado nacional. No existen muchas certificaciones y hay deficiencias en la aplicación de Buenas Prácticas Agrícolas (BAP) por falta de información (Marín 2010).

Adlercreutz *et al.* (2014), citan que para mantener el funcionamiento óptimo de un cultivo protegido es necesario conjugar factores como el control sobre las variables climáticas, el uso de material genético adecuado, el resguardo de la inocuidad del sistema, la ejecución de

prácticas culturales oportunas, y el análisis de los recursos naturales, humanos y económicos; todo esto según el contexto.

La agricultura protegida presenta ventajas y desventajas relativas al medio donde se desarrolle. Hernández *et al.* (2006), mencionan dentro de las ventajas comunes una productividad constante y mayor, mejor calidad de los productos, aprovechamiento oportuno de espacios no tradicionales o improductivos, uso eficiente del recurso hídrico, y representa una alternativa al resguardo de la seguridad y la soberanía alimentaria. Por otro lado, como desventajas se encuentran una alta inversión económica inicial, ineficiente manejo de los residuos (plásticos y vegetales), necesidad de tecnología y personal especializado, esto ligado a la deficiencia de asesoría en materia de administración y mercadeo.

Los cultivos protegidos se clasifican de acuerdo a las estructuras, técnicas utilizadas y al nivel de control ambiental ejercido por estas. De acuerdo con esto existen dos modalidades de protección: los invernaderos y los ambientes semiprotegidos (macrotúneles, microtúneles, mallas y techos) (Adlercreutz *et al.* 2014).

Ortega (2010), cita la definición de invernadero dada por la Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos (AMCI), lo define como una estructura hermética, resistente, y con cubierta total transparente (plástico o malla), empleada para brindar las condiciones favorables para la producción de plantas independientemente de la época. Aquí convergen muchos factores que pueden ser controlados, directa o indirectamente, de tal manera que se genere un microclima interno que asegure una producción buena y rentable, con productos de calidad. La industria de los invernaderos nació y se desarrolló en Europa, empezó a implementarse en el continente americano a inicios de la década de los 80, principalmente en Canadá y algunas regiones de Estados Unidos y México (Garza y Molina 2008).

Los invernaderos deben ser eficientes y funcionales; por eficiencia se entiende la permisibilidad e idoneidad de la estructura para condicionar algunas de las principales variables climáticas según sea necesario. La funcionalidad se refiere al conjunto de requisitos que permiten un máximo aprovechamiento técnico y económico del espacio (Bastida 2006).

### **2.1.1. Cultivo protegido de chile dulce (*Capsicum annuum* L.)**

Según Ramos y De Luna (2006), la producción convencional de chile dulce es dependiente de factores ambientales, y puede ser costosa. La escasez, disponibilidad y costo del agua, constituyen un egreso significativo en la producción.

El establecimiento de invernaderos reduce la incidencia de algunos factores perjudiciales para las plantas de chile dulce, también ayuda a los agricultores a producir más en menos espacio, contrario a los sistemas convencionales. En estos sistemas se da un mejor aprovechamiento del agua debido a la optimización del abastecimiento y a la densidad de siembra. Este último factor garantiza un adecuado crecimiento y rendimiento, determina el nivel de competencia por nutrientes, por lo que reduce un posible desbalance (Hernández *et al.* 2006; Valles *et al.* 2009).

Según Casilimas *et al.* (2012), generalmente las plantas de chile utilizadas en invernadero son de crecimiento indeterminado, es decir, se da un crecimiento vegetativo durante todo su ciclo, el cual es regulado por prácticas de conformación estructural o de arquitectura de la planta, como las podas, deshoje y raleo de frutos. El crecimiento en las especies de *Capsicum* se caracteriza por la presencia continua de nudos y la ramificación, en medio de estos nudos puede haber flores. Las podas se realizan semanalmente con el fin de establecer un balance entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo, reducir competencia entre asimilados, y mejorar la ventilación. El deshoje y raleo de frutos también son prácticas necesarias, se mejora la aireación, se eliminan hojas senescentes, y se eliminan los frutos en las bifurcaciones de los tallos productivos para descartar aquellos fotoasimilados que se direccionan hacia frutos de bajo valor comercial.

Según Hernández (2014), el chile dulce (*Capsicum annuum* L.) producido en invernadero requiere un estimado de 2,1 L de agua/planta/día, de los cuales 0,8 L se pierden por evapotranspiración y 1,3 L por drenado o lixiviación, la eficiencia de uso fluctúa entre 37% y 72% dependiendo de la etapa fenológica. La eficiencia en el uso del agua en campo abierto reporta que en condiciones de capacidad de campo y con una humedad relativa entre 80% y 90%, la necesidad oscila entre 1,5 y 2,5 L de agua/planta/día, con esto se promueve una adecuada fructificación, generando rendimientos entre 7,9 Kg y 8,6 Kg de fruto/m<sup>2</sup> (SOLIHAGUA sf).

En Costa Rica la producción de chile dulce se centraliza en la Región Central, zona subdividida según su área de producción y número de productores en: Occidental, Central y Oriental. En las regiones Brunca, Chorotega, Huetar Norte y Atlántica no hay información actualizada. Los rendimientos promedio reportados en ambiente protegido y campo abierto son de 30 ton/ha a 150 ton/ha y de 8 ton/ha a 43 ton/ha respectivamente. Las distancias de siembra que se establecen en ambiente protegido son 1,20 m entre hileras y 0,25 m entre plantas, obteniendo una densidad de 20.000 plantas/ha; en campo abierto se utilizan distancias entre 0,70 m y 1,20 m para hilera y entre 0,40 m y 0,60 m entre plantas, para una densidad de 15.000 plantas/ha a 25.000 plantas/ha (Carrillo *et al.* 2007).

### **2.1.2. Cultivo protegido de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)**

El tomate es la hortaliza más producida y con mayor valor económico a nivel mundial y local, también la más producida a nivel de invernadero. Su demanda aumenta de la mano a su producción y comercio. El incremento en la producción anual de tomate en los últimos años se da por el aumento en el área y los rendimientos (Escalona *et al.* 2009). Tjalling (2006), cita que el rango de rendimiento de tomate bajo cubierta está entre 180 ton/ha a 220 ton/ha.

Por las exigencias del mercado, condiciones climáticas y seguridad alimentaria, la implementación de estos sistemas productivos aumenta los rendimientos, no solo en cantidad por área, sino en calidad de producto. Por esta razón, Garza y Molina (2008), exponen que para evitar el fracaso se debe tener claro que es distinto el manejo del cultivo de tomate en campo abierto que en invernadero, señalan diferencias en aspectos como: disponibilidad de agua para el riego, climatología de la localidad, estudio de mercado, vías de comunicación, disponibilidad de mano de obra, conocimiento técnico-administrativo, material genético, infraestructura adecuada, e inocuidad del sistema.

Según FAO (2013), el tomate en invernadero puede cultivarse durante todo el año, sin embargo hay que tener en cuenta las condiciones adversas del clima, ya sean heladas o calor excesivo, esto puede dificultar el desarrollo en épocas determinadas. Para contrarrestar estos efectos es necesario adoptar nuevas tecnologías, como el uso de mallas plásticas que intercepten el 50% de la luz solar, optimización del sistema de riego o fertirriego, y uso de una semilla confiable, adaptable y de buena calidad.

Actualmente se tiene la percepción de que el cultivo de tomate en invernadero puede ser más fácil y rentable que el convencional en campo abierto. No obstante, debido a los requisitos de la producción de tomate en invernadero no debe ser considerado un cultivo fácil, conlleva muchas técnicas para asegurar plantas sanas y productivas. Esto se explica mediante la necesidad de mano de obra y tiempo, se refleja en las prácticas culturales semanales, como las podas, mantenimiento del tutorado, aplicaciones, etc. Existe una creencia errónea de que en los invernaderos no hay insectos ni enfermedades, cuando inclusive pueden ser un medio muy apto para su desarrollo debido a la uniformidad de las condiciones, si bien es cierto la aplicación de pesticidas es menor que en campo abierto, es lo que se pretende, pero a veces también son necesarias en ambiente protegido (Snyder s.f.).

## **2.2. Sistemas hidropónicos**

La hidroponía se define como el conjunto de técnicas del cultivo sin suelo que permiten la producción agrícola utilizando una solución nutritiva en agua con los macro y microelementos esenciales que serán absorbidos mediante las raíces, que a su vez podrán estar suspendidas en la solución, como en el sistema *Nutrient Film Technique* (NFT), o en contacto con un sustrato inerte y estéril. Aliada a la hidroponía está la fertirrigación, técnica de cultivo mediante la cual se aportan los nutrientes disueltos uniformemente en el agua del riego, independientemente del sustrato (Bastida 2012, Córdova 2005, Rincón 2003).

En 1935, el considerado padre de la hidroponía y profesor de la Universidad de California, W. F. Gericke, propuso para el conjunto de estas técnicas el término 'acuacultura', no obstante su colega, el Dr. William A. Setchell, le sugirió la palabra 'hidroponía', derivada del griego *hydro* (agua) y *ponos* (trabajo); es decir, trabajo hecho por el agua, o como lo definió el propio Setchell, "*arte y ciencia de la producción de cultivos en medio líquido*". Gericke aceptó, según relató él mismo en una entrevista a la revista *Time* en 1937. El término 'acuacultura' es reservado por su uso histórico y el significado que tiene en estudios experimentales de carácter fisiológico, además tiene la particularidad de que requiere compuestos químicos puros y refinados, agua destilada y contenedores adecuados que resistan la solvatación. Esos estudios posteriormente fueron diseñados para obtener datos de potencial productivo por unidad de área. Cada vez se implementan más técnicas que buscan un mayor control de los



factores que promueven el crecimiento y desarrollo adecuado de los cultivos (Arano 2007, Gericke 1938).

Los sistemas hidropónicos se clasifican como cerrados o abiertos en función del medio de crecimiento en el que se desarrolla el sistema radical. En el primer caso se da una recirculación continua de la solución nutritiva aplicada, la planta absorbe lo que necesita en el momento que necesita, se ahorra alrededor de 20% de agua y 30% de nutrientes. En el caso del sistema abierto, parte de la solución nutritiva aplicada se ve pierde por lixiviación debido a la saturación del sustrato donde se encuentran las raíces (Lara 2000, Sánchez Del Castillo *et al.* 2014).

Madrid (2007), realizó un listado de ventajas y desventajas de los sistemas hidropónicos, dentro de las ventajas mencionó el balance aire-agua-nutrientes logrado, el uso eficiente del recurso hídrico y los fertilizantes, la menor dependencia del medio, mejores rendimientos y menores costos en comparación con la producción en campo abierto. Como desventajas o inconvenientes destacó que el abastecimiento de agua debe ser constante, por lo que el recurso siempre debe estar disponible; también la necesidad de especialización y la carente difusión del concepto de hidroponía.

Según Meric *et al.* (2011), los rendimientos en estos sistemas se orientan a mejorar la producción por unidad de área, considerando el uso eficiente del agua, siempre se pretende lograr un equilibrio entre el uso y la eficiencia productiva. También se toman en cuenta factores como el riego por goteo, el control integral de plagas y enfermedades, y el control climático. Por su versatilidad y nivel de automatización, la hidroponía y el riego por goteo se conjugan bien con los cultivos protegidos.

Ahora bien, los sustratos comúnmente utilizados en los sistemas hidropónicos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos se subdividen en aquellos de origen natural, como las turbas o subproductos de actividades agrícolas como fibra de coco; y polímeros no biodegradables de origen sintético, como espuma de poliuretano y el poliestireno expandido. Igualmente, los inorgánicos se dividen en aquellos de origen natural, como arena, gravas y materiales de origen volcánico; y los que son resultado de procesos de manufacturación, como fibra de vidrio, perlita, vermiculita, arcilla expandida, y ladrillo troceado (Sánchez Del Castillo *et al.* 2014, Baixauli y Aguilar 2002, Lacarra y García 2011).

Los sustratos no disponen de una característica química amortiguadora ante una interrupción del suministro hídrico o disponibilidad de nutrientes, por lo que una modificación por exceso o falta en el fertirriego generaría cambios directos en las plantas. Las características químicas se manipulan mediante las soluciones nutritivas. Los sustratos deben ser química y biológicamente inertes; físicamente deben poseer una alta porosidad, buena capacidad de retención de agua, drenaje rápido, buena aireación, tamaño de partícula adecuado y baja densidad aparente (Nieto 2009).

### **2.3. Soluciones nutritivas**

Una solución nutritiva se puede definir como una disolución de sales minerales en agua que contiene los macro y micro nutrientes esenciales en forma iónica que se absorben mediante las raíces para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Cada material genético puede contar con una solución nutritiva con características y concentraciones particulares que varían en función de la fenología, el tipo de cultivo y las condiciones ambientales (Favela *et al.* 2006, Baixauli y Aguilar 2002, Lacarra y García 2011).

Según Favela *et al.* (2006), es necesario considerar el pH, estado fisiológico de las plantas, conductividad eléctrica, afinidad entre aniones y cationes (antagonismos y sinergismos fisicoquímicos entre iones), concentración de amonio, temperatura y oxígeno disueltos; además, los fertilizantes utilizados deben estar concentrados, con bajo porcentaje de impurezas y buena solubilidad.

Gericke (1938), dijo que el propósito de contar con soluciones nutritivas apegadas a la composición nutricional de las plantas es imposibilitar que la excesiva absorción de ciertos elementos cause una composición anormal que repercuta sobre el comportamiento del cultivo. Con esto las plantas varían la composición química por sí mismas y en respuesta a la solución nutritiva empleada. La excesiva absorción de cualquier elemento, especialmente en la fase temprana de crecimiento, puede tener efectos desfavorables sobre las actividades metabólicas subsecuentes.

Asimismo Steiner (1966), dijo que la composición química de una solución depende de la concentración de sus iones (conductividad eléctrica), la expresión en valores osmóticos, y la acidez expresada como pH. La presión osmótica depende de la cantidad de partículas

disueltas en el agua del riego, en cuanto mayor sea, generará en la plantas un gasto de energía adicional en el momento de la absorción, lo que puede provocar un desbalance nutricional, ya que afecta a los nutrientes cuya movilidad se genera por flujo de masas. Steiner estableció teóricamente que con un valor osmótico de 0,71 atm y un pH de  $6,5 \pm 0,1$ , los únicos valores variables son los iones nutricionales *per se*.

Según Savvas, citado por Putra y Yuliando (2015), si la conductividad eléctrica (CE) es baja, la disponibilidad de los nutrientes en algunos casos puede ser deficiente. La relación mutua entre iones se basa en que la solución nutritiva debe estar balanceada en sus macronutrientes, este balance además de hacerse para los aniones y cationes entre su misma carga, debe hacerse generalizado, de manera que se establece la relación cuantitativa entre ambas cargas para la solución nutritiva. Una inadecuada relación puede disminuir el rendimiento. Existen rangos o niveles posibles para las relaciones iónicas según alguna determinada composición nutricional, bajo este precepto Steiner (1961), generó el método universal para preparar soluciones nutritivas.

En una solución nutritiva (SN) el pH se relaciona con el equilibrio y concentración entre aniones y cationes, dando carácter ácido o básico a la solución, que influye en la solubilidad de los iones. Se plantean niveles óptimos de pH entre 5 y 7, el rango óptimo de solubilidad está entre 5,5 y 5,8. Valores por encima de 6,5 disminuyen la disponibilidad de fósforo y calcio; por encima de 7,5 se dificulta la absorción del mismo fósforo, hierro y manganeso (Baixauli y Aguilar 2002, Favela *et al.* 2006, Lacarra y García 2011).

Patlax (2013), señala que el agua del riego debe ser potable y se deben evitar aguas duras (con altos niveles de calcio y magnesio) y con altos contenidos de cloro, esto puede ocasionar alteraciones en el pH, desbalances en la relación de bases, toxicidades y antagonismos.

La temperatura y la cantidad de oxígeno en las soluciones nutritivas tienen una relación inversamente proporcional, conforme aumenta la temperatura la solubilidad del oxígeno disminuye. El rango adecuado de temperatura oscila entre 18 °C y 25 °C. Un desbalance en esta relación podría originar alteraciones en los procesos metabólicos y de absorción de nutrientes (Lopez *et al.* 2011, Favela *et al.* 2006, Ninancuro y Tantri 2007).

Chang *et al.*, citado por Patlax (2013), mencionan que se debe oxigenar la solución nutritiva constantemente, de no hacerlo se provoca la fermentación de la solución, lo que

favorece la aparición de microorganismos que pueden ser potenciales contaminantes del sistema. En días calurosos se requiere de una mayor oxigenación. Una raíz bien oxigenada y sana debe ser blanquecina.

#### **2.4. Absorción de nutrientes en los cultivos de chile dulce y tomate**

Las plantas crecen y elaboran su biomasa a partir del agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), la energía solar y los nutrientes extraídos. Filippetti, citado por Reyes (2009), establece que los elementos necesarios para el desarrollo normal de las plantas están contenidos en algunas sales y compuestos químicos, y a su vez cada elemento nutricional, con una o varias funciones, refleja mediante síntomas específicos su deficiencia en la absorción y asimilación en las estructuras de las plantas, a la larga en los rendimientos. En hidroponía si las sales empleadas en la fertilización no son las adecuadas en cuanto al compuesto químico y su proporción pueden darse deficiencias, toxicidades e incompatibilidades (FAO 1999, Orellana y León 2011).

La absorción es el proceso mediante el cual la planta genera la extracción de los nutrientes en forma iónica por diferencia de potenciales con el medio circundante. La demanda nutricional de las plantas depende de la biomasa total y de las necesidades internas. Conociendo los niveles de absorción se generan curvas que determinan las cantidades que se extraen en períodos específicos del ciclo de vida de las plantas, de esta forma se pueden llegar a conocer aquellos puntos claves de máxima absorción, se pueden definir programas de fertilización y proponer soluciones nutritivas adaptadas (Salazar y Juárez 2012).

La relación entre los cambios en las concentraciones de los nutrientes, el tiempo estimado de las etapas fenológicas y el peso de las partes de la planta, facilitará la relación de los requerimientos nutricionales. Los procesos metabólicos requieren los nutrimentos cualitativa y cuantitativamente (Azofeifa y Moreira 2008).

La absorción de nutrientes por parte de las plantas se da por tres rutas, la intercepción de la raíz (Ca, K), el flujo de masas (N, S, Ca, B, Cu, Mg, Mn, Mo), y la difusión (K, P). La *intercepción* indica que durante el proceso de crecimiento y desplazamiento las raíces encuentran los nutrientes. En un sistema hidropónico abierto esto no se da, los sustratos son inertes y estériles, y existe el drenaje de la solución nutritiva. El *flujo de masas* es básicamente

el movimiento del agua y los nutrientes debido a un gradiente de transpiración. La *difusión* por su parte, considerada la principal ruta, se basa en el movimiento de los nutrientes de un gradiente de alta concentración a uno de baja (Eyal 2008).

La absorción también puede clasificarse en pasiva o activa. La absorción pasiva se da por el gradiente de potencial hídrico generado por la planta a través de la transpiración, donde se absorben iones como el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y el potasio ( $\text{K}^+$ ); mientras la absorción activa se da por un movimiento en contra, la concentración de algunos elementos en la raíz es mayor que en su alrededor. Los sinergismos y antagonismos juegan un papel muy importante, ya que por ejemplo altas concentraciones de nitrato favorecen la absorción de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , y altas concentraciones del ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) favorecen la absorción de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  y el mismo  $\text{NO}_3^-$  (Sánchez 2000).

Según Cadahia (2005), la frecuencia de absorción de nutrientes es afectada por el material genético, las condiciones ambientales, la calidad del agua de riego, y las técnicas de cultivo. Es importante que los estudios relacionados con extracción de nutrientes se realicen en condiciones nutricionales controladas y óptimas, con el fin de que la relación requerimiento/absorción en la planta pueda reflejarse en el análisis de tejidos, y con esto generar las curvas de extracción de nutrientes y determinar demandas según la etapa fenológica (Bertsch 2005, Quesada y Bertsch 2013).

Actualmente en los sistemas de fertirriego es necesaria la automatización y el monitoreo estricto, con el objetivo de abastecer eficientemente la demanda de agua y elementos minerales por parte de la planta. Es importante conocer la cinética de absorción de los iones y la cantidad que absorben las plantas en un período determinado, con esto se pueden relacionar las tasas de absorción mineral con eventuales factores que intervienen en el proceso. Paralelo a esto, se tipifica el comportamiento fisiológico-agronómico del cultivo, para comprobar las respuestas a los cambios en el manejo nutricional (Martínez *et al.* 2010).

La nutrición resulta crucial en la expresión de los genes y el buen funcionamiento de la planta a lo largo de su ciclo de vida. El cultivo de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) presenta exigencias de nitrógeno en sus primeras instancias, reduciéndose con la cosecha de los primeros frutos. El magnesio también presenta una alta demanda, principalmente porque aumenta la maduración de los frutos. En el caso del fósforo su máxima demanda se direcciona

hacia la floración, maduración de las primeras semillas y la coloración de los frutos. La precocidad y calidad se debe a la absorción de potasio (Alarcón sf).

Según Azofeifa y Moreira (2008), la nutrición del chile dulce considerando los requerimientos se establece con mayor grado para N, P y K, y en menor cantidad para Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B y Cu. La extracción de nutrientes depende de la edad de la planta y la etapa fenológica en la que se encuentre; por ejemplo, el nitrógeno presenta valores uniformes en los frutos y fluctuantes en las hojas, el fósforo presenta concentraciones más altas en los frutos, y el potasio en las hojas (Salazar y Juárez 2013).

El contenido de Ca aumenta conforme la planta crece, el Zn incrementa finalizando el ciclo, y N, P, K, Mg, Cu, Fe y Mn disminuyen conforme avanza el ciclo del cultivo. Con esto se genera un orden de extracción para micronutrientes así: Fe>Zn>Mn>Cu. Y para macronutrientes así: N>K>Ca>Mg>P (Noh *et al.* 2010).

Por otro lado, Betancourt y Pierre (2013), dicen que los niveles de extracción de nutrientes en el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se ven influidos durante todo su ciclo por factores bióticos y abióticos, entre otros factores como el manejo del fertirriego, el tutorado de las plantas y la cobertura plástica. El tomate tiene un patrón característico de absorción, desde el trasplante hasta el crecimiento vegetativo inicial es lento, se da una aceleración en el cuaje y llenado de frutos que va cayendo a medida que el cultivo madura y hasta llegar a la senectud. El cultivo se caracteriza por un aumento en la concentración de potasio durante la floración en los primeros diez racimos, lo que equivale al período de carga del fruto, alcanzando su pico entre la floración de los racimos siete y diez. Este aumento en el potasio (K) coincide con una baja en la concentración de Ca y Mg debido a que existe una reducción en el crecimiento radical.

El cultivo de tomate mantiene una relación de absorción entre N, P y S relativamente estable a lo largo del tiempo. Desde la floración se recomienda limitar o reducir las cantidades aplicadas de nitrógeno, así se evitara la vegetación excesiva que complicará las labores culturales y de cosecha, con esto también se estimula una maduración uniforme en los frutos y una mayor concentración de sólidos solubles (°Brix). La absorción de una planta se expresa como rendimiento en toneladas de fruto en un área determinada (Hartz 2006, Tjalling 2006, Quesada y Bertsch 2013).

Hernández *et al.* (2006), señalan que las dosis de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O para el cultivo protegido de tomate son superiores en 180%, 270% y 192% respectivamente con relación al tomate cultivado en campo abierto, esto se refleja en los rendimientos obtenidos. Es importante mantener una adecuada relación N/K, esta determina el equilibrio entre los procesos vegetativos y reproductivos, el potasio actúa como regulador del crecimiento cuando la disponibilidad de nitrógeno es alta, regula desórdenes fisiológicos que alteran la estructura del fruto. Según estudios a nivel internacional, se define una relación óptima N/K en términos de kilogramos por hectárea de 1:1,2 a 1:4, dependiendo de factores como la variedad, el manejo del cultivo y las condiciones edafoclimáticas.

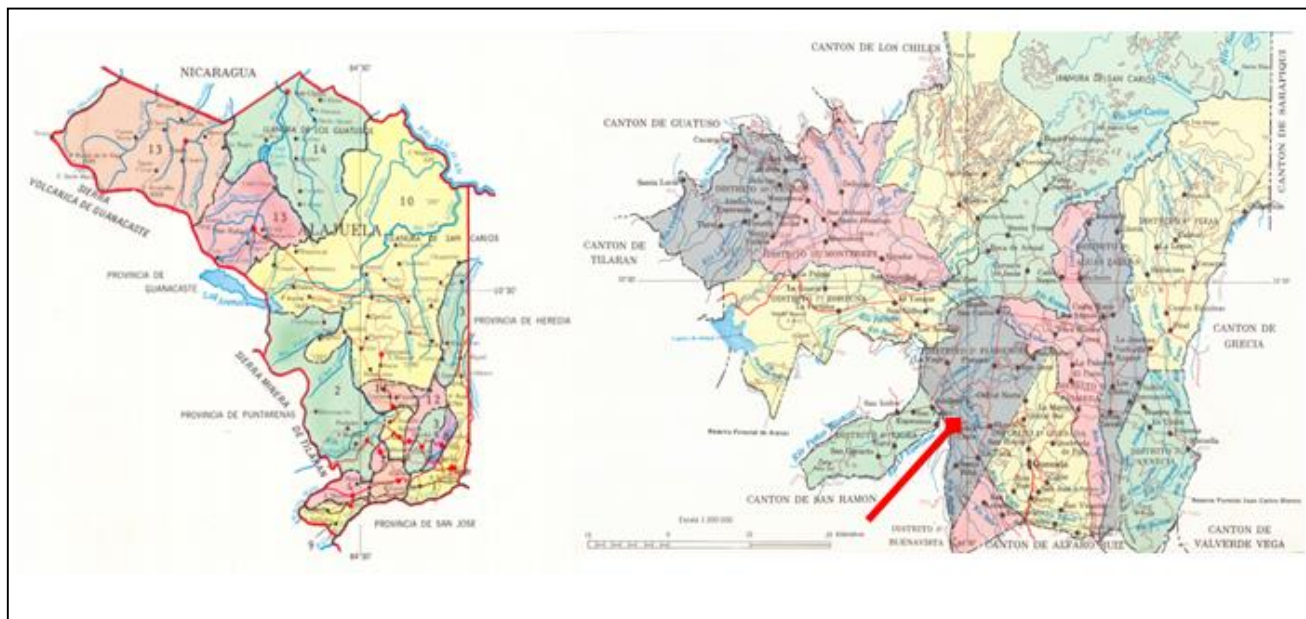
El equilibrio de bases (K, Ca y Mg) es un aspecto fundamental a la hora de calibrar una solución nutritiva, se pueden generar efectos antagónicos que repercuten en el rendimiento del cultivo. Perumal, citado por Hernández *et al.* (2006), encontró una relación inversa entre la concentración de licopeno en el fruto y la concentración de calcio en la solución nutritiva, efecto desencadenado por una disminución en la absorción de potasio. Por otra parte, los altos niveles de potasio y magnesio en la solución nutritiva pueden incrementar la incidencia de pudrición apical y debilitar las paredes celulares.

Gran parte de la investigación en el campo de la horticultura se da en la nutrición de tomate, por eso es que se han propuesto niveles estandarizados en la concentración de los nutrientes en las soluciones nutritivas. Pese a esto, cada situación presenta condiciones específicas, resulta esencial el conocimiento de la extracción que realiza la planta. Dicho en otras palabras, no hay recetas específicas, solo guías de información básica para la planificación de los programas de fertilización (Betancourt y Pierre 2013).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación y período de estudio

La investigación se desarrolló en la Región Huetar Norte, específicamente en las instalaciones universitarias de la Sede Regional del Tecnológico de Costa Rica, ubicado en la comunidad de Santa Clara, perteneciente al distrito de Florencia, al cantón de San Carlos y la provincia de Alajuela (figura 1). Se utilizó el Invernadero de Horticultura de la Escuela de Agronomía, ubicado en las coordenadas  $10^{\circ}21'41.71''\text{N}$  y  $84^{\circ}30'41.98''\text{O}$ . El período del estudio comprendió de diciembre de 2014 a junio de 2015.



**Figura 1.** Mapa físico-político de la provincia de Alajuela (izquierda) y el cantón de San Carlos (derecha), Costa Rica. Imágenes tomadas y adaptadas de: IFAM (1985).

Según las zonas vida establecidas por Holdridge (1971), citado por Quesada (2007), en Santa Clara prevalecen condiciones climáticas típicas de Bosque Húmedo Tropical (bh-T), una temperatura promedio superior a los  $24^{\circ}\text{C}$ , una precipitación anual media entre 2000 mm y 4000 mm (3600 mm en promedio) bien distribuida a lo largo del año, y una humedad relativa promedio superior al 80%. A continuación se presentan los datos promedio obtenidos en los últimos diez años antes de este experimento, recolectados en la estación meteorológica de la institución, localizada 100 m al Oeste del invernadero.



**Cuadro 1.** Datos climáticos promedio de Santa Clara, San Carlos, recopilados en el período 2004 - 2014.

<b>Elemento climático</b>	<b>Mínima</b>	<b>Media</b>	<b>Máxima</b>
Temperatura (°C)	20,8	25,5	30,0
Humedad Relativa (%)	80	87	93
Precipitación anual (mm)	-	3600	-

Alvarado, R. 2014. Historial de datos climáticos. Tecnológico de Costa Rica Sede San Carlos, Costa Rica.

### **3.2. Descripción de la estructura de cultivo y equipo**

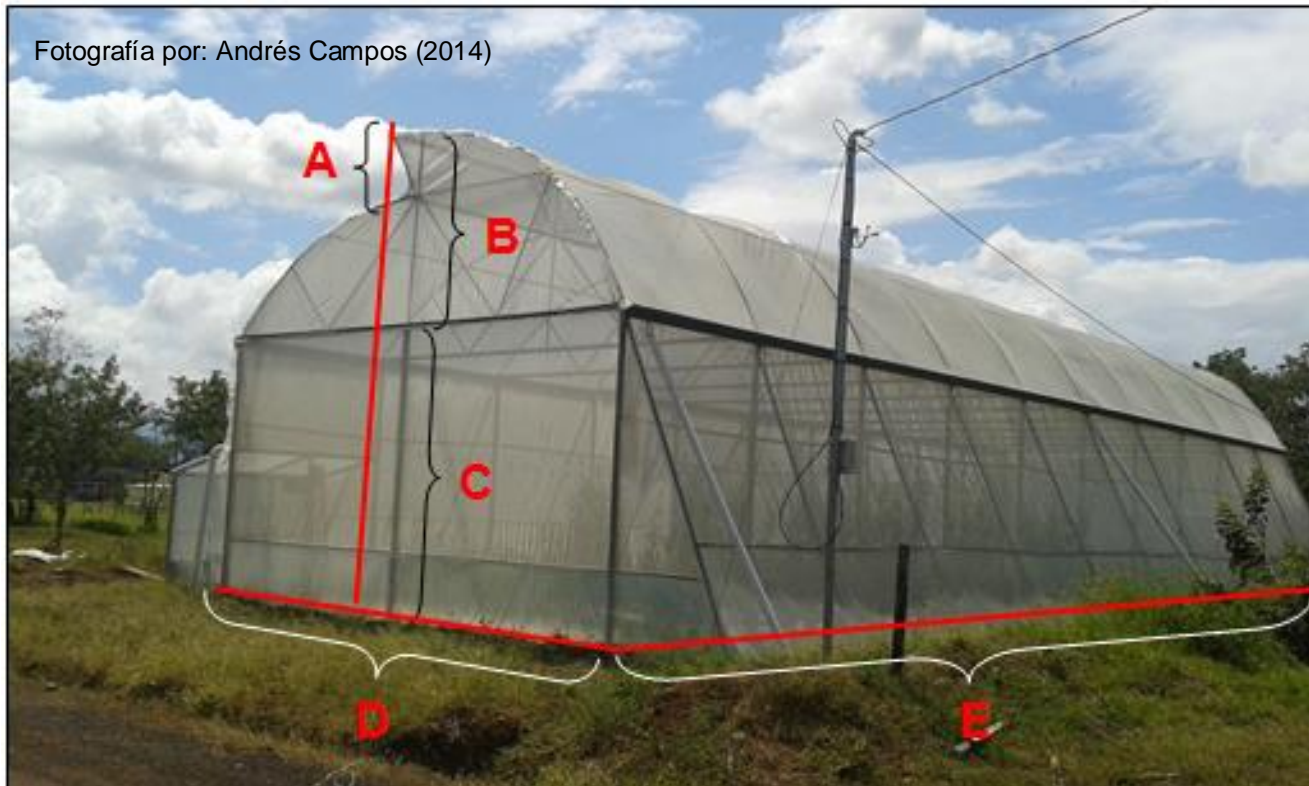
El trabajo de campo se llevó a cabo en el invernadero de horticultura, orientado de Norte a Sur, con un área de 270 m<sup>2</sup> (30 x 9 m), una altura de pared de 4,5 m y una cumbrera de 3 m, para una altura total de 7,5 m. La apertura cenital es fija, mide 1,2 m (figura 2). El techo es de tipo gótico y está cubierto de plástico polietileno de baja densidad con filtro UV, las paredes son de malla antiáfidos (32 x 32 hilos por pulgada lineal). El piso está cubierto por un *ground cover* (plástico blanco permeable que permite un mayor aprovechamiento y uniformidad de la luz debido a la reflexión).

El sistema de riego fue automático y dividido en dos secciones, una para cada solución nutritiva. Se necesitaron dos tanques de 1.000 L de capacidad, dos bombas de 1 HP de potencia, dos filtros de discos, un temporizador (*timer*), contactores, electroválvulas, mangueras de poliducto virgen (de 1 pulgada de diámetro), llaves de paso y goteros tipo botón.

Se utilizaron contenedores plásticos de 10 L de capacidad, en los cuales se depositó un sustrato de arena roja (también llamado tezontle, un aluminosilicato de origen volcánico), se caracteriza por ser química y biológicamente inerte, por su bajo costo y fácil disponibilidad; sin embargo, aunque presenta buena aireación, su retención de humedad es limitada, aquí es donde resulta importante considerar la granulometría. Se cribó el sustrato para uniformizar el tamaño de partícula (idealmente entre 0,25 mm y 1 mm), para así beneficiar la relación aire-agua de manera que el cultivo permanezca en capacidad de campo.

Asimismo, se contó con una bomba de mochila manual de 18 L de capacidad para realizar las aplicaciones de pesticidas, los implementos necesarios para las aplicaciones (mascarilla, delantal, guantes, anteojos de protección), y una caja de herramientas básicas.

Fotografía por: Andrés Campos (2014)



A: Apertura del cenital (1,2 m). B: Cumbre (3 m). C: Altura de la pared (4,5 m). D: Ancho (9 m). E: Largo (30 m)

**Figura 2.** Invernadero de horticultura donde se realizaron los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

### 3.3. Descripción general de la investigación

El ensayo se llevó a cabo bajo ambiente protegido, se utilizaron dos cultivares híbridos de chile dulce y dos de tomate. Se utilizó un sistema hidropónico abierto con dos soluciones nutritivas propuestas a partir de los resultados obtenidos por Rojas y Paniagua (2015), quienes emplearon los mismos cultivares, y la misma modalidad de producción, utilizando la Solución Universal de Steiner (1984) para cultivos de fruto. En el período experimental se midieron variables de crecimiento vegetativo y producción de frutos, además la composición nutricional de las plantas al final del ciclo de cultivo.

### 3.4. Material experimental vegetal

El cuadro 2 presenta los dos cultivares para cada especie (*C. annuum* L. y *S. lycopersicum* L.). Se sembraron 240 plantas, 60 por cultivar. Se dispuso de 12 hileras de 20 plantas cada una, tres hileras por cultivar en total. De esas 20 plantas por hilera, diez pertenecen una variedad y diez a otra, distribuidas al azar. Se realizaron tres repeticiones por tratamiento.

**Cuadro 2.** Cultivares híbridos utilizados los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Nombre común	Nombre científico	Cultivar	Casa comercial	Origen
Chile dulce	<i>Capsicum annuum</i> L.	4212	Monsanto Seminis	EE.UU.
		Nathalie	Rogers Syngenta Seeds	
Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	JR	Hazera Seeds	Israel
		Lyro	Rijk Zwaan	Holanda

### 3.5. Diseño de soluciones nutritivas

Los cuadros del 3 al 7, presentan las cantidades, así como los miliequivalentes, correspondientes a las dos soluciones nutritivas propuestas, “solución nutritiva A” y “solución nutritiva B”. Ambas fueron propuestas por Ramírez (2014) de forma directa según las proporciones nutricionales obtenidas por Rojas y Paniagua (2015) en su ciclo de cultivo. La “solución nutritiva A” se basó en la composición nutricional de las plantas de chile dulce, mientras la “solución nutritiva B” en la composición nutricional de las plantas de tomate.

**Cuadro 3.** Aniones y cationes para la solución nutritiva A, basada en la composición nutricional del cultivo de tomate (*S. lycopersicum* L.) obtenida por Rojas y Paniagua (2015). Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Miliequivalentes (meq.)	
Aniones	Cationes

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	12,50	K <sup>+</sup>	10,48
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,70	Ca <sup>+2</sup>	7,43
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	6,80	Mg <sup>+2</sup>	2,06

**Cuadro 4.** Composición de la *solución nutritiva A* preparada con una conductividad eléctrica (CE) de 2 mS/cm en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Sal mineral	Miliequivalentes	Cantidad en la solución (g/1.000 L)
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	7,43	456,95
KNO <sub>3</sub>	5,07	384,05
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,70	190,34
MgSO <sub>4</sub>	2,06	71,40
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,71	308,03

**Cuadro 5.** Aniones y cationes para la *solución nutritiva A*, basada en la composición nutricional del cultivo de chile dulce (*C. annuum* L.) obtenida por Rojas y Paniagua (2015). Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Aniones		Cationes	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10,50	K <sup>+</sup>	11,34
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,60	Ca <sup>+2</sup>	6,56
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	8,90	Mg <sup>+2</sup>	2,09

**Cuadro 6.** Composición de la *solución nutritiva B* preparada con una conductividad eléctrica (CE) de 2 mS/cm en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Sal mineral	Miliequivalentes	Cantidad en la solución (g/1.000 L)
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	6,56	403,44
KNO <sub>3</sub>	3,93	297,70
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2,09	193,12
MgSO <sub>4</sub>	0,60	61,20
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6,81	445,37

Cada solución se complementó con 10 g de Microplex<sup>®</sup> (Miller Chemical and Fertilizer, LLC.), microelementos en forma de quelatos. Además se añadieron 5 g de sulfato de zinc

heptahidratado ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) y 5 g de ácido bórico ( $H_3BO_4$ ). La composición nutricional de la solución madre de micronutrientes se presenta en el cuadro 7.

**Cuadro 7.** Composición nutricional de la solución madre de micronutrientes agregada a las soluciones nutritivas aplicadas en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Fuente	Nutriente	Composición (%)
<i>Microplex®</i>	Mg	5,43
	B	0,50
	Co	0,05
	Cu	1,50
	Fe	4,00
	Mn	4,00
	Mo	0,10
	Zn	1,50
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	Zn	22,00
	S	11,00
$H_3BO_4$	B	17,50

Para calibrar las proporciones nutricionales de cada solución se utilizó la metodología de Hoagland y Arnon (1950), donde se relacionan los cationes con los aniones como unidades miliequivalentes por litro (anexo 1 y 2). Este método consiste en un cuadro de doble entrada en el que se colocan los miliequivalentes aniónicos en la fila superior y los miliequivalentes catiónicos en la columna izquierda. La suma de los miliequivalentes aniónicos o catiónicos es la concentración que tendrá la solución nutritiva en equivalentes para un volumen de 1.000 L, dependiendo de la conductividad eléctrica (CE). Las proporciones suministradas deben ser similares al contenido en las plantas, deben balancearse iónicamente según el triángulo de proporciones de Steiner (1961), él mismo propone como equilibrio una relación aniónica ( $NO_3^-:H_2PO_4^-:SO_4^{2-}$ ) de 60:5:35, y una relación catiónica ( $K^+:Ca^{2+}:Mg^{2+}$ ) de 35:45:20. El cuadro 8 presenta las proporciones obtenidas en las soluciones nutritivas utilizadas.

**Cuadro 8.** Proporciones nutricionales establecidas para las soluciones nutritivas (A y B) aplicadas en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y

extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Soluciones nutritivas	Proporciones nutricionales (- / +)	
	Aniones ( $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ )	Cationes ( $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ )
A	62:4:34	53:37:10
B	52:3:45	57:33:10

De la interacción entre aniones y cationes resultan las sales iónicas o fertilizantes que se emplearon (anexo 3). Una vez que se encuentren completas y balanceadas las cargas aniónicas y catiónicas, se procede a calcular la cantidad de fertilizante necesario en gramos para el volumen de 1.000 L. Para eso se multiplicaron los equivalentes de cada sal formada por el peso molecular de la misma, luego se dividió el resultado entre el número de oxidación o valencia química.

En las soluciones nutritivas la conductividad eléctrica (CE) fue aumentándose a lo largo del ciclo de los cultivos en tres puntos específicos. En la etapa de almácigo la conductividad fue de 1 mS/cm, previo al trasplante se aumentó a 1,5 mS/cm para garantizar el endurecimiento de la estructura de las plántulas. Se siguió con esta CE desde el trasplante hasta el inicio de la floración, donde se cambió a 1,75 mS/cm. Una vez que los cultivos presentaron frutos cuajados de forma generalizada se pasó a 2 mS/cm y se mantuvo así hasta el final del ciclo.

### 3.6. Descripción de los tratamientos

Los tratamientos, o interacciones, se derivaron de arreglo un factorial que integró dos factores cualitativos (cultivares híbridos de cada especie y soluciones nutritivas) para cada especie de cultivo, es decir el experimento incluyó dos ensayos. El cuadro 9 describe los niveles de cada factor, sus respectivas combinaciones (tratamientos) y abreviaturas.

**Cuadro 9.** Descripción de los factores (tratamientos) en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Cultivo	Cultivares	Solución nutritiva	Tratamiento (abreviatura)
---------	------------	--------------------	---------------------------

Chile dulce ( <i>Capsicum annuum</i> L.)	4212 Nathalie	A	4212-A Nath-A
		B	4212-B Nath-B
Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.)	JR Lyro	A	JR-A Ly-A
		B	JR-B Ly-B

### 3.7. Descripción de la unidad de estudio

La unidad de estudio correspondió a las plantas de los cultivares de chile dulce y tomate, cada una, de manera individual en una maceta plástica e irrigada con la solución nutritiva correspondiente. La unidad experimental concernió a la mitad una hilera (4,5 m), donde se establecieron diez plantas. El distanciamiento entre las hileras fue de 1,5 m, y entre plantas de 0,4 m.

Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento, para un total de 24 unidades experimentales o parcelas entre los dos ensayos. En los muestreos semanales se tomaron en cuenta ocho plantas por unidad experimental, no se tomaron en cuenta las plantas de los bordes. Por otro lado, se utilizaron 24 plantas en cada muestreo destructivo, tres plantas por tratamiento (una planta por repetición). En este caso las plantas fueron seleccionadas tomando en cuenta los bordes de la unidad experimental. El análisis de tejidos para obtener la extracción de los nutrientes a los 135 DDT (días después del trasplante) se realizó sobre las plantas correspondientes al tercer muestreo destructivo, seleccionadas en forma aleatoria para cada unidad experimental al concluir el ciclo de los cultivos (figura 3).



### MUESTREOS

◦ Plantas correspondientes a muestreo semanal

M1 Muestreo destructivo a los 45 días

M2 Muestreo destructivo a los 90 días

M3 Muestreo destructivo a los 135 días

### TRATAMIENTOS

JR-A Solución nutritiva A para cv. JR

Ly-A Solución nutritiva A para cv. Ly

4212-A Solución nutritiva A para cv. 4212

Nath-A Solución nutritiva A para cv. Nathalie

JR-B Solución nutritiva B para cv. JR

Ly-B Solución nutritiva B para cv. Lyro

4212-B Solución nutritiva B para cv. 4212

Nath-B Solución nutritiva B para cv. Nathalie

# Fila/#Planta	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Tratamiento	JR-B	Ly-A	JR-B	Nath-B	4212-B	Nath-A	Ly-A	JR-B	Ly-A	4212-A	Nath-B	4212-A
1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1
2	◦	◦	◦	◦	M3	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦
3	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦
4	◦	M3	◦	◦	◦	◦	◦	◦	M3	◦	◦	◦
5	◦	◦	◦	M3	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	M3
6	◦	◦	◦	◦	◦	◦	M3	◦	◦	◦	◦	◦
7	◦	◦	M3	◦	◦	M3	◦	◦	◦	M3	◦	◦
8	M3	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦
9	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	M3	◦	◦	M3	◦
10	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2
1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1
2	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	M3	◦	◦	◦
3	◦	M3	◦	◦	◦	M3	◦	◦	◦	◦	◦	◦
4	◦	◦	◦	M3	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦
5	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	M3	◦	◦
6	◦	◦	◦	◦	M3	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦
7	M3	◦	◦	◦	◦	◦	◦	M3	◦	◦	◦	M3
8	◦	◦	M3	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	M3	◦
9	◦	◦	◦	◦	◦	◦	M3	◦	◦	◦	◦	◦
10	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2
Tratamiento	Ly-B	JR-A	Ly-B	4212-B	Nath-B	4212-A	JR-A	Ly-B	JR-A	Nath-A	4212-B	Nath-A

**Figura 3.** Croquis general de los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.



### 3.8. Variables evaluadas

Las variables tomadas en cuenta determinaron el crecimiento vegetativo, la producción de frutos y la extracción de nutrientes al final del período experimental. La medición de las variables inició una semana después del trasplante y hasta el final del ciclo productivo de cada cultivar, que en este caso llegó a los 135 DDT.

Los muestreos destructivos para obtener el peso seco se realizaron cada 45 días, las muestras se llevaron al horno a unos 65 °C - 70 °C hasta llegar a una humedad contenida menor o igual al 12%. Se realizaron tres muestreos distribuidos en el ciclo de los cultivos: 45 DDT (M1), 90 DDT (M2) y 135 DDT (M3). Posteriormente se obtuvo la extracción nutricional sobre las plantas del M3.

También se midieron variables climáticas, específicamente la temperatura y el porcentaje de humedad relativa (anexo 10 y 11). Se utilizaron sensores electrónicos dentro y fuera del invernadero para monitorear constantemente los valores mínimos, máximos y promedios. Los datos externos a la estructura de los cultivos fueron obtenidos de la estación meteorológica de la universidad, ubicada a 100 m del invernadero.

**Cuadro 10.** Variables de respuesta en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Abreviación	Variable (unidades)	Descripción	Frecuencia de medición
<i>Alt</i> <sup>1</sup>	Altura de planta (cm)	Se midió desde la base de la planta hasta el meristemo apical con una cinta métrica graduada.	Semanal
<i>Ho</i> <sup>1</sup>	Nº de hojas por planta (#)	Se contó el número total de hojas abiertas por planta.	
<i>Fcua</i> <sup>2</sup>	Nº de frutos cuajados por planta (#)	Se contó el número de frutos cuajados por planta sin tomar en cuenta los frutos cosechados.	
<i>Fco</i> <sup>2</sup>	Nº de frutos cosechados por planta (#)	Se contó el número de frutos cosechados por planta.	

Abreviación	Variable (unidades)	Descripción	Frecuencia de medición
<i>PC</i> <sup>2</sup>	Peso total de cosecha (Kg/planta)	Se pesaron los frutos cosechados por planta a lo largo del ciclo.	Semanal
<i>PSV</i> <sup>1</sup>	Peso seco vegetativo (g). Entiéndase por vegetativo raíz, tallo, hojas y flor.	Se pesaron las muestras provenientes del horno según la sección con una balanza granataria.	Cada 45 días
<i>PSF</i> <sup>1</sup>	Peso seco de frutos (g)		
<i>PST</i> <sup>1</sup>	Peso seco total de la plante (g)		
<i>NEV</i> - [Símbolo químico según elemento o ión respectivo] <sup>3</sup>	Nutrientes minerales extraídos por la parte vegetativa (% ó mg/L). Entiéndase por parte vegetativa raíz, tallo, hojas y flor.	Se estimó la extracción de nutrientes a partir del análisis de tejidos obtenido al final del ciclo de cultivo para cada sección. Las extracciones de los macronutrientes fueron dadas en %, y para los micronutrientes en mg/L; luego se extrapolaron a g o mg por planta.	A los 135 DDT
<i>NEF</i> - [Símbolo químico según elemento o ión respectivo] <sup>3</sup>	Nutrientes minerales extraídos por los frutos (% ó mg/L)		
<i>NET</i> - [Símbolo químico según elemento o ión respectivo] <sup>3</sup>	Nutrientes minerales extraídos por parte de la planta en su totalidad (% ó mg/L)		

Variables de: <sup>1</sup>Crecimiento vegetativo. <sup>2</sup>Producción de frutos. <sup>3</sup>Extracción de nutrientes.

### 3.9. Modelo estadístico y diseño experimental

El experimento se ejecutó en condiciones parcialmente controladas, el diseño estadístico utilizado fue Irrestricto al Azar o Completamente al Azar (DCA). Como se mencionó anteriormente, el ensayo se dividió en dos, por un lado el efecto de las soluciones nutritivas en los cultivares de chile dulce, y por otro el efecto de las mismas en los cultivares de tomate. El arreglo fue factorial, se realizó el mismo modelo para cada especie (*S. lycopersicum* L. y *C. annuum* L.). El tipo de serie fue mixta, involucró dos factores con dos niveles cada uno (cultivares y soluciones nutritivas).

En el análisis estadístico se compararon los resultados de los cultivares con respecto a las soluciones nutritivas. El modelo estadístico para cada especie fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + (A_i * B_j) + \epsilon_{ij}$$

Donde  $\mu$  es la media general,  $A_i$  y  $B_j$  representan los factores,  $A_i * B_j$  es la interacción de los factores y  $\epsilon$  el error experimental. Se trabajó con un nivel de confianza de 95%, generalmente utilizado en experimentos de carácter agronómico.

### 3.9.1. Repeticiones y grados de libertad

Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento. Cada repetición correspondió a una unidad experimental. El cuadro 11 detalla la distribución de los grados de libertad, se tuvieron 11 grados de libertad totales para cada ensayo.

**Cuadro 11.** Distribución de los grados de libertad según la fuente de variación en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Cultivo	Fuente de variación	Grados de libertad
Chile dulce	Solución nutritiva	1
	Cultivar	1
	Tratamiento (Solución nutritiva*Cultivar)	3
	Error experimental	8
	Total	13
Tomate	Solución nutritiva	1
	Cultivar	1
	Tratamiento (Solución nutritiva*Cultivar)	3
	Error experimental	8
	Total	13

### 3.9.2. Distribución espacial de los tratamientos

Considerando el número de repeticiones, se contó con un total de 24 unidades experimentales, designadas de manera aleatoria dentro del invernadero (figura 3).

### 3.9.3. Análisis estadístico utilizado

Se aplicó Análisis de Varianza para cada variable según el grupo de variables y el ensayo correspondiente, estos se realizaron en la versión estudiantil del programa *InfoStat Visión 2015* para Windows (Di Rienzo *et al.* 2015). Se trabajó con una significancia estadística de 1% y 5% ( $p=0,01$ ;  $p=0,05$ ).

### 3.9.4. Pruebas *a priori* y *a posteriori*

Como prueba *a priori* se realizaron los análisis exploratorios, se obtuvieron las estadísticas descriptivas para cada ensayo. Las variables fueron cuantitativas, como prueba *a posteriori* se realizó la comparación de medias según Tukey cuando existieron diferencias significativas, con esto se evaluaron rigurosamente las hipótesis en el estudio.

## 3.10. Manejo agronómico

### 3.10.1. Preparación del invernadero

Previo al transplante se limpió el invernadero, se sacaron rastrojos del ciclo anterior, se arrollaron las piolas, se vaciaron las macetas y se acumuló el sustrato que estas contenían para posteriormente solarizarlo (figura 4). La solarización es un método ecológico no convencional efectivo en la desinfección de los suelos o sustratos antes de la siembra, consiste en colocar una cobertura plástica sobre el material y exponerlo a la radiación solar, de manera que mediante las fluctuaciones en la temperatura los microorganismos no puedan sobrevivir. Además se desinfectó con una disolución de yodo.



**Figura 4.** Remodelación del invernadero de horticultura donde se realizaron los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en los cultivos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Se podaron árboles alrededor del invernadero para no obstruir la ventilación y la luminosidad, también se dio mantenimiento a los drenajes. Se cambió la malla antiáfidos de la estructura y el plástico del techo. Se colocaron parales laterales de metal como soporte para evitar que la malla pendulara. Se colocaron canales laterales de metal como soporte para evitar que la malla pendulara. Se cambiaron las canoas y se agregaron los bajantes. Se lavaron y desinfectaron con detergente y cloro los tanques y el *ground cover*. Se esterilizaron las macetas y el sustrato solarizado con Caldo Bordelés. Se construyó una casetilla externa al invernadero (al Norte) de 6 m x 4 m para colocar el equipo de riego. Finalmente, las macetas se llenaron de sustrato y se desinfectaron nuevamente con Caldo Bordelés para proceder al trasplante.

### **3.10.2. Siembra y manejo de almácigos**

Para ambos cultivos se utilizaron híbridos altamente comerciales en la actualidad. Los almácigos se sembraron en bandejas plásticas de 105 celdas con sustrato *Germination Mix*® o *Peat moss*® (Sun Gro Horticulture Canada, Ltd.) mezclado con fibra de coco (figura 5). Esta etapa se dio en la empresa Almácigos San Juan, S. A., ubicada en Naranjo, Alajuela. Allí cuentan con un invernadero estrictamente controlado con mesas metálicas donde se colocan las bandejas, el riego se da mediante un equipo de aspersion fijo colocado sobre estas. Una vez listos, los almácigos se trasladaron a la universidad y se mantuvieron en el invernadero de horticultura cinco días previos al trasplante.

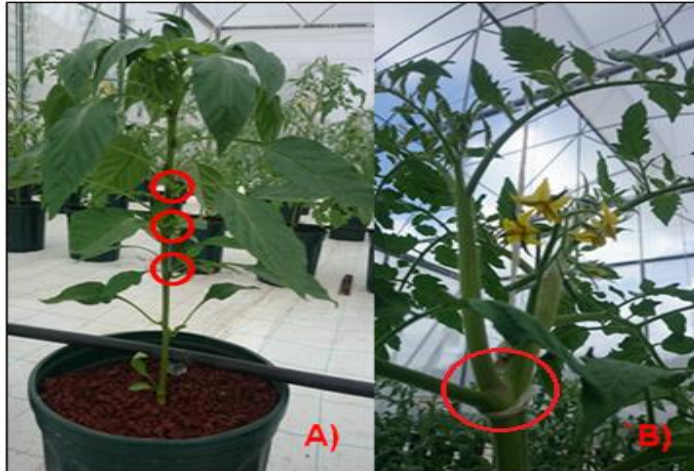


**Figura 5.** Almacigos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizados los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Es importante mencionar que la solución nutritiva utilizada fue la misma que se dispuso para los tratamientos. Se inició con una conductividad eléctrica de 1,5 mS/cm, aumentándose en comparación a la utilizada en Almacigos San Juan, S. A. (1 mS/cm), con esto se garantiza el endurecimiento de las plántulas.

### **3.10.3. Trasplante, podas, tutorado, fitosanidad y cosecha**

El trasplante se realizó en el momento que las plantas presentaron las condiciones apropiadas, de manera que se redujo el riesgo de pérdida de plántulas. Orellana *et al.* (s.f.), Chinchilla (2005), y Jiménez *et al.* (2014), señalan que el trasplante definitivo en chile dulce debe de realizarse cuando la plántula tiene tres o cuatro hojas verdaderas, esto puede ocurrir a los 30 - 40 días después de la siembra. En el caso del tomate, según Jaramillo *et al.* (2007), el trasplante definitivo se realiza cuando las plántulas alcanzan una altura promedio de 10 - 15 cm y con tres o cuatro hojas verdaderas bien formadas, esto se alcanza a las cuatro o cinco semanas después de la siembra. Ambas especies son de la familia *Solanaceae*. Las plantas se trasplantaron cuando presentaron las condiciones mencionadas, y la disposición espacial de las plantas fue de 1,5 m entre hileras y 0,40 m entre plantas; es decir, la densidad de siembra para cada ensayo fue de 16.667 plantas/ha.



**Figura 6.** Sitios de poda en los cultivos protegidos de A) chile dulce (*C. annuum* L.) y B) tomate (*S. lycopersicum* L.) en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Las podas se realizaron a lo largo del ciclo de los cultivos. En el caso del tomate se eliminaron aquellos rebrotes improductivos durante los 135 días, siendo en las primeras instancias fenológicas donde más incidencia de rebrotes existió. Se eliminaron las hojas que dificultaron la distribución uniforme de la luz y la aireación, manipulando así el microclima que se generó en la base de las plantas y facilitando labores prácticas (hojas bajas, viejas y/o con posible fuente de inóculo).

El crecimiento del tallo en el tomate se dio en dos ejes o tallos ortotrópicos (figura 6), cualquier brote vegetativo creciente de las axilas de las hojas fue eliminado, fundamentados en la relación fuente/sumidero. En el caso del chile dulce se eliminaron todas las hojas y rebrotes del tallo principal por debajo de la bifurcación donde se da la ramificación, esto principalmente en la etapa de establecimiento de las plantas, luego no se realizaron más podas durante ciclo. La tasa de producción de rebrotes en chile dulce es menor a la del tomate. Igualmente se eliminaron las primeras flores con el objetivo de beneficiar el balance en la relación fuente/sumidero hacia una producción deseable.

El tutorado, o estructura del cultivo, se sostuvo sobre cables de acero de 9 m tensados por los postes a lo ancho del invernadero, de aquí se sujetaron las plantas. Estos cables se ubicaron a una altura de 3 m sobre el suelo. Con mecate o “piola”, ganchos de acero y la ayuda de una escalera, se amarraron y tensaron las plantas de chile dulce y tomate constantemente según lo requirieron. En el caso de las plantas de tomate se emplearon dos mecates, uno por eje. Para el chile dulce se utilizaron de cinco a ocho mecates según el número de ramas (figura 7).



**Figura 7.** Manejo de la estructura de los cultivos protegidos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Durante todo el ciclo se procuró dar un manejo integrado de plagas y enfermedades a los cultivos. Teóricamente el riesgo a problemas de sanidad de las plantas disminuye al controlar total o parcialmente las condiciones ambientales; sin embargo, esto es circunstancial, las condiciones ambientales también pueden tornarse ideales para el desarrollo de alguna plaga y/o enfermedad. La aplicación de productos de origen biológico es una alternativa ecológica bastante viable en este tipo de sistemas de producción. Se emplearon extractos botánicos como hongos y/o bacterias benéficos para el cultivo.

Las aplicaciones de plaguicidas sintéticos se ejecutaron de dos formas, como respuesta directa al incremento en la severidad de algún problema fitosanitario (aplicaciones de carácter curativo); y sobre plagas y/o enfermedades con niveles de tolerancia bajos o nulos en un momento dado (aplicaciones de carácter preventivo). También se realizaron aplicaciones para sellar cicatrices posteriores a las podas.

Se llevó el registro correspondiente a las aplicaciones con respecto a la aparición de plagas y enfermedades en distintos momentos del ciclo de cultivo. Se presentaron varios embates de diferentes insectos, hongos y bacterias, las condiciones ambientales



favorecieron esto, sumado a problemas de hermetismo y desinfección del invernadero, lo que obligó a realizar aplicaciones de pesticidas constantemente (figura 8).

En el anexo 9 se presenta un cuadro que resume el manejo fitosanitario, aparece el nombre comercial del producto, casa comercial, ingrediente activo, modo de acción, tipo de aplicación, dosis, volumen empleado, momento de aplicación y plaga y/o enfermedad correspondiente. En el anexo 12 se presentan fotografías de las plagas que estuvieron presentes a lo largo del período.



**Figura 8.** Aplicación de agroquímicos con bomba de mochila de 18 L de capacidad sobre los cultivos protegidos de chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) en los ensayos sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

La cosecha en ambos cultivos se realizó en los momentos oportunos cada semana, tomando en cuenta el estado fisiológico y la maduración de los frutos. En el caso del chile dulce se tomó en cuenta si el fruto alcanzó su tamaño máximo en color verde, en este punto el fruto alcanzó su madurez. En el tomate los frutos alcanzan un estado óptimo antes de la fecha de cosecha agronómica, la selección de esta fecha se basa más en aspectos de mercado que en parámetros sensoriales como el color, consistencia, pH, ° Brix, contenido de carotenoides, entre otros aspectos.

#### **3.10.4. Sistema de fertirriego**

Se utilizó un sistema de fertirriego con dos soluciones nutritivas distintas aplicadas a los cultivos de las dos especies. Se dispuso de dos tanques de 1.000 L de capacidad para las soluciones nutritivas, estas fueron impulsadas a través de tuberías por bombas eléctricas con motor centrífugo de corriente alterna. Este mecanismo fue accionado automáticamente por un temporizador programado para abastecer el requerimiento hídrico.

Se colocaron doce mangueras de poliducto virgen (12 mm de diámetro) de 9 m de largo debajo de cada cable de tutorado. Las hileras de plantas se colocaron a lo ancho de la estructura para favorecer la circulación del aire de acuerdo a la disposición cartesiana y según los vientos (Este a Oeste). Cada manguera cuenta con una llave de paso conectada al tubo madre con la solución nutritiva. Los goteros están a 0,4 m uno de otro.

Se verificó el caudal descargado por goteros (2,5 L/hora) a lo largo de las semanas de evaluación utilizando probetas. Se cambiaron constantemente goteros defectuosos y obstruidos. También se utilizó un manómetro al inicio del ciclo para ajustar la presión del sistema a 12 psi aproximadamente. El monitoreo de la conductividad eléctrica (CE) y el pH en las soluciones nutritivas se llevó a cabo a nivel de los tanques y el sustrato en las macetas.

En la programación general se establecieron doce riegos diarios, desde las 06 horas a las 17 horas, con un intervalo entre riegos de una hora. No obstante, se modificó el número y la duración de los riegos dependiendo de las condiciones climáticas, variando entre cuatro y doce minutos. Con esto se garantizó un suministro constante a las plantas, un aspecto indispensable para combatir el estrés.

Las válvulas solenoides regularon el paso de las soluciones nutritivas. A la salida de cada tubo de los tanques se colocaron filtros de discos tipo "Y", a los que se les dio mantenimiento semanalmente.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el experimento se determinó el crecimiento vegetativo, la producción de frutos, y la extracción de nutrientes de cada tratamiento al final del ciclo de los cultivos. Se observó cómo el ambiente influyó en la expresión de funciones vitales de las plantas, como el crecimiento vegetativo y la producción de frutos. En cuanto a la composición nutricional, Bertsch (2005), señala que cuando se realizan experimentos de este tipo es ideal que las plantas estén en condiciones óptimas para reflejar en el análisis de tejidos la relación que existe entre el requerimiento y la extracción, y que esto funcione como herramienta para determinar la demanda de los nutrientes según las etapas fenológicas.

A continuación se presentan los resultados para cada ensayo con las dos especies de hortalizas utilizadas, cada uno con tres secciones: *crecimiento vegetativo*, *producción de frutos* y *extracción nutricional*.

#### 4.1. Determinación del crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción nutricional en el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.)

##### 4.1.1. Crecimiento vegetativo

El cuadro 12 presenta la significancia de cada una de las variables de crecimiento vegetativo para cada factor y su interacción en el cultivo de chile dulce.

**Cuadro 12.** Significancia de las variables de crecimiento vegetativo para dos factores y su interacción en el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Factor	Altura de la planta	N° de hojas	Peso seco		
			Vegetativo	Frutos	Total
Cultivar (cv.)	**	NS	NS	NS	NS
Solución nutritiva (SN)	**	NS	NS	NS	NS
Cultivar*Solución nutritiva	NS	NS	NS	NS	NS

\*\* Existieron diferencias significativas con un  $p$ -valor > 0,01.

La altura de la planta tuvo diferencias significativas en sus factores, mas no en la interacción de los mismos, en el resto de las variables no hubo diferencias. El **Cuadro 13** muestra los promedios de altura máxima, el número máximo de hojas y el peso seco acumulado durante el ciclo del cultivo según los tratamientos.

**Cuadro 13.** Promedios para las variables de crecimiento vegetativo en el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

cv.	SN	Altura de la planta (cm)	Número de hojas	PS (g/planta)		
				PS Vegetativo	PS Frutos	PS Total
4212	A	85,66 ± 1,97 b	476,50 ± 43,98 a	196,72 ± 13,24 a	100,45 ± 25,07 a	297,17 ± 37,47 a
	B	76,09 ± 2,86 a	414,96 ± 64,14 a	186,73 ± 17,09 a	161,50 ± 67,67 a	348,23 ± 80,76 a
Nathalie	A	96,50 ± 4,61 c	468,00 ± 97,49 a	210,59 ± 27,96 a	104,88 ± 45,02 a	315,47 ± 42,34 a
	B	93,50 ± 1,02 c	369,13 ± 36,13 a	206,41 ± 22,22 a	131,49 ± 62,33 a	337,90 ± 78,87 a

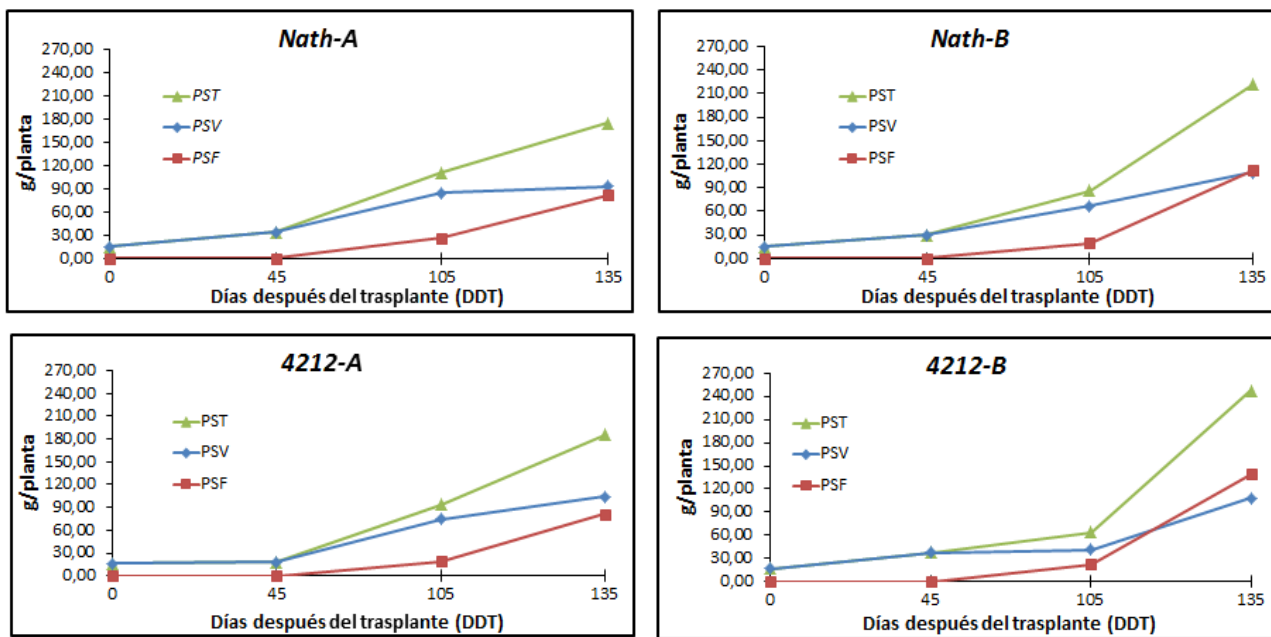
Medias con diferente letra en la misma columna para cada factor de estudio son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ( $p$ -valor < 0,05). cv.: Cultivar. SN: Solución nutritiva. PS: Peso seco.

Las diferencias en la altura de la planta se presentan entre cultivares y entre soluciones. Con un  $p$ -valor menor a 0,05, las plantas regadas con la SN-A obtuvieron mayor altura; además, la prueba de medias de Tukey evidencia que el cv. Nathalie fue superior al cv. 4212.

Aunque el número de hojas no presentó diferencias significativas se observó que dentro de cada cultivar, independientemente de la solución nutritiva empleada, el cv. 4212 presentó mayor cantidad de hojas por planta.

En cuanto al peso seco vegetativo, de frutos y total (PSV, PSF, PST), al igual que en el número de hojas, no existieron diferencias, mas se observaron algunos comportamientos; por ejemplo, el cv. Nathalie presentó mayor peso vegetativo, el cv. 4212 presentó mayor peso seco de frutos; para cada cultivar las plantas regadas con la SN-A obtuvieron mayor peso seco vegetativo, y las plantas regadas con la SN-B obtuvieron mayor de peso seco de frutos y peso seco total. En las plantas de chile dulce de los tratamientos donde se utilizó la SN-A el peso seco vegetativo superó al peso seco de los frutos al final del ciclo, y en los tratamientos 4212-B y Nath-B el peso seco de los frutos superó al peso seco vegetativo.

La figura 9 muestra el comportamiento del peso seco para los cultivares de chile dulce en los tres momentos del ciclo de cultivo en que se midió.



Nath-A: cultivar Nathalie con la solución nutritiva A.

Nath-B: cultivar Nathalie con la solución nutritiva B.

4212-A: cultivar 4212 con la solución nutritiva A.

4212-B: cultivar 4212 con la solución nutritiva B.

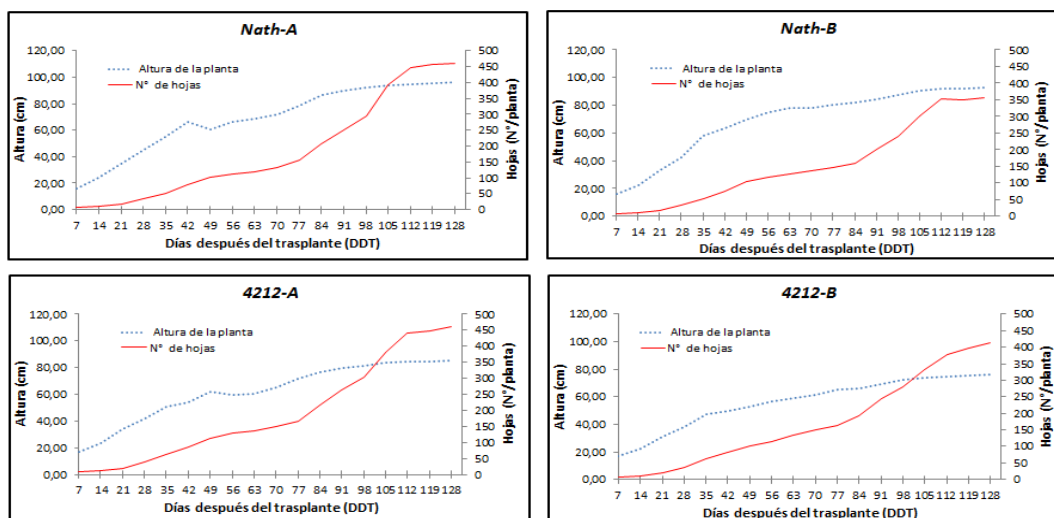
PSV: Peso seco vegetativo. PSF: Peso seco de frutos. PST: Peso seco total.

**Figura 9.** Comportamiento del peso seco vegetativo, de frutos y total en el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Hasta los 45 DDT el peso seco vegetativo presentó un aumento lento, en adelante se dio un incremento gradual, al final del ciclo de cultivo se observó que el peso seco de los

frutos tendió a alcanzar el peso seco vegetativo. Con el inicio de la fructificación el aumento en el peso seco vegetativo disminuyó su crecimiento, esto coincide con lo reportado por Vidal (sf) y Azofeifa y Moreira (2008), quienes observaron en su estudio sobre extracción y distribución de nutrimentos en plantas de chile jalapeño, una disminución en el crecimiento de las plantas luego de la aparición de los primeros frutos a raíz de los cambios en la distribución de los nutrientes y fotoasimilados. Al finalizar el período el peso seco vegetativo de las plantas regadas con SN-A fue mayor que el peso seco de los frutos en ambos cultivares, similar a lo obtenido por Rojas y Paniagua (2015) utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). En el cv. 4212 el peso seco de frutos representó un 43,86 % y un 56,31 % respecto al peso seco total utilizando la SN-A y la SN-B respectivamente, mientras en el cv. Nathalie representó un 47,03 % con la SN-A y 50,64 % con la SN-B. Se determinó que el tratamiento que mayor peso seco total tuvo fue 4212-B, seguido por Nath-B, demostrando que cuando se utilizó la SN-B fue mayor la acumulación de materia seca.

La figura 10 muestra el comportamiento de la altura de la planta y número de hojas observado en las plantas de chile dulce (*C. annuum* L.) durante el ciclo de cultivo.



Nath-A: cultivar Nathalie con la solución nutritiva A.  
4212-A: cultivar 4212 con la solución nutritiva A.

Nath-B: cultivar Nathalie con la solución nutritiva B.  
4212-B: cultivar 4212 con la solución nutritiva B.

**Figura 10.** Comportamiento de la altura de la planta y número de hojas en el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

En general hubo un aumento constante en la altura y la cantidad de hojas por planta durante el ciclo de cultivo para todos los tratamientos. Alrededor de los 70 DDT se observó

una disminución en el crecimiento, la altura no superó los 100 cm al final del ciclo del cultivo en ningún tratamiento; la altura máxima de las plantas del cv. Nathalie fue de 96,50 cm cuando se utilizó la SN-A y de 93,50 cm cuando se utilizó la SN-B; mientras la altura máxima de las plantas del cv. 4212 fue de 85,66 cm cuando se regaron con la SN-A y de 76,09 cm cuando se regaron con la SN-B. Los valores fueron similares a los obtenidos por Orozco (2015) y Olvera (2015), a los 90 DDT utilizando el híbrido Marcato e híbrido Quetzal respectivamente, a ese punto del ciclo de cultivo las alturas no superaron los 75 cm en ambos casos. Rojas y Paniagua (2015), presentaron alturas superiores a 150 cm posterior a los 90 DDT utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). Mejicano *et al.* (2013), utilizando la técnica de macrotúneles con diferentes densidades de siembra, obtuvo a los 120 DDT alturas de planta de 201 cm para el cv. Nathalie y 196 cm para el cv. Magaly-R, datos muy superiores a los de este estudio.

Por su parte, el *N° de hojas* mantuvo un crecimiento estable hasta el final del ciclo, Casilimas *et al.* (2012), señalan que el chile dulce utilizado en invernadero generalmente es de crecimiento indeterminado y puede ser regulado mediante las podas, esta práctica cultural fue poco recurrente, se realizó un mínimo de podas en su mayoría iniciales (alrededor de los 35 DDT) sobre los hijos basales debajo de la bifurcación del tallo, por lo que el crecimiento de tallos secundarios y terciarios con formación de flores y frutos fue continuo. Las plantas de ambos cultivares regadas con la SN-A presentaron mayor cantidad de hojas que las plantas regadas con la SN-B, el cv. 4212 obtuvo un número máximo de 476,50 hojas/planta y el cv. Nathalie 468,00 hojas/planta. Valentín (2011) y Missael (2013), realizaron experimentos utilizando la Solución Universal de Steiner (1984), obtuvieron un dato máximo de 837,33 hojas/planta para el híbrido Miahuateco y 497,10 hojas/planta para el híbrido Ocotlán respectivamente. Rojas y Paniagua (2015) igualmente utilizando la Solución Universal de Steiner (1984), determinaron que a los 180 DDT el cv. 4212 presentó 789,80 hojas/planta y el cv. Nathalie 666,60 hojas/planta. Se observa para esta variable una superioridad cuando se utiliza la Solución Universal de Steiner (1984).

Alrededor de los 112 DDT hubo una disminución en el crecimiento vegetativo relacionado con la aparición de problemas fitosanitarios, específicamente mosca blanca (*Bemisia tabaci*) que estuvo presente desde los 72 DDT, y posteriormente su asociación

con fumagina (*Capnodium elaeophilum*) después de los 112 DDT, como se muestra en la figura 11.



**Figura 11.** Plantas de chile dulce (*C. annuum* L.) afectadas por mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y fumagina (*Capnodium elaeophilum*) en la etapa final del ciclo de cultivo en el experimento sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

*B. tabaci* genera repercusiones directas en las plantas como pérdida de vigor por daños en las hojas, a su vez asociadas a fumagina y a la sinergia entre ellos por la excreción de sustancias azucaradas que recubre las hojas y sirve de sustrato para el crecimiento del hongo, además de la afectación de la fotosíntesis y desarrollo normal de la planta. Los problemas fueron tratados con los insumos disponibles inmediatamente, como insecticidas y cobres (los productos y dosis aplicadas se presentan en el anexo 9), a pesar de eso la plaga se conservó y presionó hasta los 135 DDT, afectando los meristemos, el desarrollo normal de las plantas, la toma de agua, absorción de nutrientes y procesos fisiológicos como respiración y fotosíntesis (Ríos 2012; Urbina sf; Cifuentes 2006; González y Obregón 2007).



#### 4.1.2. Producción de frutos

En el cuadro 14 se presenta la significancia de las variables de producción de frutos para cada factor de estudio y su interacción en el cultivo de chile dulce.

**Cuadro 14.** Significancia de las variables de producción de frutos para dos factores y su interacción en el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Factor	N° de frutos cuajados	N° de frutos cosechados	Peso de cosecha
Cultivar	*	NS	NS
Solución nutritiva	*	NS	NS
Cultivar*Solución nutritiva	NS	NS	NS

\* Existieron diferencias significativas con un  $p$ -valor < 0,05.

Únicamente la variable *N° de frutos cuajados* presentó diferencias en sus factores, mas no en la interacción de estos. El cuadro 15 expone los datos obtenidos por planta acumulados a los 135 DDT para el número de frutos cuajados (*Fcua*) y el número de frutos cosechados (*Fco*) y el peso de cosecha (*PC*), según el tratamiento.

**Cuadro 15.** Promedios para las variables de producción de frutos en el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) a los 135 DDT utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

cv.	SN	N° de frutos cuajados/planta	N° de frutos cosechados/planta	PC (Kg/planta)
4212	A	46,82 ± 7,13 <i>b</i>	25,17 ± 2,57 <i>a</i>	1,89 ± 0,07 <i>a</i>
	B	39,19 ± 2,30 <i>ab</i>	22,37 ± 2,05 <i>a</i>	1,76 ± 0,12 <i>a</i>
Nathalie	A	38,11 ± 6,36 <i>ab</i>	23,13 ± 5,25 <i>a</i>	1,88 ± 0,49 <i>a</i>
	B	31,70 ± 2,15 <i>a</i>	21,27 ± 18,18 <i>a</i>	1,81 ± 0,19 <i>a</i>

Medias con diferente letra en la misma columna para cada factor de estudio son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ( $p$ -valor < 0,05). cv.: Cultivar. SN: Solución nutritiva. PC: Peso de cosecha.

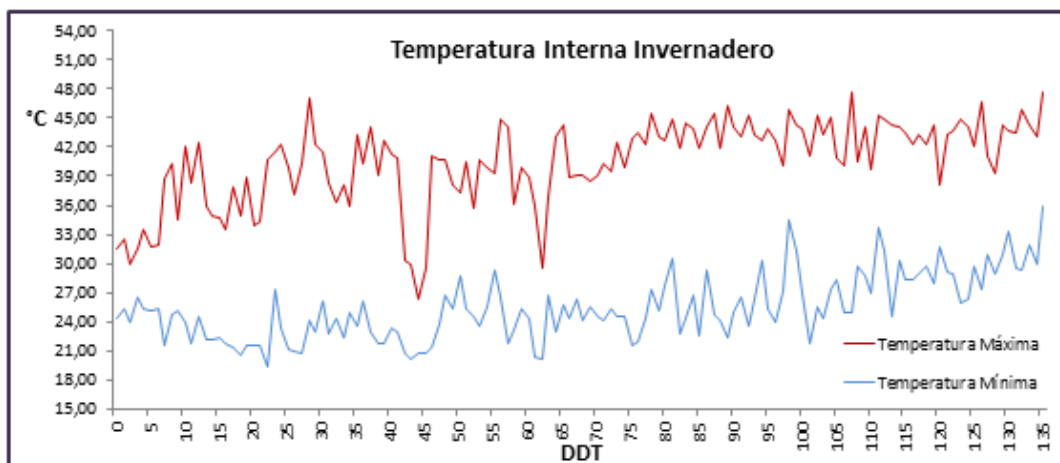
Estadísticamente el cv. 4212 presentó mayor *N° de frutos cuajados* que el cv. Nathalie. Para el número de frutos cosechados y el peso de cosecha no existieron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. Del mismo modo, la SN-A propició que las plantas, independientemente del cultivar, presentaran mayor número de frutos cuajados. Por otro lado, aunque estadísticamente no hubo diferencias, el número de frutos cosechados y el peso de cosecha fueron mayores en el cv. 4212, y ambas variables también fueron mayores cuando se utilizó la SN-A los dos cultivares. Es importante mencionar que

en este estudio los frutos contabilizados como cosechados a lo largo del período no fueron necesariamente comerciables, es decir, se cuantificó la producción de todos los frutos independientemente de que estos fueran comerciables o no. Aunque no se determinó la calidad de los frutos, en su mayoría fueron de tercera categoría o inferiores, como se observa en la figura 12, principalmente en la segunda mitad del período de cosecha por la aparición de los problemas mencionados. Los rangos de peso por categoría son: 119 g - 171 g para primera, 86 g - 118 g para segunda y 51 g - 85 g para tercera. En la estancia final del ciclo, por los problemas presentados con mosca blanca y fumagina, las plantas presentaron una carga de frutos cuajados muy baja en relación a los frutos cosechados. Según Sezen *et al.* citado por Quesada (2015), otra de las principales razones dadas y por la cual se presentan frutos de rechazo es por deficiencia hídrica a nivel de sustrato, conociendo que muchos de los problemas como lesiones en las paredes del fruto, deformaciones y pudriciones se deben al alto grado de demanda de agua y efecto del estrés hídrico, y esto está relacionado a las condiciones climáticas (Carrillo *et al.* 2007).



**Figura 12.** Frutos de chile dulce (*C. annuum* L.) cosechados al final del ciclo de cultivo en el experimento sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

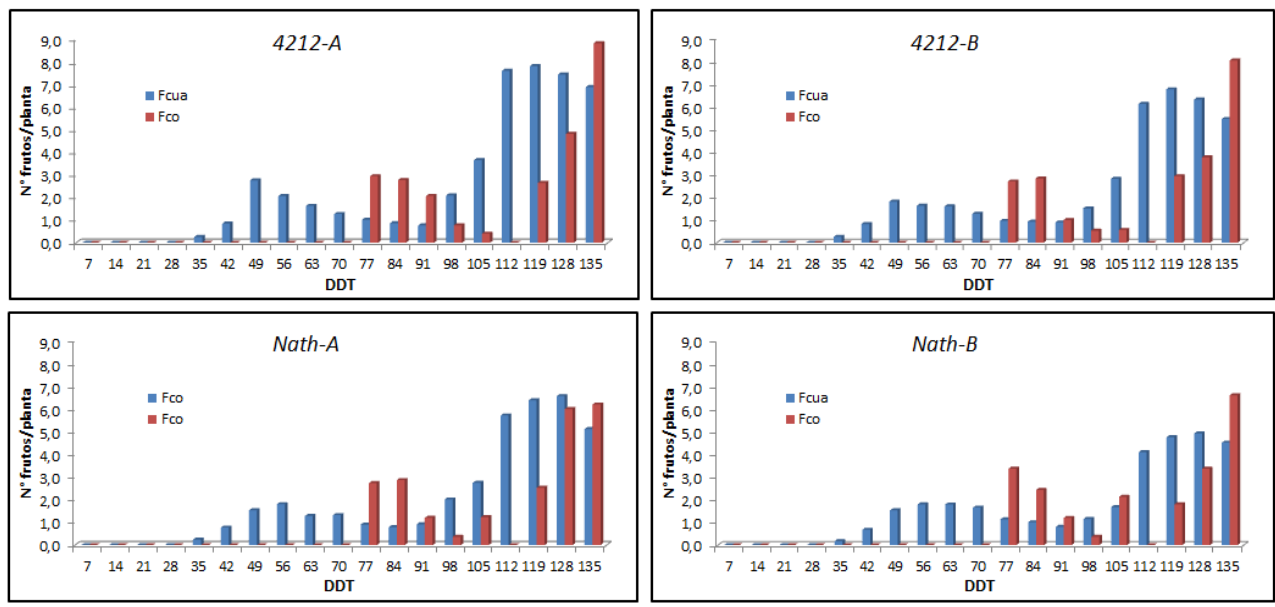
Las condiciones climáticas desfavorables en el invernadero, como las altas temperaturas, pueden tener efectos directos que se observan en una baja producción de frutos del cultivo de chile dulce y los problemas con mosca blanca y fumagina. El área foliar disminuyó, la purga de frutos y flores fue excesiva, y hubo problemas de translocación de nutrientes traducidos en un mal llenado de frutos. En la figura 13 se presentan las temperaturas registradas durante el período de estudio.



**Figura 13.** Temperatura registrada en el interior del invernadero de horticultura durante el ensayo sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en chile dulce (*C. annuum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

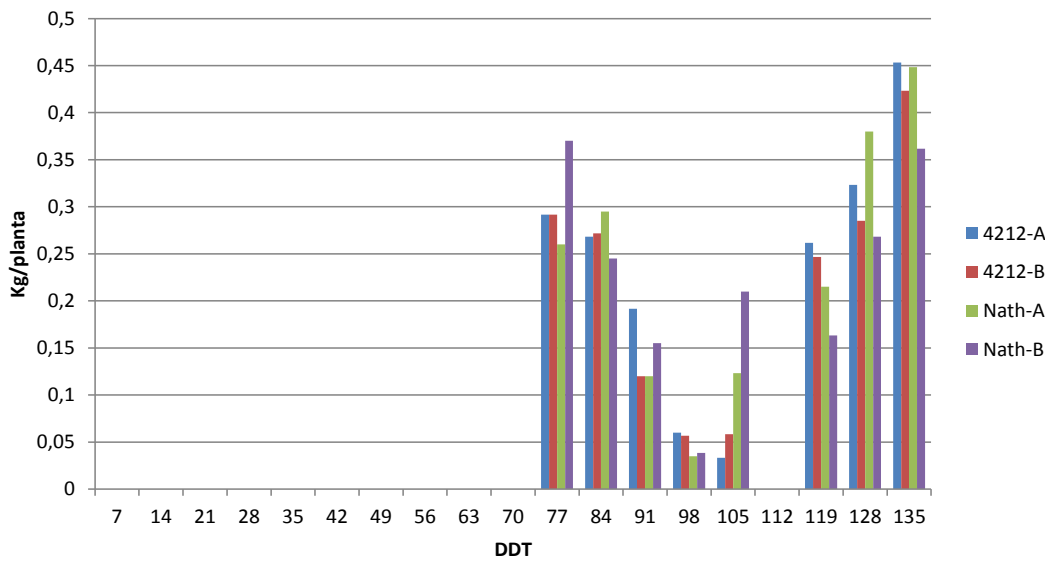
La temperatura óptima para la fructificación, crecimiento y desarrollo del fruto es de 27 °C en promedio, si someten las plantas a temperaturas por encima de esta durante períodos prolongados, se dificulta la fecundación en las flores, el abastecimiento adecuado de fotoasimilados y se da un aborto excesivo de frutos. El límite mínimo y máximo de temperatura tolerable por el cultivo es de 10 y 35 °C respectivamente (Orellana *et al.* sf; Vidal sf; Carrillo *et al.* 2007; Fernández 2007).

La figura 14 presenta el comportamiento semanal para el número de frutos cuajados y el número de frutos cosechados en cada tratamiento, y la figura 15 muestra el comportamiento semanal del peso de cosecha.



Nath-A: cultivar Nathalie con la solución nutritiva A.      Nath-B: cultivar Nathalie con la solución nutritiva B.  
 4212-A: cultivar 4212 con la solución nutritiva A.      4212-B: cultivar 4212 con la solución nutritiva B.

**Figura 14.** Comportamiento semanal del número de frutos cuajados y número de frutos cosechados en el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.



Nath-A: cultivar Nathalie con la solución nutritiva A.      Nath-B: cultivar Nathalie con la solución nutritiva B.  
 4212-A: cultivar 4212 con la solución nutritiva A.      4212-B: cultivar 4212 con la solución nutritiva B.

**Figura 15.** Comportamiento semanal del peso de cosecha en el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

En el cultivo de chile dulce la floración inició cerca de los 14 DDT, la fructificación o cuaje de frutos alrededor de los 35 DDT, la cosecha a los 77 DDT, y el mayor peso de cosecha a los 135 DDT. A los 98 DDT la cosecha disminuyó sustancialmente para todos los tratamientos, al punto de que transcurridos 112 DDT no hubo frutos cosechados debido a los problemas presentados con mosca blanca y fumagina. Ayala (2012), menciona que la fluctuación en los índices de producción de estructuras vegetativas y reproductivas depende de las condiciones climáticas y el estado fisiológico de la planta, y se manifiesta como un descenso en el peso y tamaño de los frutos. Asimismo, el cultivo de chile dulce produce frutos de mayor tamaño en el primer período de fructificación, mientras que en los ciclos posteriores producen frutos de menor tamaño debido al deterioro y agotamiento de la planta (Orellana *et al.* sf).

### 4.1.3. Extracción de macronutrientes y micronutrientes

El cuadro 16 presenta la significancia de las variables de extracción de nutrientes para los factores y su interacción en el cultivo de chile dulce al final del ciclo de cultivo, se incluyen macronutrientes y micronutrientes categorizados por sección de la planta.

**Cuadro 16.** Significancia de las variables de extracción de macronutrientes y micronutrientes para dos factores y su interacción en el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Sección	Factor	N	Ca	Mg	K	P	Cu	Fe	Mn	Zn
Vegetativa (raíz, tallo y hojas)	Cultivar	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Solución nutritiva	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Cultivar*Solución nutritiva	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Frutos	Cultivar	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Solución nutritiva	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Cultivar*Solución nutritiva	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Total	Cultivar	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Solución nutritiva	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Cultivar*Solución nutritiva	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

En las variables de extracción de macronutrientes y micronutrientes no existió ninguna diferencia significativa para los factores ni su interacción. El cuadro 17 contiene los promedios de extracción de macronutrientes obtenidos al final del ciclo de cultivo (135 DDT), valores expresados en gramos por planta.

**Cuadro 17.** Promedios de extracción de macronutrientes (g/planta) obtenidos al final del ciclo del cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Sección	cv.	SN	N	Ca	Mg	K	P
Vegetativa (raíz, tallo y hojas)	4212	A	3,06 ± 0,38	2,43 ± 0,37	0,54 ± 0,09	5,26 ± 0,53	0,10 ± 0,03
		B	3,17 ± 0,62	1,89 ± 0,32	0,50 ± 0,12	4,88 ± 0,68	0,10 ± 0,03
	Nathalie	A	2,59 ± 0,78	1,77 ± 0,56	0,43 ± 0,16	4,00 ± 1,39	0,09 ± 0,02
		B	2,79 ± 0,99	1,94 ± 0,64	0,50 ± 0,19	5,09 ± 2,28	0,11 ± 0,04
Frutos	4212	A	1,91 ± 0,50	0,15 ± 0,03	0,17 ± 0,06	2,06 ± 0,59	0,14 ± 0,05
		B	3,35 ± 1,85	0,26 ± 0,17	0,32 ± 0,17	4,14 ± 2,10	0,28 ± 0,19
	Nathalie	A	2,16 ± 0,67	0,17 ± 0,04	0,18 ± 0,08	2,50 ± 0,64	0,16 ± 0,09
		B	2,68 ± 1,20	0,22 ± 0,11	0,26 ± 0,12	3,07 ± 1,45	0,19 ± 0,08
Total	4212	A	4,97 ± 0,20	2,58 ± 0,35	0,71 ± 0,05	7,32 ± 0,09	0,25 ± 0,04

Sección	cv.	SN	N	Ca	Mg	K	P
	4212	B	6,52 ± 2,42	2,15 ± 0,40	0,81 ± 0,23	9,01 ± 2,46	0,38 ± 0,21
	Nathalie	A	4,75 ± 0,13	1,94 ± 0,52	0,61 ± 0,09	6,50 ± 0,76	0,25 ± 0,08
		B	5,47 ± 2,19	2,15 ± 0,75	0,75 ± 0,30	8,15 ± 3,69	0,29 ± 0,12

cv.: Cultivar. SN: Solución nutritiva.

El orden de extracción en las plantas de chile dulce de ambos cultivares al final del ciclo de cultivo fue  $K > N > Ca > Mg > P$ , distinto al obtenido por Rojas y Paniagua (2015) utilizando la Solución Universal de Steiner (1984), donde el P se extrajo más que el Mg, pero coincidente con el encontrado por Chavarría *et al.* (2013) utilizando el cv. Nathalie en ambiente protegido y suelo. Azofeifa y Moreira (2005), obtuvieron el orden  $K > N > P > Ca > Mg$  utilizando el cv. UCR-589, en este caso el P presentó mayor extracción que el Ca y el Mg. Generalmente el orden coincide en que el N y el K son los macronutrientes más extraídos, en otro estudio realizado también por Azofeifa y Moreira (2008), con el cv. Hot determinaron que los nutrientes más extraídos fueron N, P y K, en este caso los análisis mostraron que el P fue el que menos se extrajo de los macronutrientes. En el cultivo de chile dulce el N se extrae más en las primeras instancias del cultivo, el K se relaciona con la precocidad y la calidad de los frutos, el Mg con la maduración de estos, y el P tiende extraerse más cuando inicia la floración, y tiene que ver con la maduración de las semillas y la coloración en los frutos (Alarcón *sf*).

En los frutos el único cambio al orden obtenido en la sección vegetativa fue la inversión del Ca y el Mg ( $K > N > Mg > Ca > P$ ). Eyal (2008), destaca que el Ca es extraído mediante flujo de masas, de acuerdo a un gradiente de transpiración, por lo que su movilidad es limitada, además pueden existir sinergismos y antagonismos, altos niveles del ión nitrato ( $NO_3^-$ ) favorecen la extracción de K, Ca y Mg, sin embargo al inicio de la floración la demanda de K aumenta y las raíces disminuyen su crecimiento, esto perjudica la extracción de Ca y Mg, en consecuencia aumenta la incidencia de pudrición apical de frutos (*Blossom End Rot*) y se debilitan las paredes celulares. Azofeifa y Moreira (2008), señalan que a lo largo del ciclo de cultivo los niveles de N se mantienen uniformes en los frutos y fluctuantes en las hojas, mientras el P se concentra más en los frutos y el K en las hojas (Sánchez 2000; Hernández *et al.* 2006).

Tomando en cuenta que la densidad de siembra que se utilizó en el cultivo fue 16.667 plantas/ha se obtuvo la extracción total de los macronutrientes en kilogramos por hectárea según el tratamiento, estos datos se presentan en el cuadro 18.

**Cuadro 18.** Cantidad de macronutrientes totales extraídos en kilogramos por hectárea (Kg/ha) según los tratamientos aplicados en el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Tratamiento	N	Ca	Mg	K	P
4212-A	82,83	43,00	11,83	122,17	4,17
4212-B	108,67	35,83	13,50	150,16	6,33
Nath-A	79,17	32,33	10,17	108,34	4,17
Nath-B	91,17	36,00	12,50	136,00	4,83

4212-A: cultivar 4212 con la solución nutritiva A.

Nath-A: cultivar Nathalie con la solución nutritiva A.

4212-B: cultivar 4212 con la solución nutritiva B.

Nath-B: cultivar Nathalie con la solución nutritiva B.

A pesar de que no existieron diferencias estadísticamente significativas, el cv. 4212 extrajo mayor cantidad de macronutrientes, en general estos se extrajeron más utilizando la SN-B, exceptuando el Ca en el cv. 4212 que extrajo más utilizando la SN-A. En un estudio en campo abierto Soto (2008), determinó que el chile dulce extrajo por hectárea 216 Kg de N, 117 Kg de Ca, 56 Kg de Mg, 292 Kg de K y 20 Kg de P; por otra parte Chavarría *et al.* (2013), obtuvo extracciones por hectárea de 160 Kg de N, 59 Kg de Ca, 23 Kg de Mg, 241 Kg de K y 21 Kg de P; si comparamos estas extracciones con las que se presentan en el cuadro 18, existe una marcada diferencia que según Madrid (2007), puede ser atribuida al tipo de sistema de producción; en los cultivos hidropónicos existe un mejor aprovechamiento de los fertilizantes, aunque también puede atribuirse al deterioro sufrido por las plantas a causa de los problemas mencionados. Según Carrillo *et al.* (2007), el ciclo de cultivo del chile dulce en ambiente protegido puede alcanzar hasta doce meses de edad dependiendo de las condiciones climáticas, el manejo del cultivo y el estado de salud de las plantas. La diferencia en la extracción de nutrientes puede radicar precisamente en eso, en la mala condición fitosanitaria y el estado fisiológico en que se encontraron las plantas de chile dulce, reflejado en el comportamiento de crecimiento vegetativo y la producción de frutos



Ahora bien, tomando en cuenta la efectividad en el uso de las sales fertilizantes y los nutrientes aportados, se estimaron las cantidades aplicadas en cada tanque de 1.000 L de solución nutritiva (A y B) durante el período experimental, a razón de compararlas con la cantidad extraída por parte de las plantas al final del ciclo. El cuadro 19 presenta la cantidad de fertilizantes aplicados en las 120 plantas del ensayo sobre el cultivo de chile dulce, y el cuadro 20 muestra la cantidad de macronutrientes aportados por esos fertilizantes.

**Cuadro 19.** Cantidad de fertilizantes aplicados (Kg) durante el ensayo sobre el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

<b>Sales fertilizantes</b>	<b>SN-A</b>	<b>SN-B</b>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>	11,77	10,39
KNO <sub>3</sub>	9,89	7,67
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1,84	1,58
MgSO <sub>4</sub>	4,90	4,97
KSO <sub>4</sub>	7,93	11,47

*SN-A: Solución nutritiva A. SN-B: Solución nutritiva B.*

**Cuadro 20.** Cantidad de macronutrientes aportados por cada solución nutritiva (Kg) durante el ensayo sobre el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

<b>Nutriente aportado</b>	<b>SN-A</b>	<b>SN-B</b>
Nitrógeno (N)	3,11	2,61
Calcio (Ca)	2,24	1,97
Magnesio (Mg)	0,45	0,45
Potasio (K)	7,68	8,29
Fósforo (P)	0,41	0,35
Azufre (S)	2,11	2,76

*SN-A: Solución nutritiva A. SN-B: Solución nutritiva B.*

El orden de aporte de nutrientes para ambas soluciones nutritivas coincide con el orden de extracción obtenido en los análisis de tejidos al final del ciclo de cultivo chile dulce, K>N>Ca>Mg>P. En el cuadro 21 presentan los datos de extracción de micronutrientes expresados en miligramos por planta.

**Cuadro 21.** Promedios de extracción de micronutrientes (mg/planta) obtenidos al final del ciclo de cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Sección	cv.	SN	Cu	Fe	Mn	Zn
Vegetativa (raíz, tallo y hojas)	4212	A	37,31 ± 7,86	63,09 ± 14,87	26,55 ± 6,51	28,10 ± 4,74
		B	35,30 ± 6,85	66,59 ± 20,54	26,85 ± 7,06	22,63 ± 3,95
	Nathalie	A	42,15 ± 19,18	55,64 ± 16,31	28,87 ± 12,96	23,04 ± 7,81
		B	31,13 ± 5,45	43,95 ± 3,60	24,75 ± 5,87	21,11 ± 4,33
Frutos	4212	A	3,53 ± 0,38	7,27 ± 4,10	3,44 ± 0,35	4,57 ± 0,51
		B	7,47 ± 4,38	14,07 ± 8,31	7,46 ± 4,03	6,92 ± 3,58
	Nathalie	A	4,64 ± 0,71	12,42 ± 7,13	4,88 ± 0,75	4,70 ± 1,80
		B	5,14 ± 1,29	14,24 ± 5,66	5,43 ± 1,76	6,35 ± 2,89
Total	4212	A	40,85 ± 7,94	70,36 ± 17,13	30,00 ± 6,46	32,67 ± 4,39
		B	42,77 ± 7,99	80,66 ± 28,71	34,32 ± 8,41	29,55 ± 5,15
	Nathalie	A	46,80 ± 18,48	68,06 ± 20,03	33,75 ± 12,69	27,74 ± 6,79
		B	36,27 ± 6,70	58,19 ± 8,97	30,18 ± 7,61	27,46 ± 7,18

cv.: Cultivar. SN: Solución nutritiva.

Para los micronutrientes no existió un patrón de extracción total o por sección definido, sin embargo en la sección vegetativa y el total el único tratamiento que no siguió el orden Fe>Cu>Mn>Zn fue 4212-A, el Mn y el Zn invirtieron sus posiciones dando el orden Fe>Cu>Zn>Mn, ambos órdenes difieren con el orden Mn>Zn>Fe>Cu reportado por Rojas y Paniagua (2015) utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). En un estudio con chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), Noh *et al.* (2010) obtuvo el orden de absorción Fe>Zn>Mn>Cu, únicamente coincidiendo con el Fe. Al igual que en el caso de los macronutrientes, se obtuvo la extracción total de los micronutrientes en kilogramos por hectárea según el tratamiento, el cuadro 22 presenta estos valores.

**Cuadro 22.** Cantidad de micronutrientes totales extraídos en kilogramos por hectárea (Kg/ha) según los tratamientos aplicados en el cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Tratamiento	Cu	Fe	Mn	Zn
4212-A	0,68	1,17	0,50	0,54
4212-B	0,71	1,34	0,57	0,49
Nath-A	0,78	1,13	0,56	0,46
Nath-B	0,60	0,97	0,50	0,45

4212-A: cultivar 4212 con la solución nutritiva A.

Nath-A: cultivar Nathalie con la solución nutritiva A.

4212-B: cultivar 4212 con la solución nutritiva B.

Nath-B: cultivar Nathalie con la solución nutritiva B.

En el cv. 4212 todos los elementos excepto el Zn se absorben en mayor cantidad utilizando la *SN-B*, el único tratamiento que difirió fue 4212-A. En el cv. Nathalie se invierte esta conducta, las plantas regadas con la *SN-A* extrajeron mayor cantidad de micronutrientes sin excepción.

## 4.2. Determinación del crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción nutricional en el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.)

### 4.2.1. Crecimiento vegetativo

La significancia de las variables de crecimiento vegetativo para cada factor de estudio y su interacción en el cultivo de tomate se muestra en el cuadro 23.

**Cuadro 23.** Significancia de las variables de crecimiento vegetativo para dos factores y su interacción en el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Factor	Altura de la planta	Número de hojas	Peso seco		
			Vegetativo	Frutos	Total
Cultivar	NS	NS	NS	NS	NS
Solución nutritiva	NS	NS	NS	NS	NS
Cultivar*Solución nutritiva	NS	NS	NS	NS	NS

Para ninguna variable, en ninguno de los factores por sí solos o interaccionados, hubo diferencias significativas en el comportamiento del crecimiento vegetativo. El cuadro 24 presenta los promedios de altura máxima, número máximo de hojas y el peso seco acumulado durante el ciclo de cultivo según el tratamiento.

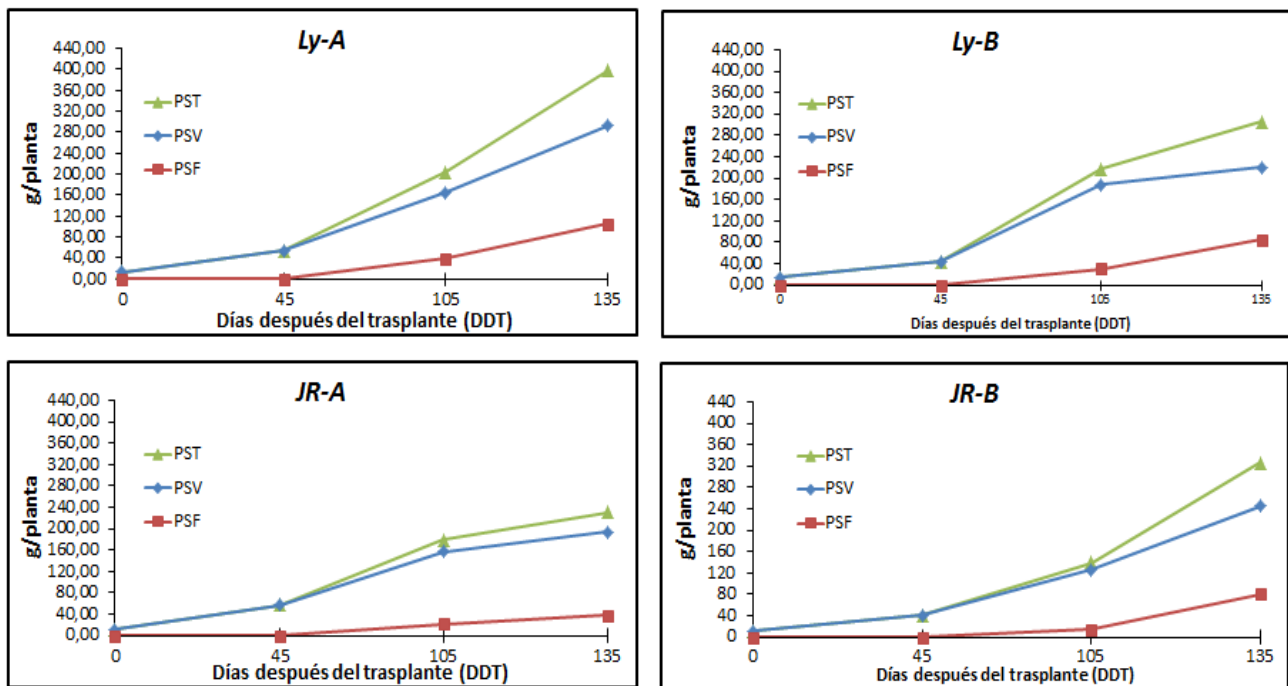
**Cuadro 24.** Promedios para las variables de crecimiento vegetativo en el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

cv.	SN	Altura de la planta (cm)	Número de hojas	PS (g/planta)		
				PS Vegetativo	PS Frutos	PS Total
JR	A	245,53 ± 42,33	58,06 ± 14,59	407,76 ± 116,16	59,21 ± 57,95	466,98 ± 155,73
	B	267,78 ± 17,82	68,74 ± 3,91	411,61 ± 49,99	95,17 ± 34,68	506,78 ± 17,21
Lyro	A	245,43 ± 42,61	53,93 ± 12,18	511,10 ± 160,32	144,64 ± 46,21	655,74 ± 128,74
	B	259,04 ± 40,20	53,35 ± 13,65	451,60 ± 88,14	115,42 ± 11,64	567,01 ± 85,09

cv.: Cultivar. SN: Solución nutritiva. PS: Peso seco.

A pesar de que no se presentaron diferencias, la altura de planta dentro de los cultivares fue mayor cuando se utilizó la SN-B, el tratamiento que mayor altura reportó fue JR-B, que a su vez tuvo la mayor cantidad de hojas. En general, utilizando ambas soluciones nutritivas, el cv. JR tuvo mayor cantidad de hojas que el cv. Lyro. Además, en ningún caso el peso seco de los frutos sobrepasó al peso seco vegetativo. Con tomate tipo bola, Burgueño (1994) obtuvo que el peso seco de los frutos igualó al peso seco vegetativo entre

los 100 y 120 DDT. La figura 16 presenta el comportamiento del peso seco en tres momentos del ciclo de cultivo del tomate.



Ly-A: cultivar Lyro con la solución nutritiva A.

JR-A: cultivar JR con la solución nutritiva A.

PSV: Peso seco vegetativo. PSF: Peso seco de frutos. PST: Peso seco total.

Ly-B: cultivar Lyro con la solución nutritiva B.

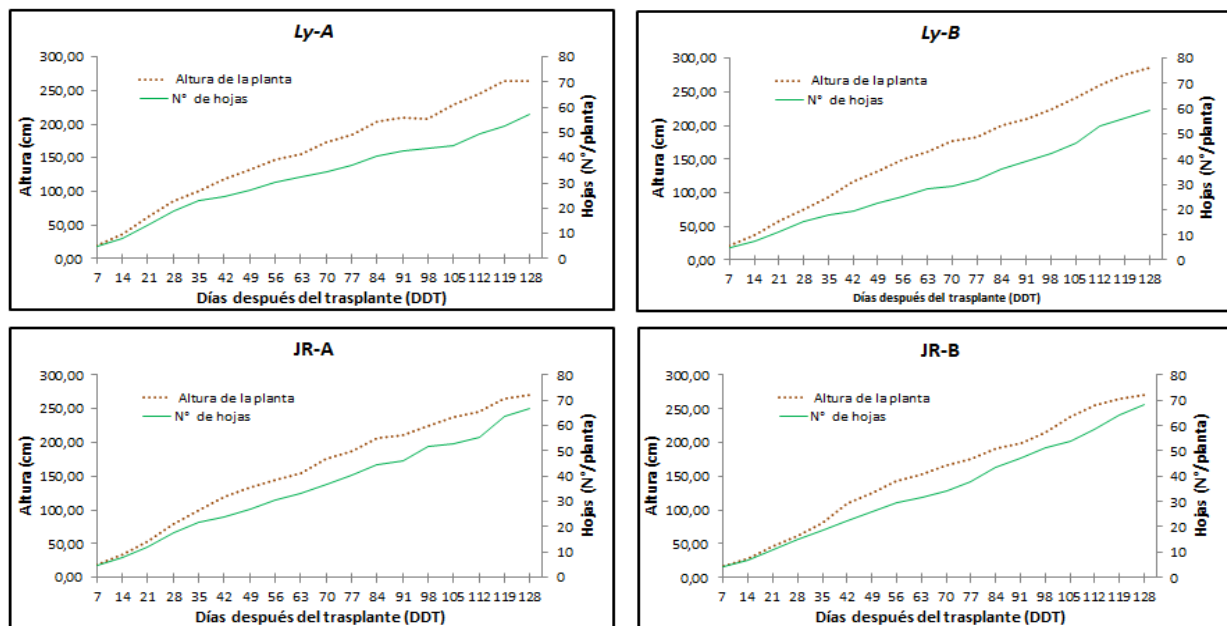
JR-B: cultivar JR con la solución nutritiva B.

**Figura 16.** Comportamiento del peso seco vegetativo, de frutos y total en el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Se observa un comportamiento estable en el incremento del peso seco total durante todo el período para todos los casos, las plantas que alcanzaron mayor peso seco fueron las de Ly-A. Al final del ciclo de cultivo el crecimiento parece continuar, esto se da porque los cultivares JR y Lyro son de crecimiento indeterminado, Rojas y Paniagua (2015) presentaron para estos un ciclo de 180 DDT, en este caso, debido a las condiciones climáticas y la presión ejercida por plagas y enfermedades, el ciclo fue de 135 DDT. Las plantas del cv. JR regadas con la SN-B presentaron mayor peso seco de frutos dentro del total (24,75 %) que las regadas con la SN-A (16,31%), y las plantas del cv. Lyro regadas con la SN-A obtuvieron más peso seco de frutos dentro del total (27,85%) que las regadas con la SN-B (26,40%). Ruiz y Túa (2005), señalan que para obtener producciones realmente buenas al final del ciclo la cosecha debe representar entre el 65 y 75% del peso seco total. El cv. Lyro obtuvo más peso seco total acumulado que el cv. JR

independientemente de la solución nutritiva, y dentro de este la *SN-A* obtuvo los valores más altos, mientras en el cv. fue mayor utilizando la *SN-B*. A diferencia del chile dulce, en ningún caso el peso seco de los frutos sobrepasa o se acerca al peso seco vegetativo, contrario a lo que apreciaron Rojas y Paniagua (2015), donde el peso seco vegetativo y el peso seco de los frutos se igualan a los 100 DDT en el cv. Lyro y los 145 DDT en el cv. JR. Ramírez y Nienhuis (2012), reportaron un peso seco total mayor al obtenido en todos los tratamientos al final del ciclo, obtuvieron 470,50 g/planta a los 180 DDT utilizando el cv. Sabbia y la Solución Universal de Steiner (1984). Estos datos evidencian una baja producción en este caso, con peso seco de frutos que no supera el 30% respecto al total.

El comportamiento semanal de la altura de la planta y número de hojas según los tratamientos para el cultivo de tomate se presenta en la figura 17.



Ly-A: cultivar Lyro con la solución nutritiva A.  
JR-A: cultivar JR con la solución nutritiva A.

Ly-B: cultivar Lyro con la solución nutritiva B.  
JR-B: cultivar JR con la solución nutritiva B.

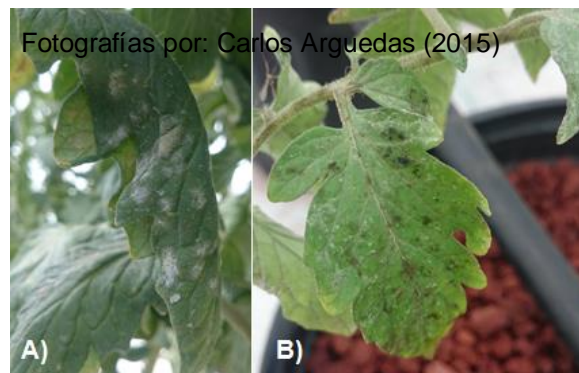
**Figura 17.** Comportamiento de la altura de la planta y número de hojas en el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

La altura de la planta y número de hojas de los cultivares de tomate tuvo un crecimiento constante, sin fluctuaciones o cambios bruscos hasta finalizar el ciclo de cultivo (135 DDT), comportamiento natural debido al hábito de crecimiento indeterminado de los genotipos utilizados. Ramírez y Nienhuis (2012), obtuvieron una altura de planta de 207 cm para el cv. Sabbia a los 180 DDT en cultivo protegido, mientras Barraza *et al.* (2004), obtuvo en

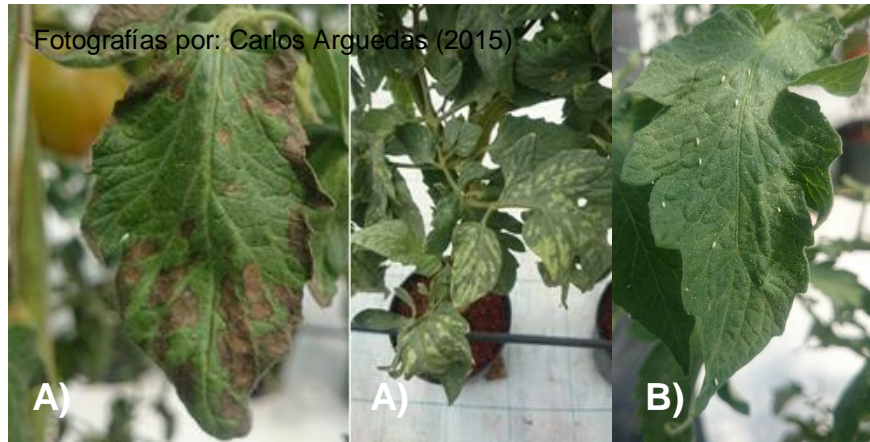
campo abierto una altura de planta promedio a los 120 DDT de 240,30 cm utilizando el cv. Santa Cruz; en ambos los datos son inferiores a los obtenidos en este caso a los 135 DDT. El cv. JR mostró mayor cantidad de hojas que el cv. Lyro, coincidiendo con lo reportado por Rojas y Paniagua (2015), que obtuvieron a los 124 DDT 61,30 hojas/planta para el cv. JR y 54,50 hojas/planta para el cv. Ly. En el caso del tomate las podas correspondieron a deshijas y deshojas sanitarias a lo largo del ciclo de cultivo, la deshija inició a partir de los 18 DDT. El crecimiento al final del ciclo de cultivo parece continuo, sin embargo, hubo un detrimento en el crecimiento y la producción, las plantas de tomate fueron afectadas severamente por plagas y enfermedades como marchitez bacteriana, moho gris, mildiú polvoso, tizón temprano y mosca blanca como se aprecia en las figuras 18, 19 y 20.



**Figura 18.** Plantas de tomate (*S. lycopersicum* L.) afectadas por marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) en el ensayo sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.



**Figura 19.** Plantas de tomate (*S. lycopersicum* L.) afectadas por A) mildiú polvoso (*Leveillula taurica*) y B) moho gris (*Botrytis cinerea*) en el ensayo sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.



**Figura 20.** Plantas de tomate (*S. lycopersicum* L.) afectadas por A) tizón temprano (*Alternaria solani*) y B) mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en el ensayo sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

La plaga que más incidencia presentó en el cultivo de tomate fue *Bemisia tabaci*, cuya facilidad de evolución en diferentes biotipos permite un incremento en la tasa reproductiva y una mayor colonización, tal como menciona García (2012). El desarrollo y multiplicación de esta plaga se asocia a un rango de temperatura entre 16 °C y 34 °C, condiciones presentes dentro del invernadero (Jiménez y Rodríguez, 2014).



#### 4.2.2. Producción de frutos

En el cuadro 25 se presenta la significancia de las variables de producción de frutos en el cultivo de tomate según los factores de estudio y su interacción.

**Cuadro 25.** Significancia de las variables de producción de frutos para dos factores y su interacción en el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Factor	N° de frutos cuajados	N° de frutos cosechados	Peso de cosecha
Cultivar	NS	NS	NS
Solución nutritiva	NS	NS	NS
Cultivar*Solución nutritiva	NS	NS	NS

Al igual que en las variables de crecimiento vegetativo, en las variables de producción de frutos no hubo diferencias significativas en ninguno de los casos. El **Cuadro 26** presenta los datos acumulados por planta a los 135 DDT para el número de frutos cuajados (*FCu*), número de frutos cosechados (*FCo*) y el peso de la cosecha (*PC*) según el tratamiento.

**Cuadro 26.** Promedios para las variables de producción de frutos en el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) a los 135 DDT utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

cv.	SN	N° de frutos cuajados/planta	N° de frutos cosechados/planta	PC (Kg/planta)
JR	A	31,00 ± 9,49	18,83 ± 11,06	2,81 ± 1,57
	B	35,92 ± 4,40	26,77 ± 13,63	2,93 ± 1,13
Lyro	A	26,22 ± 13,36	12,73 ± 3,61	2,31 ± 0,49
	B	23,22 ± 7,73	16,07 ± 6,47	2,19 ± 0,74

cv.: Cultivar. SN: Solución nutritiva. PC: Peso de cosecha.

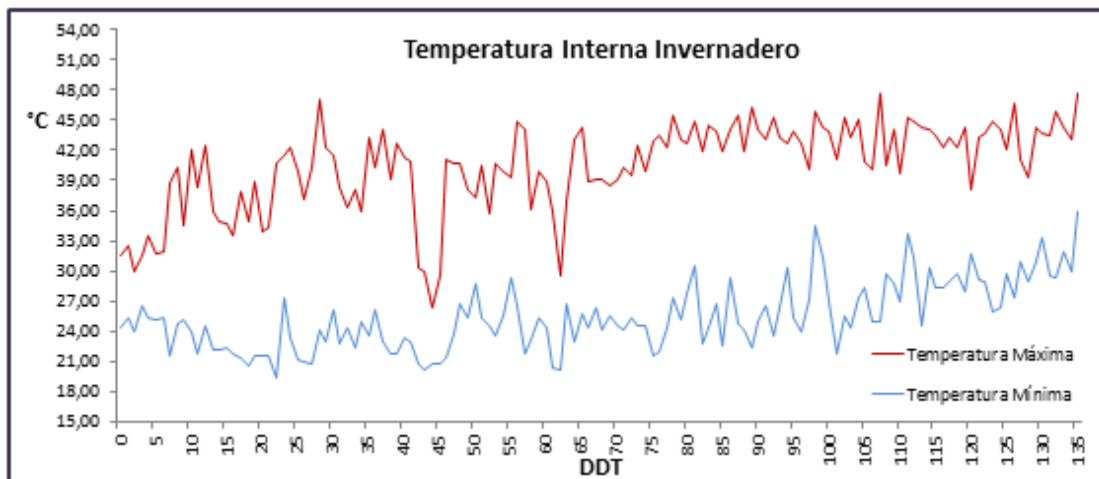
No se presentaron diferencias significativas, sin embargo se observa que el cv. JR presentó los valores más altos en las tres variables, y dentro de este la *SN-B* se comportó mejor, mientras el cv. Lyro obtuvo mayor número de frutos cuajados y peso de cosecha con la *SN-A*, y mayor número de frutos cosechados utilizando la *SN-B*. Al igual que en el cultivo de chile dulce, los frutos cosechados no fueron necesariamente comerciables, nos basamos en el comportamiento productivo de las plantas sin tomar en cuenta criterios de mercado. Quesada (2011), establece que la primera calidad del fruto de tomate iguala o supera los 250 g, la segunda está entre 100 g y 250 g, y la tercera categoría corresponde a los que

pesan menos de 100 g; durante el ciclo de cultivo se cosecharon frutos de segunda y tercera categoría de calidad en su mayoría, y además frutos defectuosos, principalmente en la segunda mitad del ciclo de cultivo (figura 21).



**Figura 21.** Problemas de agrietamiento (izquierda) y *Blossom End Rot* (derecha) en los frutos de tomate (*S. lycopersicum* L.) en la etapa final del ciclo de cultivo en el ensayo sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

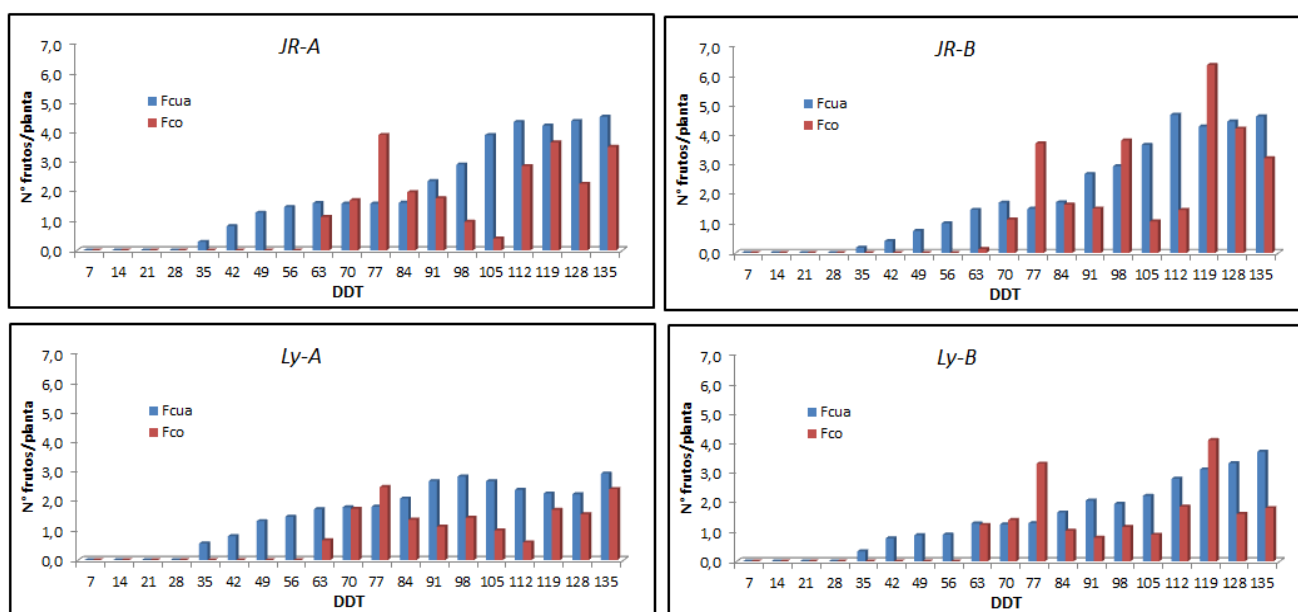
Es claro que el cultivo de tomate tuvo una baja producción al final del ciclo, sin embargo, al igual que en el ensayo de chile dulce, respondió en gran medida al complejo de problemas fitosanitarios mencionados y las altas temperaturas presentadas en el invernadero, como se presenta en la figura 22.



**Figura 22.** Temperatura registrada en el interior del invernadero de horticultura durante el ensayo sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en tomate (*S lycopersicum* L.) en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

La exposición de las plantas a temperaturas elevadas ocasionó problemas fisiológicos como dificultad en la fecundación de las flores, purga de frutos, mala translocación de nutrientes, desbalances nutricionales, estrés hídrico y oxidativo, y susceptibilidad a plagas y enfermedades. Las temperaturas superaron en muchas ocasiones el rango requerido para el buen funcionamiento metabólico de las plantas de tomate, siendo el límite mínimo y máximo de 12 °C y 34 °C respectivamente; temperaturas por encima de 31 °C reducen el cuaje de los frutos. Es importante mencionar que los frutos son el principal órgano sumidero de la planta, ejercen la mayor competencia por asimilados y nutrientes (Ardilar *et al.* 2011, Grandica y Peña 2015, Soriano 2007; Jaramillo *et al.* 2007).

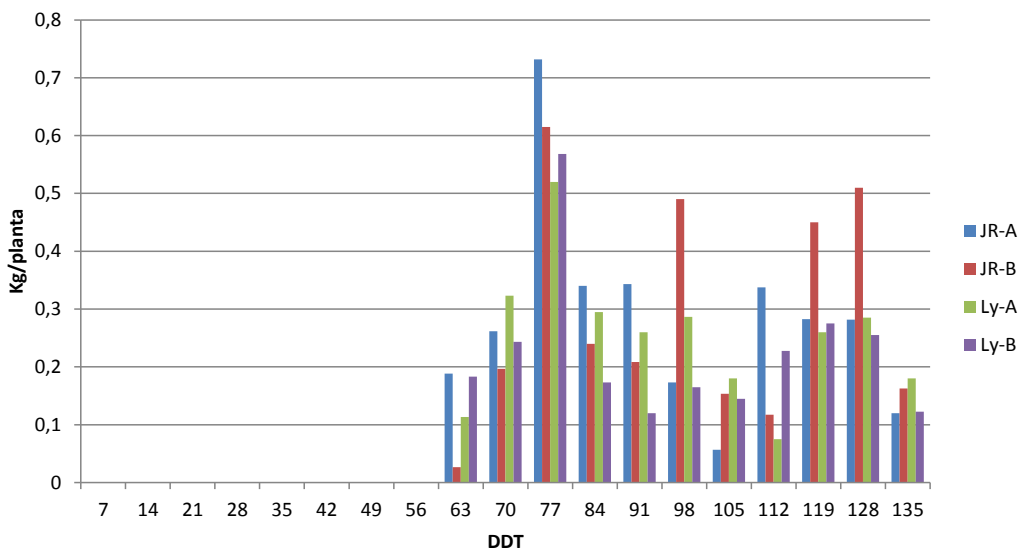
La figura 23 presenta el comportamiento semanal para del número de frutos cuajados y el número de frutos cosechados para cada tratamiento, y la figura 24 muestra el comportamiento semanal del peso de cosecha.



Ly-A: cultivar Lyro con la solución nutritiva  
JR-A: cultivar JR con la solución nutritiva A.

Ly-B: cultivar Lyro con la solución nutritiva B.  
JR-B: cultivar JR con la solución nutritiva B.

**Figura 23.** Comportamiento semanal del número de frutos cuajados y número de frutos cosechados en el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.



Ly-A: cultivar Lyro con la solución nutritiva A. Ly-B: cultivar Lyro con la solución nutritiva B.  
 JR-A: cultivar JR con la solución nutritiva A. JR-B: cultivar JR con la solución nutritiva B.

**Figura 24.** Comportamiento semanal del peso de cosecha en el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Tal como se aprecia en la figura 23, el mayor número de frutos cosechados se presenta en la etapa final del ciclo del cultivo y se genera una reducción significativa en los frutos cuajados, debido a que el cuaje de los frutos de tomate se ve afectado por temperaturas superiores a 35 °C que dificultan la polinización y viabilidad del polen, la distribución de asimilados y su demanda, además la planta regula la competencia entre el crecimiento vegetativo y productivo, afectando el cuaje y asegurando la sobrevivencia a largo plazo (Jaramillo *et al.* 2007).

Períodos prolongados (varias semanas) donde la planta de tomate mantiene una alta carga de frutos pueden provocar bajo porcentaje de cuajado, y con relación al crecimiento vegetativo, pueden generar una disminución del área foliar al bajar la partición de asimilados al crecimiento del follaje, esta caída en el número de hojas es más lenta y costosa de recuperar que un par de racimos con poco cuajado (Dogliotti *sf*).

Iglesias (2015), menciona que el crecimiento de los frutos de tomate está íntimamente relacionado con la temperatura, siendo óptimo entre 10°C - 30 °C, aunque a partir de los 26 °C se reduce la tasa de crecimiento, y la aparición de los racimos está directamente relacionada con la temperatura dentro del rango de 18 - 23 °C. En el cultivo de tomate, al igual que el de chile dulce, la floración inició cerca de los 14 DDT, la fructificación alrededor

de los 35 DDT y la cosecha inició a los 63 DDT, los mayores datos de producción se registraron en la semana once (77 DDT), posterior a esto la producción se redujo gradualmente hasta llegar al final del ciclo donde los rendimientos fueron mínimos como consecuencia de los problemas mencionados.

### 4.2.3. Extracción de macronutrientes y micronutrientes

La significancia para las variables de extracción de nutrientes según los factores de estudio y su interacción se observan en el cuadro 27, se incluyen tanto macronutrientes como micronutrientes categorizados por sección de la planta.

**Cuadro 27.** Significancia de las variables de extracción de macro y micronutrientes para dos factores y su interacción en el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Sección	Factor	N	Ca	Mg	K	P	Cu	Fe	Mn	Zn
Vegetativa (raíz, tallo y hojas)	Cultivar	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Solución nutritiva	NS	NS	*	NS	**	NS	NS	NS	NS
	Cultivar*Solución nutritiva	**	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
Frutos	Cultivar	**	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Solución nutritiva	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Cultivar*Solución nutritiva	**	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Total	Cultivar	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Solución nutritiva	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
	Cultivar*Solución nutritiva	**	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS

\* Existieron diferencias significativas con un  $p$ -valor $<0,05$ .

\*\* Existieron diferencias significativas con un  $p$ -valor $<0,01$ .

En la fracción vegetativa se presentaron diferencias significativas en la interacción de los factores para la extracción de N y K, también existieron diferencias en el factor solución nutritiva para las extracciones de Mg y P. En la fracción de frutos, fue muy marcado el caso del Ca, presentó diferencias altamente significativas en los factores y su interacción, además el N presentó diferencias en el factor cultivar y la interacción de este con la solución nutritiva. En la extracción total de los nutrientes se presentan diferencias significativas específicamente en la interacción de los factores para los elementos N y K; el N también presenta diferencias significativas en el factor cultivar y el P presentó diferencias significativas en el factor solución nutritiva. En el cuadro 28 aparecen los promedios de extracción de macronutrientes obtenidos por sección de la planta.

**Cuadro 28.** Promedios de extracción de macronutrientes (g/planta) obtenidos al final del ciclo del cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Sección	cv.	SN	N	Ca	Mg	K	P
Vegetativa (raíz, tallo y hojas)	JR	A	4,24 ± 1,05 a	3,97 ± 1,42 a	1,16 ± 0,40 a	5,48 ± 1,24 a	0,21 ± 0,06 ab
		B	5,92 ± 0,45 ab	5,97 ± 0,77 a	2,24 ± 0,19 a	7,94 ± 1,39 a	0,28 ± 0,04 b
	Lyro	A	7,32 ± 1,06 b	5,09 ± 2,62 a	1,28 ± 0,61 a	8,44 ± 3,30 a	0,12 ± 0,04 a
		B	4,87 ± 0,91 a	5,14 ± 1,15 a	1,64 ± 0,56 a	5,48 ± 1,26 a	0,25 ± 0,05 b
Frutos	JR	A	1,06 ± 1,15 a	0,06 ± 0,05 a	0,08 ± 0,07 a	1,31 ± 1,46 a	0,08 ± 0,10 a
		B	2,17 ± 1,10 a	0,14 ± 0,10 a	0,16 ± 0,10 a	2,98 ± 1,64 a	0,19 ± 0,11 a
	Lyro	A	4,67 ± 0,37 a	1,76 ± 0,48 b	0,46 ± 0,14 a	3,15 ± 1,13 a	0,10 ± 0,03 a
		B	2,15 ± 0,28 b	0,07 ± 0,02 a	0,14 ± 0,01 a	2,81 ± 0,15 a	0,19 ± 0,05 a
Total	JR	A	5,30 ± 2,20 a	4,01 ± 1,47 a	1,23 ± 0,46 a	6,79 ± 2,70 a	0,29 ± 0,15 a
		B	8,09 ± 0,97 a	6,11 ± 0,75 a	2,40 ± 0,16 a	10,91 ± 2,51 a	0,46 ± 0,08 a
	Lyro	A	11,99 ± 0,73 b	6,85 ± 2,34 a	1,73 ± 0,47 a	11,57 ± 2,32 a	0,22 ± 0,07 b
		B	7,03 ± 0,78 a	5,21 ± 1,15 a	1,78 ± 0,56 a	8,30 ± 1,12 a	0,43 ± 0,09 a

Medias con diferente letra en la misma columna para cada factor de estudio son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ( $p$ -valor < 0,05). cv.: Cultivar. SN: Solución nutritiva.

En el cv. JR las plantas regadas con la SN-B extrajeron la mayor cantidad de macronutrientes en todas las secciones, mientras para el cv. Lyro en la sección vegetativa los macroelementos N, Ca y K fueron mayormente extraídos utilizando la SN-A, y Mg y P utilizando la SN-B; y en la sección de frutos todos los macronutrientes se extrajeron más utilizando la SN-A excepto el P. A pesar de que no hubo diferencias significativas, las conductas presentadas dificultan establecer alguna tendencia en el orden de extracción, a pesar de esto en la sección vegetativa hubo uniformidad, el orden fue  $K > N > Ca > Mg > P$ , igual al del cultivo de chile dulce y al obtenido por Rojas y Paniagua (2015), utilizando la Solución Universal de Steiner (1984) en el tomate, sin embargo distinto a este estudio encontraron que el cv. Lyro extrajo mayor cantidad de N, Mg, K y P; y el cv. JR mayor cantidad de Ca.

Al final del ciclo, la sección vegetativa presentó diferencias significativas en las extracciones de N y K; el N y Ca presentaron diferencias significativas en la sección de frutos. La sección vegetativa fue superior en la extracción de todos los macronutrientes, contrario a lo que obtuvieron Betancourt y Pierre (2013), donde al final del ciclo de cultivo los elementos N, P y K fueron extraídos principalmente por los frutos, además notaron una disminución en el contenido de N a medida que la planta creció, elemento relacionado con

el establecimiento y crecimiento vegetativo de las plantas. El Ca fue mayormente extraído en la fracción vegetativa, Malone *et. al* (2002), cita que este elemento posee muy poca movilidad vía floema, se transporta básicamente vía xilema, esto permite que los órganos con altas tasas de transpiración como las hojas acumulen más que los frutos que son baja tasa de transpiración, debido a esto se genera una deficiencia que provoca pudrición apical de los frutos (*Blossom End Rot*). Igualmente, el Mg se concentró principalmente en la fracción vegetativa, coincidiendo con la acumulación que se da después de la fase de establecimiento de las plantas, y atribuyéndolo al crecimiento y maduración de los frutos. Ruiz *et al.* (2008), encontraron que la acumulación de Ca en las hojas fue superior al K, y señala que los factores que favorecen la absorción de Ca limitan la de K y Mg. Tjalling (2006), cita que en los macronutrientes la extracción de N y P son estables a lo largo del ciclo de cultivo, y recomienda reducir la cantidad de N desde que se da la floración como una forma de controlar el crecimiento vegetativo y estimular un buen llenado y una maduración uniforme de los frutos; en el caso del P se determina que la mayor acumulación se da en la parte vegetativa de las plantas debido a la movilización de nutrientes por efecto de la actividad metabólica asociada a hormonas, crecimiento y división celular, los tratamientos que más P extrajeron en la sección vegetativa fueron *JR-B* y *Ly-B*, identificados con la letra *b* (Hernández *et al.* 2006; Hartz 2006).

Considerando que la densidad de siembra del cultivo fue 16.667 plantas/ha se obtuvo la extracción total de macronutrientes en kilogramos por hectárea para cada tratamiento, en el cuadro 29 se presentan estos datos.

**Cuadro 29.** Cantidad de macronutrientes totales extraídos en kilogramos por hectárea (Kg/ha) según los tratamientos aplicados en el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Tratamiento	N	Ca	Mg	K	P
<i>JR-A</i>	88,34	66,83	20,50	113,17	4,83
<i>JR-B</i>	134,84	101,84	40,00	181,84	7,67
<i>Ly-A</i>	199,84	114,17	28,83	192,84	3,67
<i>Ly-B</i>	117,17	86,84	29,67	138,34	7,17

*JR-A: cultivar JR con la solución nutritiva A.*  
*Ly-A: cultivar Lyro con la solución nutritiva*

*JR-B: cultivar JR con la solución nutritiva B.*  
*Ly-B: cultivar Lyro con la solución nutritiva B.*



Aunque no existieron diferencias significativas, se refleja el mismo comportamiento, el cv. JR extrae mayor cantidad de macronutrientes cuando se utilizó la SN-B, y el cv. Lyro presentó mayor extracción de N, Ca y K utilizando la SN-A, y mayor extracción de Mg y el P utilizando la SN-B. Hernández *et al.* (2009) utilizó el híbrido de tomate HA-3019 en invernadero y a los 120 DDT presentó extracciones de macronutrientes por hectárea muy superiores a las obtenidas en este caso, excepto en el caso del Mg en el tratamiento JR-B, obtuvo 170,34 Kg de N, 252,51 Kg de Ca, 30,50 Kg de Mg, 402,84 Kg de K y 29,33 Kg de P. Calderón (2005) utilizó la variedad de tomate Money Maker en condiciones de invernadero y a los 147 DDT también presentó datos superiores en la extracción de macronutrientes por hectárea, obtuvo 233,34 Kg de N, 116,84 Kg de Ca, 47,67 Kg de Mg, 396,67 Kg de K y 25,00 Kg de P. Ahora bien, el cuadro 30 presenta la cantidad de fertilizantes aplicados para las 120 plantas en el ensayo sobre el cultivo de tomate, y el cuadro 31 presenta la cantidad de macronutrientes aportados por esas sales fertilizantes. Las cantidades son las mismas que en el cultivo de chile dulce, ya que las soluciones nutritivas fueron regadas por igual en ambos ensayos.

**Cuadro 30.** Cantidad de fertilizantes aplicados (Kg) durante el ensayo sobre el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

<b>Sales fertilizantes</b>	<b>SN-A</b>	<b>SN-B</b>	<b>Total</b>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>	11,77	10,39	22,15
KNO <sub>3</sub>	9,89	7,67	17,56
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1,84	1,58	3,41
MgSO <sub>4</sub>	4,90	4,97	9,87
KSO <sub>4</sub>	7,93	11,47	19,40

SN-A: Solución nutritiva A. SN-B: Solución nutritiva B.

**Cuadro 31.** Cantidad de macronutrientes aportados por cada solución nutritiva (Kg) durante el ensayo sobre el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014-2015.

<b>Nutriente aportado</b>	<b>SN-A</b>	<b>SN-B</b>	<b>Total</b>
Nitrógeno (N)	3,11	2,61	5,72
Calcio (Ca)	2,24	1,97	10,88
Magnesio (Mg)	0,45	0,45	3,05

Potasio (K)	7,68	8,29	7,63
Fósforo (P)	0,41	0,35	1,67
Azufre (S)	2,11	2,76	2,34

SN-A: Solución nutritiva A. SN-B: Solución nutritiva B.

El orden de aporte de nutrientes fue K>N>Ca>Mg>P para ambas soluciones nutritivas, concuerda con el orden de extracción de macronutrientes obtenido al final del ciclo de cultivo de tomate. Por otra parte, el cuadro 32 presenta los promedios de extracción para los micronutrientes.

**Cuadro 32.** Promedios de extracción de micronutrientes (mg/planta) obtenidos al final del ciclo de cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Sección	cv.	SN	Cu	Fe	Mn	Zn
Vegetativa (raíz, tallo y hojas)	JR	A	86,45 ± 32,71	76,57 ± 26,74	29,78 ± 13,59	41,93 ± 13,14
		B	70,66 ± 7,32	108,74 ± 16,48	51,69 ± 4,63	48,65 ± 9,15
	Lyro	A	88,71 ± 63,69	82,77 ± 37,28	40,81 ± 15,69	56,17 ± 25,81
		B	76,93 ± 21,17	91,50 ± 6,62	41,09 ± 7,18	47,59 ± 3,24
Frutos	JR	A	1,46 ± 1,50	4,38 ± 4,77	1,32 ± 1,55	2,62 ± 3,27
		B	3,02 ± 1,96	7,18 ± 2,77	2,72 ± 1,87	3,95 ± 3,29
	Lyro	A	2,83 ± 0,38	3,06 ± 1,20	1,57 ± 0,59	2,09 ± 0,98
		B	1,80 ± 0,53	7,41 ± 2,05	1,94 ± 0,29	3,79 ± 0,75
Total	JR	A	87,92 ± 33,48	80,95 ± 29,70	31,09 ± 15,13	44,55 ± 16,17
		B	73,68 ± 8,96	115,92 ± 13,76	54,41 ± 4,75	52,60 ± 9,93
	Lyro	A	117,00 ± 61,28	113,41 ± 27,51	56,16 ± 9,85	77,10 ± 28,54
		B	78,73 ± 20,71	98,91 ± 4,63	43,04 ± 6,92	51,37 ± 2,93

cv.: Cultivar. SN: Solución nutritiva.

No se aprecian diferencias estadísticamente significativas, asimismo se pueden observar algunos comportamientos, para estos elementos no hubo una diferencia considerable entre los cultivares. En la sección vegetativa la mayoría de tratamientos regados con la SN-B presentaron mayor extracción, excepto el Cu, que en ambos cultivares fue mayormente absorbido utilizando la SN-A, y el Zn, que se absorbió más en el tratamiento Ly-A. En la sección de frutos, al igual que en la sección vegetativa, las plantas regadas con la SN-B extrajeron mayor cantidad de micronutrientes, únicamente el Cu extrajo más con el tratamiento Ly-A, al igual que en la sección vegetativa. Con base en las extracciones totales, el cv. JR extrae mayor cantidad de micronutrientes cuando las plantas

se regaron con la *SN-B*, exceptuando el Cu, y el cv. Lyro extrajo mayor cantidad de estos cuando se utilizó la *SN-A*.

No se logró establecer un orden determinado en la extracción de micronutrientes, en la sección vegetativa se observa el orden  $Cu > Fe > Zn > Mn$  para las plantas regadas con la *SN-A* sin importar el cultivar, las plantas regadas con la *SN-B* tienen en común la mayor extracción de Fe y Cu, e invierten el orden del Mn y Zn en función de los cultivares, generando así dos órdenes,  $Fe > Cu > Mn > Zn$  para el cv. JR, y  $Fe > Cu > Zn > Mn$  para el cv. Lyro. Ninguno de los órdenes coincide con el obtenido por Rojas y Paniagua (2015), que fue  $Zn > Fe > Mn > Cu$ . Los promedios de extracción total de micronutrientes reflejaron el comportamiento de la sección vegetativa.

Al final del ciclo de cultivo (135 DDT), se estimó la cantidad necesaria de micronutrientes expresados en kilogramos por hectárea según los tratamientos, esta información se presenta en el cuadro 33.

**Cuadro 33.** Cantidad de micronutrientes totales extraídos en kilogramos por hectárea (Kg/ha) según los tratamientos aplicados en el cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

Tratamiento	Cu	Fe	Mn	Zn
<i>JR-A</i>	1,47	1,35	0,52	0,74
<i>JR-B</i>	1,23	1,93	0,91	0,88
<i>Ly-A</i>	1,95	1,89	0,94	1,29
<i>Ly-B</i>	1,31	1,65	0,72	0,86

*JR-A: cultivar JR con la solución nutritiva A. JR-B: cultivar JR con la solución nutritiva B.*  
*Ly-A: cultivar Lyro con la solución nutritiva Ly-B: cultivar Lyro con la solución nutritiva B.*

La relación que se presenta en el cuadro anterior es similar a la de los macronutrientes, se consideraron las plantas del cv. JR abastecidas con la *SN-B* como las que más micronutrientes extrajeron en su composición, exceptuando el Cu; mientras las plantas del cv. Lyro abastecidas con la *SN-A* extrajeron mayor cantidad de micronutrientes.

## 5. CONCLUSIONES

### 5.1. Cultivo protegido de chile dulce (*C. annuum* L.)

El comportamiento del crecimiento vegetativo fue estable durante el ciclo de cultivo de chile dulce, sin embargo, transcurridos 70 DDT hubo una disminución que se mantuvo hasta el final a causa de los problemas fitosanitarios, condiciones climáticas y el manejo, ningún tratamiento superó los 100 cm de altura. Precisamente la altura de la planta fue la única variable que presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p\text{-valor}<0,01$ ). Las plantas del cv. Nathalie presentaron una mayor altura ( $96,50 \pm 4,61$  cm para el tratamiento *Nath-A* y  $93,50 \pm 1,02$  cm para el tratamiento *Nath-B*) que las plantas del cv. 4212 ( $85,66 \pm 1,97$  cm para el tratamiento *4212-A* y  $76,09 \pm 2,86$  cm para el tratamiento *4212-B*). Dentro de cada cultivar las plantas regadas con la solución nutritiva A (*SN-A*) presentaron una altura superior a las plantas regadas con la solución nutritiva B (*SN-B*).

Únicamente el número de frutos cuajados presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p\text{-valor}<0,05$ ). Se observó que el cv. 4212 presentó mayor número de frutos cuajados ( $46,82 \pm 7,13$  para el tratamiento *4212-A* y  $39,19 \pm 2,30$  para el tratamiento *4212-B*) que el cv. Nathalie ( $38,11 \pm 6,36$  para el tratamiento *Nath-A* y  $31,70 \pm 2,15$  para el tratamiento *Nath-B*); además, dentro de cada cultivar la solución nutritiva A (*SN-A*) propició un mayor número de frutos cuajados que la solución nutritiva B (*SN-B*). La producción de frutos se vio afectada por el estado fitosanitario de las plantas y las condiciones climáticas, no se cuantificó la calidad de los frutos, sin embargo se consideró baja, el peso de la cosecha máximo al final del ciclo fue para el tratamiento *4212-A*, con  $1,89 \pm 0,07$  Kg/planta.

El orden de extracción de macronutrientes obtenido en todos los tratamientos para las plantas de chile dulce al final del ciclo de cultivo fue  $K>N>Ca>Mg>P$ , este correspondió al orden de aporte aplicado en la fertilización, y a la vez fue distinto al obtenido por Rojas y Paniagua (2015) utilizando la Solución Universal de Steiner (1984). En general el orden de extracción obtenido para los micronutrientes fue  $Fe>Cu>Mn>Zn$ .

## 5.2. Cultivo protegido de tomate (*S. lycopersicum* L.)

No existieron diferencias significativas en las variables de crecimiento vegetativo, a pesar de esto, el comportamiento fue lineal a lo largo del ciclo de cultivo, las plantas que fueron abastecidas con la *SN-B* presentaron alturas superiores a las que fueron abastecidas con la *SN-A* para ambos cultivares (JR y Lyro). Independientemente de la solución nutritiva, el cv. JR presentó mayor altura de la planta y número de hojas que el cv. Lyro. A lo largo del ciclo de cultivo el peso seco vegetativo fue superior al peso seco de frutos para todos los tratamientos.

Las variables de producción de frutos no presentaron diferencias significativas. Debido al estado fitosanitario de las plantas y las condiciones climáticas, la producción fue en decadencia hasta el final del ciclo, donde la máxima producción fue para el tratamiento *JR-B* con  $2,93 \pm 1,13$  Kg/planta, aunque no se cuantificó la calidad de los frutos, se consideró mala. A pesar de no existir diferencias significativas, al final del ciclo las plantas del cv. JR regadas con la *SN-B* presentaron un mayor número de frutos cuajados, número de frutos cosechados y mayor peso de cosecha, mientras las plantas del cv. Lyro regadas con la *SN-A* presentaron mayor número de frutos cuajados y peso de cosecha.

El orden de extracción de los macronutrientes en todos los tratamientos fue  $K > N > Ca > Mg > P$ , mismo orden que la cantidad de nutrientes aportados mediante las soluciones nutritivas en el fertirriego, igual al obtenido en el ensayo de chile dulce, y diferente al obtenido por Rojas y Paniagua (2015), donde el Mg y el P invirtieron sus posiciones. El cv. JR extrajo mayor cantidad de macronutrientes, específicamente con la *SN-B*. No fue posible establecer un orden común de extracción para los micronutrientes al final del ciclo de cultivo, el comportamiento fue variado, sin embargo, el tratamiento que más micronutrientes extrajo fue *Ly-A*, con excepción del Fe.

## 6. RECOMENDACIONES

En los ensayos realizados el invernadero de horticultura no fue suficientemente hermético y no tuvo las medidas de higiene necesarias, propiciando la entrada y desarrollo de plagas y enfermedades que alteran negativamente el desempeño de los cultivos, es necesario corroborar que la estructura propicie las condiciones para obtener buenos rendimientos con plantas sanas; aunado a esto, el manejo fitosanitario debe ser más oportuno, y se pueden instalar extractores, nebulizadores y malla reflexiva, para contrarrestar y/o controlar en mayor grado los efectos climáticos. Evaluar el comportamiento de otros genotipos más tolerantes a estas condiciones es otra alternativa.

Cuantificar la incidencia y severidad de los problemas fitosanitarios presentados y medir índices de crecimiento y productivos puede resultar una fuente valiosa de información a la hora de explicar el comportamiento de las plantas.

En condiciones de trópico húmedo de Santa Clara (San Carlos, Costa Rica) es necesario asegurar que el sustrato presente la humedad adecuada, se puede probar un sustrato que retenga mayor humedad en esas condiciones, además de realizar riegos más frecuentes. Las plantas constantemente sufrieron estrés hídrico y en muchos casos necrosis en las raíces, lo que repercute directamente en el crecimiento y el desarrollo.

Debido a que no existieron diferencias significativas, no es posible recomendar concretamente un cultivar o una solución nutritiva para producir en estas condiciones.

Se puede realizar un mayor número de muestreos destructivos para ser más precisos en cuanto al comportamiento del peso seco y la extracción de nutrientes en las plantas para algún momento específico de su ciclo fenológico.

Es crucial dar seguimiento a este tipo de investigaciones con el afán de aprovechar todas las ventajas que tienen los cultivos protegidos, que representan una alternativa potencial en el resguardo de la seguridad alimentaria.

Para determinar la rentabilidad económica y enriquecer integralmente la información existente sobre esta modalidad de producción en condiciones de trópico húmedo es necesario, además de acatar las recomendaciones anteriores, incluir más variables productivas y realizar un análisis financiero que muestre los costos versus los beneficios.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Adlercreutz, E; Huarte, R; López, A; Manzo, E; Szczesny, A; Viglianchino, L. 2014. Producción hortícola bajo cubierta. 1ª ed. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. 150 p.
- Alpízar, AL. 2008. Hidroponía cultivo sin tierra. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 104 p.
- Arano, C. 2007. Hidroponía en «tiempos modernos» II. Horticultura Internacional N° 59: 26-33.
- Ardilar, R; Fischer, G; Balaguera, H. 2011. Caracterización del Crecimiento del Fruto y Producción de Tres Híbridos de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Tiempo Fisiológico Bajo Invernadero. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 5 (1). Colombia. 46 p.
- Ayala; M. 2012. Análisis del Crecimiento y Calidad de Semilla de Tres Tipos de Chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis como requisito para el grado de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Texoco, México. 41 p.
- 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.
- Azofeifa, A; Moreira, M. 2008. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* cv. Hot) en Alajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense 32(1): 77-84.
- Baixauli, C; Aguilar, J. 2002. Cultivo sin Suelo de Hortalizas: Aspectos Prácticos y Experiencias. 1ª ed. Generalitat Valenciana. Valencia, España. 107 p.
- 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. Bogotá, Colombia. 22(1): 81-90.

- Bastida, O. 2012. Métodos de cultivo hidropónico de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero basados en doseles escaleriformes. Tesis como requisito para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Horticultura. Universidad Autónoma de Chapingo. 110 p.
- Bastida, T. 2006. Manejo y Operación de Invernaderos Agrícolas. 1ª ed. Serie de Publicaciones Agribot. Chapingo, México. 238 p.
- Bertsh, F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Informaciones Agronómicas INPOFOS N° 57: 1-10.
- Betancourt, P; Pierre, F. 2013. Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. var. Alba) en casa de cultivo en Quíbor, Estado Lara. Bioagro 25(3): 181-188.
- Bugarín, R; Galvis, A; Sánchez, P; García, D. 2002. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate. Terra Latinoamericana. Chapingo, México. 20(4): 401-409.
- Burgueño, H. 1994. La fertirrigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. 4ta edición. Sinaloa, México. 45 p.
- Cadahía, C. 2005. Fertirrigación: Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3ª ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 681 p.
- Calderón S, F. 2005. Requerimientos nutricionales de un cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en la sabana de Bogotá. Colombia. 11 p.
- Campos, 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 como requisito para obtener el grado de Licenciatura en Agronomía. Tecnológico de Costa Rica. San Carlos, Costa Rica. 92 p.
- Carrillo, M; Jiménez, U; Campos, H; Vicente, J; Marín, S; Barrantes, L. 2007. Agrocadena Regional Cultivo Chile Dulce. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Grecia, Alajuela. 76 p.



- Casilimas, H. Monsalve, O. Bojacá, C. Gil, R. Villagrán, E. Arias, L. Stella, L. 2012. Manual de Producción de Pimentón Bajo Invernadero. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia. 32, 48-49.
- 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.
- Chinchilla, E. 2005. Estudio del proceso de trabajo, perfil de riesgos y experiencias laborales en el cultivo de chile dulce. San José, Costa Rica. 47 p.
- Cifuentes; G. 2006. Fitopatología. Escuela de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogotá, Colombia. 193 p.
- Córdova, R. 2005. Evaluación técnica y económica de la producción de lechugas hidropónicas bajo invernadero en la Comuna de Calbuco, X Región. Tesis como requisito para obtener el grado de Licenciatura en Agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 75 p.
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; González, L; Tablada, M; Robledo, C. 2015. InfoStat Versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dogliotti, S. sf. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Curso de fisiología de los cultivos. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 18 p.
- Escalona, V; Alvarado, P; Monardes, H; Urbina, C; Martin, A. 2009. Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Universidad de Chile. Santiago, Chile. 60 p.
- Eyal, I. 2008. Microelementos en la Agricultura. Red Hidropónica N° 38: 2-11.
- FAO. 1999. Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. . Roma, Italia. 29 p.
- \_\_\_\_\_. 2013. El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana. Asunción, Paraguay. 70 p.

- Favela, E; Preciado, P; Benavides, A. 2006. Soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México. 147 p.
- Fernández, G. 2007. Extracción, Análisis, Estabilidad y Síntesis de Capsaicinoides. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz. Cádiz, España. 9 p.
- García, Y. 2012. Estudio preliminar de la resistencia a *Bemisia tabaci* (Gennadius) (hemíptera: Aleyrodidae) en germoplasma de cultivado y silvestre de tomate. Tesis como requisito parcial para obtener grado de Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 61 p.
- Garza, M; Molina, M. 2008. Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el Estado de Nuevo León. Nuevo León, México. 183 p.
- Gericke, WF. 1938. Crop Production without Soil. Nature 141: 536-540.
- González, J; Obregón, H; 2007. Evaluación de alternativas de protección física y química de semilleros de Chiltoma (*Capsicum annum* L.) contra el ataque del complejo mosca blanca (*Bemisia tabaci* G.) - geminivirus. Universidad Nacional Agraria (UNA). Managua, Nicaragua. 16 p.
- Grandica, H; Peña, H. 2015. Acumulación de Materia Seca y Balance de Nutrientes en Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Cultivado en Ambiente Protegido. Bioagro 27(2): 111-120. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal, Venezuela. 113 p.
- Hartz, T. 2006. Manejo de Fertilizantes para Producción de Tomates de Alto Rendimiento. California, EEUU. p. 37-44.
- Hernández, J. 2014. Respuestas Fisiológicas de unos de Agua en *Capsicum annum* L. en un Sistema Hidropónico con Déficit de Riego y Drenaje Cero. Tesis como requisito parcial para obtener grado de Maestro en Ciencias. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. 12 p.
- Hernández, M; Chailloux, M; Ojeda, A. 2006. Cultivo protegido de las hortalizas : Medio ambiente y sociedad. Temas de Ciencia y Tecnología 10(30): 25-31.
- Hoagland, D; Arnon, D. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular 347(347): 1-32.

- Iglesias, N. 2015. Tomate en invernadero: Estudios referidos a aspectos de ecofisiología de la producción. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Alto Valle, Argentina. 68 p.
- Jaramillo, J; Rodríguez, V; Guzmán, M; Rengifo, T. 2007. Manual Técnico Buenas Prácticas Agrícolas. 1ª ed. FAO. Medellín, Colombia. 316 p.
- Jiménez, E. Rodríguez, O. 2014. Insectos, Plagas de Cultivos en Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 50p.
- Jiménez, J; Antonio, M; López, H; Manelik, A; López, G; Ortiz, R; Fernando, L; García, E. 2014. Respuesta de híbridos de chile anaheim (*Capsicum annuum* L.) cardón y 118, cultivados bajo dos sistemas de producción en condiciones de invernadero. European Scientific Journal 10(6): 20-29.
- Lacarra, Á; García, C. 2011. Hidropónicos para la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) en invernadero. Trabajo de Experiencia Recepcional. Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 49 p.
- Lara, A. 2000. Manejo de la Solución Nutritiva en la Producción de Tomate en Hidroponía. Revista Terra Latinoamericana 17(3): 221-229.
- Lopez, P; Cano, A; Rodríguez, G; Torres, N; Rodríguez, S; Rodríguez, R. 2011. Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. Creatividad y Desarrollo Tecnológico 5(2): 98-104.
- Madrid, J. 2007. Cultivo de Jitomate Mediante Hidroponía: Una Alternativa Viable de Inversión. Tesis para obtener el título de Licenciado en Contaduría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Sahagun, España. 101 p.
- Malone, M; White, P; Morales, M. 2002. Mobilization of calcium in glasshouse tomato plants by localized scorching. Journal of Experimental Botany. Oxford Journals. Reino Unido. 53(366):83-88.
- Marín, F. 2010. Cuantificación y valoración de estructuras y procesos de producción agrícola bajo ambientes protegidos en Costa Rica. San José, Costa Rica. 34 p.
- Martínez, P; Roca, D; Belda, R. 2010. El Control del Fertirriego en los Cultivos Sin Suelo. Horticultura Global 290: 12-19.

- Mejicano, J; Rivera, E; Umaña, D. 2013. Evaluación Comparativa de dos Variedades de Chile Dulce (*Capsicum annuum* L.); Nathalie vrs Magali R; utilizando la Técnica de Macrotúneles en diferentes densidades de siembra. Requisito para optar por el título de Ingeniero Agrónomo. Ciudad Universitaria de Oriente. Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador. 43-46 p.
- Meric, M; Tuzel, Y; Oztekin, G. 2011. Effects of nutrition systems and irrigation programs on tomato in soilless culture. *Agricultural Water Management* 99: 19-25.
- Missael, R. 2013. Análisis de Crecimiento y Dinámica Nutricional del Chile Miahuateco (*Capsicum annum* L.). Requisito para optar por el título de Maestro en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 21 p.
- Nieto, J. 2009. Cultivo hidropónico de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Trabajo de titulación presentado como requisito para optar al título de Ingeniero de Ejecución Agropecuario. Universidad de Magallanes. Punta Arenas, Chile. 41 p.
- Ninancuro, R; Tantri, W. 2007. Producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) recirculante en la Región Atlántica de Costa Rica. Proyecto de graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ciencias Agrícolas. Universidad EARTH. Limón, Costa Rica. 36 p.
- Noh, J. Borges, L. Soria, M. 2010. Composición Nutricional de Biomasa y Tejidos Conductores en Chile Habanero (*Capsicum chinense* jacq.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 12, núm. 2. Universidad Autónoma de Yucatán. México. 221-222 p.
- Olvera, M. 2015. Efectos de Fertilizantes Nitrogenados y Potásicos, en el Cultivo de Pimiento (*Capsicum annum* L.), en condiciones de campo, en la zona de Babahoyo. Requisito para optar por el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Babahoyo. Los Ríos, Ecuador. 16-17 p.
- Orellana, C; León, E. 2011. Evaluación de la Producción del Cultivo Hidropónico de 3 Variedades de Pimiento (*Capsicum annuum* L.) Bajo Invernadero en la Solución Nutritiva La Molina. Cuenca, Ecuador. 119 p.

- Orellana, F; Escobar, J; Morales, A; Cruz, R; Castellón, M. s.f. Guía práctica: Cultivo de chile dulce. 1ª ed. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. San Salvador, El Salvador. 51 p.
- Orozco, F. 2015. Evaluación de diferentes programas de fertilización del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) en la zona de Pueblo Viejo, Provincia de Los Ríos. Requisito para optar por el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Babahoyo. Los Ríos, Ecuador
- Ortega, L. 2010. Efecto de los sustratos en el cultivo del tomate bajo condiciones de invernadero. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Puebla, México. 116 p.
- Patlax, O. 2013. Té de lombricomposta y solución nutritiva en la producción de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla) en invernadero con sistema de raíz flotante. Trabajo de experiencia recepcional. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas. Veracruz, México. 44 p.
- Putra, P; Yuliando, H. 2015. Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: A Review. Agriculture and Agricultural Science: Procedia 3: 283-288.
- Quesada, R. 2007. Los Bosques de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 16 p.
- Quesada, G; Bertsch, F. 2013. Obtención de la curva de extracción nutrimental del híbrido de tomate FB-17. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo 31(1): 1-7.
- Quesada, G. 2015. Chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de agotamiento en la humedad del sustrato. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. Universidad de Costa Rica. Agronomía Costarricense 39(1): 25-36. Costa Rica. 32 p.
- Ramírez, C; Nienhuis, J. 2012. Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica. Tecnología En Marca 25(2): 10-20.
- Ramos, GF; De Luna, JA. 2006. Evaluación de tres variedades de chile dulce (*Capsicum annum* L.) en cuatro concentraciones de una solución hidropónica bajo invernadero. Investigación y Ciencia 34: 6-11.
- Rincón, L. 2003. La fertirrigación del tomate y del pimiento grueso. Vida Rural 2003: 36-40.

- Ríos, J. 2012. Guía Ilustrada de Plagas y Enfermedades Asociadas al Cultivo de Tomate en México. Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 29 p.
- Rojas, J. 2007. Ambientes Protegidos: Una opción para productores con visión empresarial. Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos 1(4): 1-8.
- Rojas, J; Paniagua, F. 2015. Comportamiento agronómico de *Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* Mill. y *Cucumis melo* L. bajo cultivo protegido hidropónico utilizando la solución universal de Steiner. Tesis para optar por el grado de licenciatura. Tecnológico de Costa Rica. San Carlos, Costa Rica. 98 p.
- Ruiz, C; Túa, D. 2005. Criterios técnicos para fertilizar el cultivo de tomate. INIA Divulga. Maracaibo, Venezuela. 4: 37-41.
- Ruiz, C; Russián, T; Túa, D. 2008. Efecto del momento de riego y el nitrato de calcio en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Revista LUZ. Maracaibo, Venezuela. 25: 421-439.
- Salazar, F. Juárez, P. 2012. Requerimiento Macronutricional en Plantas de Chile (*Capsicum annuum* L.). Revista Bio Ciencias ISSN 2007-3380. Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. Jalisco, México. 28-29 p.
- Sánchez Del Castillo, F; González Molina, L; Moreno, E; Reyes, J; Pineda, E. 2014. Dinámica Nutricional Y Rendimiento De Pepino Cultivado En Hidroponía Con Y Sin Recirculación De La Solución Nutritiva. Revista Fitotecnia Mexicana 37(3): 261-269.
- Sánchez, J. 2000. Fertirrigación: Principios, Factores, Aplicaciones. Apukai-Comex. Lima, Perú. 26 p.
- Santos, B; Obregón, H; Salamé, T. Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos: Estructuras para la Agricultura Protegida 1. Florida, EEUU. 4 p.
- Snyder, R. s.f. Guía del cultivo del tomate en invernaderos. Mississippi State University. Mississippi, EEUU. 24 p.
- SOLIHAGUA, sf. Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Paquete Tecnológico de Chile Habanero "Transferencia de Tecnología para la Obtención de Capsicina en Chile Habanero". México. 4 p.

- Solórzano, M. 2013. Atlas Nacional de Ambientes Protegidos de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 67 p.
- Soto O, R. 2008. Crop phenology, dry matter production, and nutrient uptake and partitioning in cantaloupe (*Cucumis melo* L.) and chile (*Capsicum annuum* L.). University of Arizona. EEUU. 173 p.
- Steiner, A. 1961. A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. *Plant and Soil* XV(2): 134-154.
- \_\_\_\_\_. 1966. The Influence of the Chemical Composition of a Nutrient Solution on the Production of Tomato Plants. *Plant and Soil* XXIV(3): 454-466.
- \_\_\_\_\_. 1984. The Universal Nutrient Solution. Wageningen, Holanda. 633-650 p.
- Tjalling, H. 2006. Guía de Manejo Nutrición Vegetal de Especialidad Tomate. Sociedad Química y Minera de Chile (SQM). Santiago, Chile. 83 p.
- Urbina, M. sf. Clasificación, Bioecología, Niveles Críticos y Estrategias de Manejo de las Principales Plagas que afectan la Producción de Hortalizas de las familias Solanáceas y Brassicas. Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco. Estelí, Nicaragua. 4 p.
- Valentín, M. 2011. Crecimiento y Extracción de Macronutrientes del Chile de Agua (*Capsicum annum* L.). Requisito para optar por el título de Maestro en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 29 p.
- Valles, G. Lugo, J. Rodríguez, Z. Días, L. 2009. Efecto del Sustrato y la Distancia de Siembra entre Plantas sobre el Crecimiento de Plantas de Pimentón (*Capsicum annum* L.) en un Sistema Hidropónico sin Cobertura. *Revista Facultad Agronomía (LUZ)*. Venezuela. 161-162 p.
- Vidal, J. sf. Efectos del factor térmico en el desarrollo y crecimiento inicial de pimiento (*Capsicum annum* L.) cultivado en campo. Tesis para el grado de Magíster. Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán, Argentina. 26-33 p.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Cuadro de doble entrada propuesto por Hoagland y Arnon (1950) para la preparación de la *solución nutritiva A*.

<i>Catión/Anión</i>	$Ca^{+2}$	$K^+$	$Mg^{+2}$	$\Sigma$
$NO_3^-$	7,43	5,07	0	12,50
$H_2PO_4^-$	0	0,70	0	0,70
$SO_4^{2-}$	0	4,71	2,06	6,77
$\Sigma$	7,43	10,51	2,06	<b>20</b>

**Anexo 2.** Cuadro de doble entrada propuesto por Hoagland y Arnon (1950) para la preparación de la *solución nutritiva B*.

<i>Catión/Anión</i>	$Ca^{+2}$	$K^+$	$Mg^{+2}$	$\Sigma$
$NO_3^-$	6,57	3,93	0	10,50
$H_2PO_4^-$	0	0,60	0	0,60
$SO_4^{2-}$	0	6,81	2,09	8,90
$\Sigma$	6,57	11,34	2,09	<b>20</b>

**Anexo 3.** Características de las sales fertilizantes utilizadas en las soluciones nutritivas.

<i>Sal fertilizante</i>	<i>Fórmula química</i>	<i>Riqueza (%)</i>	<i>Peso molecular</i>	<i>Peso equivalente</i>	<i>Efecto sobre la acidez</i>	<i>Solubilidad (g/L<sup>-1</sup>)</i>	<i>meq./g<sup>1</sup> **</i>
Nitrato de calcio	$Ca(NO_3)_2$	N: 15.5 Ca: 19	236	118	Básico	1020	$NO_3^-$ : 10.35 $Ca^{2+}$ : 6.78 $NH_4^+$ : 0.71
Nitrato de potasio	$KNO_3$	N: 13 K: 38	101	101	Básico	130	$NO_3^-$ : - $K^+$ : -
Sulfato de potasio	$K_2SO_4$	K: 45 S: 18	174.3	87.2	Neutro	70	$SO_4^{2-}$ : 11.27 $K^+$ : 10.61
Sulfato de Magnesio	$MgSO_4$	Mg: 10 S: 13	246.3	123.2	Neutro	710	$SO_4^{2-}$ : 4.06 $Mg^{2+}$ : 5
Fosfato monopotásico	$KH_2PO_4$	P: 23 K: 28	136.1	136.1	Básico	330	$H_2PO_4^-$ : 3.24 $K^+$ : 5.94



Extraído de Favela *et al.* (2006).

\*\* Si se quiere en milimoles/g se divide los meq. Entre el número de valencia respectivo.

**Anexo 4.** Rangos de concentración de los micronutrientes en una solución nutritiva.

<i>Micronutriente</i>	$\mu\text{mol/L}^{-1}$	$\text{mg/L}^{-1}$
Fe	9 – 36	0.5 – 2
Mn	4 – 36	0.2 – 0.2
Zn	1.5 – 9	0.1 – 0.06
B	19 – 56	0.2 – 0.06
Cu	0.2 – 1	0.01 – 0.06
Mo	0.4 – 0.6	0.04 – 0.06

Extraído de Favela *et al.* (2006).

**Anexo 5.** Hoja de recolección de datos para las variables que involucran los pesos secos.

<i>N° de hilera</i>	<i>Tratamiento/repetición</i>	<i>45 DDT...</i>		
		<i>Vegetativo</i>	<i>Frutos</i>	<i>Total</i>
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12... 24				

**Anexo 6.** Hoja de recolección de datos para las variables muestreadas semanalmente.

<i>N° de hilera</i>	<i>Tratamiento/repetición</i>	<i>N° Planta</i>	<i>Sem. 1</i>			<i>Sem. 2</i>		
			<i>Altura</i>	<i>Hojas</i>	<i>Frutos</i>	<i>Altura</i>	<i>Hojas</i>	<i>Frutos</i>
1		1						
		2						
		3						
		4						
		5						
		6						
		7						
		8						
2... 12		1						
		2						
		3						
		4						
		5						
		6						
		7						
		8						

**Anexo 7.** Hoja de recolección de datos para la variable de peso de cosecha.

<i>N° Parcela</i>	<i>Tratamiento/ repetición</i>	<i>Sem. 1</i>	<i>Sem. 2</i>	<i>Sem. 3</i>	<i>Sem. 4</i>	<i>Sem. 5</i>	<i>Sem. 6</i>	<i>Sem. 7</i>	<i>Sem. 8</i>	<i>Sem. 9</i>	<i>Sem. 10</i>	<i>Sem. 11</i>	<i>Sem. 12</i>	<i>Sem. 13</i>	<i>Sem. 14</i>	<i>Sem. 15</i>
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																

**Anexo 8.** Productos aplicados en el manejo fitosanitario sobre los cultivos protegidos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.

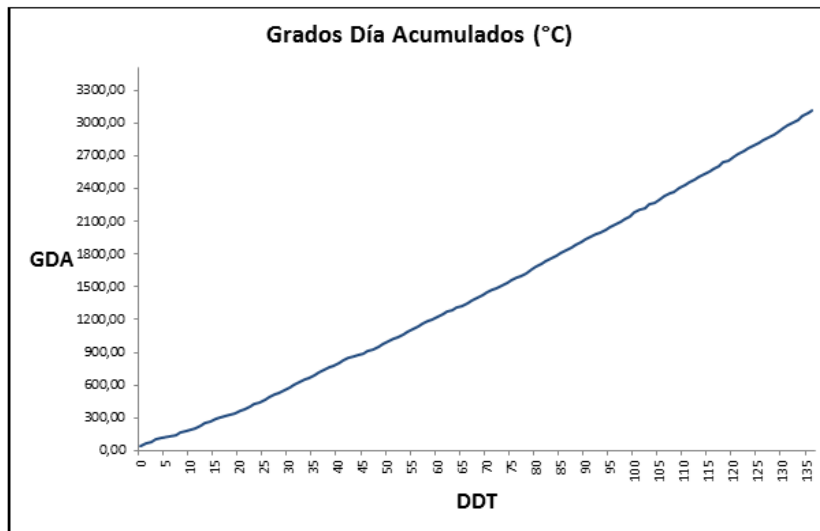
DDT	Tipo de aplicación	Problema presentado	Cobertura de la aplicación	Producto	I. A.	Dosis		Volumen aplicado
						mL/L	g/mL	
-5	Preventiva	-	Almácigo	Fytosan 20 WP	Sulfato tetracéptico tricálcico	1	-	2
-5	Preventiva	-	Almácigo	Confidor 70 WG	Imidacloprid	1	-	2
0	Nutricional	-	Almácigo	Bayfolan Forte	-	-	2	5
0	Nutricional	-	Almácigo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	8	-	5
3	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	10	-	15
7	Preventiva	-	Todo	Kasumin 2 SL	Kasugamicina	-	3	15
9	Preventiva	-	Todo	Vertimec 1,8 EC	Abamectina	-	1,5	15
12	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Tomate	Kasumin 2 SL	Kasugamicina	-	3	10
14	Curativa	<i>Botrytis cinerea</i>	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	10	-	15
15	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Tomate	Kasumin 2 SL	Kasugamicina	-	3	10
21	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Todo	Sportak 45 EC	Procloraz	-	0,5	15
23	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Todo	Fytosan 20 WP	Sulfato tetracéptico tricálcico	2	-	15
29	Preventiva	-	Tomate	Kasumin 2 SL	Kasugamicina	-	3	10
30	Preventiva	-	Todo	Dipel WG	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. kurstaki	4	-	15
31	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Todo	Cupravit	Oxiclورو de cobre	2	-	15
31	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Tomate	Kasumin 2 SL	Kasugamicina	-	3	5
36	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Tomate	Kasumin 2 SL	Kasugamicina	-	3	5
36	Preventiva	-	Todo	Vertimec 1,8 EC	Abamectina	-	1,5	15
37	Preventiva	-	Tomate	Actinel	<i>Streptomyces griseoviridis</i>	2,5	-	20
38	Limpieza	-	Fuera del invernadero	Gramoxone Super 20 SL	Paraquat	-	0,2	18

38	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Tomate	Kasumin 2 SL	Kasugamicina	-	3	10
38	Preventiva	-	Todo	Actinel	<i>Streptomyces griseoviridis</i>	13,3	-	15
39	Preventiva	-	Todo	Actinel	<i>Streptomyces griseoviridis</i>	0,1	-	2000
39	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	10	-	15
40	Preventiva	-	Tomate	Actinel	<i>Streptomyces griseoviridis</i>	40	-	5
42	Preventiva	-	Tomate	Actinel	<i>Streptomyces griseoviridis</i>	80	-	5
43	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Tomate	Sulfato de cobre	CuSO <sub>4</sub> *5H <sub>2</sub> O	0,39	-	300
43	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Tomate	Sulfato de cobre	CuSO <sub>4</sub> *5H <sub>2</sub> O	0,39	-	15
43	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Tomate	Sportak 45 EC	Procloraz	-	0,5	10
44	Curativa	<i>Spodoptera exigua</i>	Todo	Dipel WG	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. kurstaki	4	-	15
45	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	10	-	15
46	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Tomate	Sulfato de cobre	CuSO <sub>4</sub> *5H <sub>2</sub> O	0,39	-	200
52	Curativa	<i>Botrytis cinerea</i>	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	100	-	15
56	Curativa	<i>Polyphagotarsonemus latus</i>	Todo	Vertimec 1,8 EC	Abamectina	-	1,5	15
58	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	10	-	15
60	Preventiva	-	Todo	Agrimycin 16,5 WP	Estreptomicina + Terramicina	2	-	15
65	Curativa	<i>Spodoptera exigua</i>	Todo	Solaris 6 SC	Spinetoram	1,5	-	15
74	Curativa	<i>Bemisia tabaci</i>	Todo	Confidor 70 WG	Imidacloprid	2	-	15
74	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	23,3	-	15
76	Nutricional	-	Almácigo	Bayfolan Forte	-	-	2	5
76	Nutricional	-	Almácigo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	8	-	5
5	Preventiva	-	Tomate	Kasumin 2 SL	Kasugamicina	-	3	10
81	Curativa	<i>Leveillula taurica</i>	Tomate	Sulfato de cobre	CuSO <sub>4</sub> *5H <sub>2</sub> O	0,39	-	15
88	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	23,3	-	15
96	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Todo	Sportak 45 EC	Procloraz	-	0,5	15
101	Nutricional	-	Todo	Maxi-G	-	-	1	15

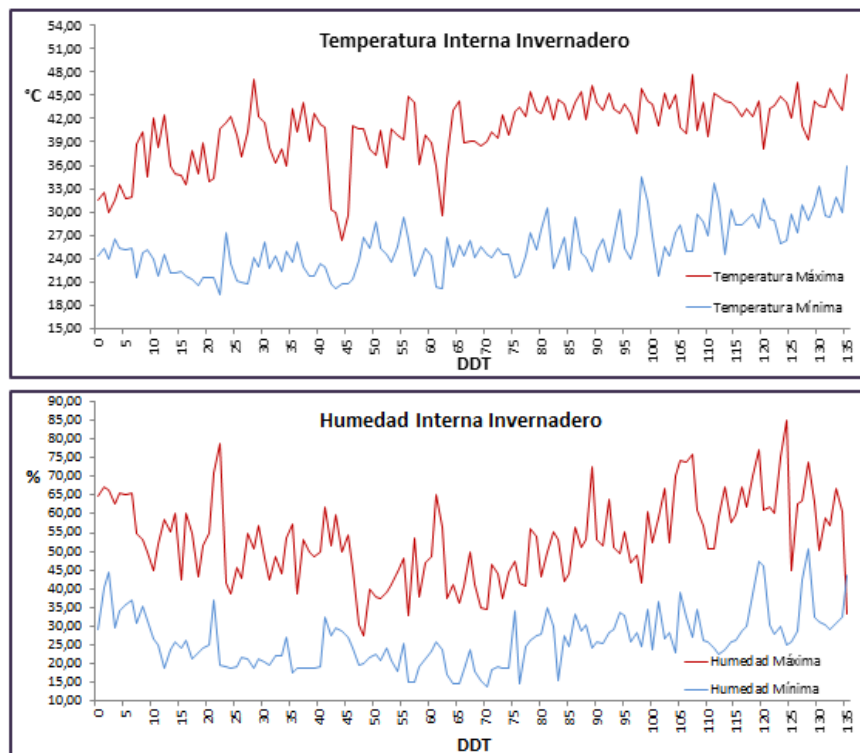
101	Nutricional	-	Todo	Crop-Up	-	-	3	15
101	Preventiva	<i>Bemisia tabaci</i>	Todo	Confidor 70 WG	Imidacloprid	3	-	15
103	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	23,3	-	15
105	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Todo	Agrimycin 16,5 WP	Estreptomicina + Terramicina	2	-	15
108	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Tomate	Sportak 45 EC	Procloraz	-	0,5	15
110	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	23,3	-	15
114	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	23,3	-	15
117	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	23,3	-	15
119	Curativa	<i>Spodoptera exigua</i>	Todo	Muralla Delta 190 OD	Imidacloprid + Deltametrina	-	1	15
121	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	46,6	-	15
122	Curativa	<i>Spodoptera exigua</i>	Todo	Muralla Delta 190 OD	Imidacloprid + Deltametrina	-	1	15
123	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Todo	Cobrethane 61,1 WP	Mancozeb + Oxicloruro de cobre	2	-	15
124	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	46,6	-	15
125	Curativa	<i>Spodoptera exigua</i>	Todo	Muralla Delta 190 OD	Imidacloprid + Deltametrina	-	1,5	15
126	Curativa	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Todo	Cobrethane 61,1 WP	Mancozeb + Oxicloruro de cobre	2	-	15
128	Curativa	<i>Spodoptera exigua</i>	Todo	Muralla Delta 190 OD	Imidacloprid + Deltametrina	-	2	15
128	Preventiva	-	Todo	Cobrethane 61,1 WP	Mancozeb + Oxicloruro de cobre	3	-	15
129	Preventiva	-	Todo	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	46,6	-	15
132	Curativa	<i>Spodoptera exigua</i>	Todo	Muralla Delta 190 OD	Imidacloprid + Deltametrina	-	2	15
132	Preventiva	-	Todo	Cobrethane 61,1 WP	Mancozeb + Oxicloruro de cobre	3	-	15
60	Preventiva	-	Tomate	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	23,3	-	15
64	Curativa	<i>Bemisia tabaci</i>	Tomate	Rimalation 60 EC	Malatión	-	1,5	6
71	Preventiva	-	Tomate	Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	46,6	-	10



**Anexo 9.** Grados día acumulados durante el período experimental en los cultivos protegidos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.



**Anexo 10.** Temperatura y humedad relativa registradas en el interior del invernadero durante el experimento sobre crecimiento vegetativo, producción de frutos y extracción de nutrientes en chile dulce (*C. annuum* L.) y tomate (*S. lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015.





**Anexo 11.** Plagas que afectaron los cultivos protegidos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos. 2014 - 2015. Fotografías tomadas por: Campos y Arguedas.



Síntomas de ácaros (*Polyphagotarsonemus latus*) en chile dulce: amarillamiento de brotes y punteado en las hojas.



Larvas L2, L3 y L4 de *Spodoptera exigua* alimentándose de los frutos y follaje de los cultivos.