



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

ABSORCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS EN CHILE RAYADO
(*Capsicum annuum* L.)

EMMA TREJO MARTÍNEZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017

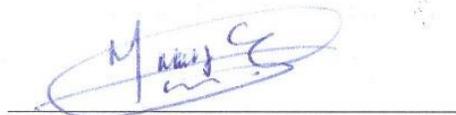
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Emma Trejo Marínez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Víctor M. Ordaz Chaparro, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis

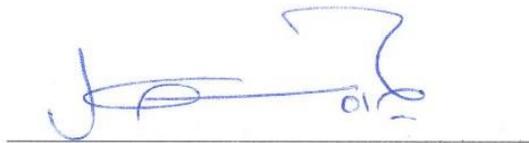
Absorción macronutricional en chile rayado (Capsicum annum L.)

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 26 de octubre de 2017



Firma del
Alumno (a)



Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Absorción de macronutrientes en chile rayado (*Capsicum annuum* L.)**, realizada por la alumna: **Emma Trejo Martínez** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



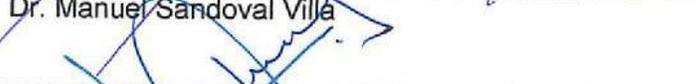
Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

ASESOR:



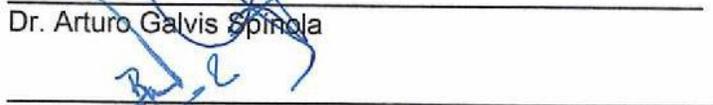
Dr. Manuel Sandoval Villa

ASESOR:



Dr. Arturo Galvis Spinola

ASESOR:



Dr. A. Enrique Becerril Román

Montecillo, Texcoco, Estado de México, octubre de 2017

ABSORCIÓN NUTRIMENTAL EN CHILE RAYADO (*Capsicum annuum* L.)

Emma Trejo Martínez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

El chile rayado es endémico de la huasteca, en el municipio de la Misión en el estado de Hidalgo, este cultivo representa una fuente importante de ingresos económicos para la población y del cual hay poca información técnica. Por tanto, esta investigación tuvo como objetivo determinar la absorción nutrimental a lo largo de su ciclo. Se usaron cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner (50, 75, 100 y 125%), para ver su efecto en el crecimiento de la planta y en el contenido de capsaicina en fruto. Como medio de cultivo se utilizó una mezcla de tezontle y fibra de coco. Se usó un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Los resultados muestran que ninguna de las concentraciones fue mejor que otra en cuanto al crecimiento de las plantas, sin embargo, las plantas al final del ciclo tuvieron una altura mayor (170 cm) a las producidas localmente (40 a 90 cm). En cuanto a la absorción nutrimental, en general, en orden decreciente fue: K, N, Ca, Mg, P y S. El mayor contenido (%) de K fue de 4.41, la de N 4.40, la de Ca 1.32, la de Mg 1.14, la de P 0.41 y para el S fue de 0.15. El contenido de capsaicina no fue afectada por las concentraciones de la solución nutritiva, no obstante el mayor contenido de este alcaloide se obtuvo en frutos de plantas regadas con solución al 50 y 75%; 76,365 y 83,145 unidades Scoville de picor respectivamente. Estas categorías superan al del chile jalapeño y se ubican en la del chile manzano y piquín.

PALABRAS CLAVE: capsaicina, unidades Scoville de picor, hidroponía, macronutrientes.

NUTRIENT ABSORPTION IN STRIPED CHILE (*Capsicum annum* L.)

Emma Trejo Martínez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

Striped chile is endemic to the Huasteca region, in the municipality of La Mision in the state of Hidalgo. This crop represents an important source of income for the population, there being little technical information on the crop. Therefore, the present research work had the objective of determining the nutrient absorption throughout its life cycle. Four concentrations of the Steiner nutrient solution (50, 75, 100, and 125%) were used in order to learn its effect on plant growth and capsaicin content in the fruit. A mixture of tezontle (porous volcanic rock) and coconut fiber was used as growth medium. A completely randomized design with three replicates was used. The results show that none of the concentrations was better than the rest regarding to plant growth; however, at the end of the cycle, the plants were taller (170 cm) than those grown locally (40 to 90 cm). With regard to nutrient absorption, it was in decreasing order: K, N, Ca, Mg, P, and S. The highest concentrations (%) were as follows: K 4.41, N 4.40, Ca 1.32, Mg 1.14, P 0.41, and S 0.15. The capsaicin concentration was not affected by the concentrations of the nutrient solution, regardless, the highest concentrations of this alkaloid were obtained in fruits with the solution at 50 and 75%; 76,365 and 83,145 Scoville units, respectively. These category values are higher than those of jalapeño pepper, reaching those of manzano and piquin peppers.

Key words: capsaicin, Scoville units, hydroponics, macronutrients.

AGRADECIMIENTOS

Al colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de seguir preparando mi carrera profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo económico durante mi estancia en la maestría.

Al Dr. Víctor Ordaz Chaparro por todo su apoyo, su comprensión, paciencia y consejos.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa por ser un gran ejemplo y símbolo de admiración, por su excelencia y dedicación en su trabajo.

Al Dr. Arturo Galvis Spínola por sus excelentes aportaciones en este trabajo.

Al Dr. Enrique Becerril Román por colaboración en la realización de este trabajo.

A mi familia, por su amor, comprensión y por apoyarme en cada decisión.

A mis amigos que han sido incondicionales.

A Oscar por su apoyo y compañía.

A Esmeralda y Mariela que sin ningún interés me brindaron su apoyo.

A Laura Santamaría por ser una excelente persona, eficiente y dedicada a su trabajo.

A todo el personal del laboratorio de física de suelos porque cada uno puso su granito de arena en la realización de este trabajo; en especial a Melquisedec, y a don Carlos†.

DEDICATORIA

A mi madre que es lo mejor de vida, mi ejemplo, mi fuerza, te amo.

A mi padre, por tu confianza y apoyo.

A mi hermano por ser mi cómplice incondicional.

A toda mi familia gracias por amor y su confianza.

A mis amigos que son parte importante en mi vida, en especial a esa personita que se aventuró conmigo en este pasaje de nuestra vida.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	JUSTIFICACIÓN.....	2
II.	OBJETIVO GENERAL	4
III.	HIPÓTESIS.....	4
IV.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
4.1	IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE CHILE.....	5
4.2	NUTRICIÓN EN LAS PLANTAS	7
4.3	CARACTERÍSTICAS DEL CHILE RAYADO.....	8
4.4	PUNGENCIA DEL CHILE O CONCENTRACIÓN DE CAPSAICINA	9
4.5	CULTIVO SIN SUELO	11
4.6	SOLUCIONES NUTRITIVAS	11
4.6.1	SISTEMA DE RIEGO	12
4.6.2	SUSTRATOS.....	12
4.6.2.1	FIBRA DE COCO	14
4.6.2.2	TEZONTLE.....	14
4.6.3	ANÁLISIS FÍSICO DE SUSTRATOS	14
4.6.3.1	GRANULOMETRÍA.....	14
4.6.3.2	POROSIDAD	15
4.6.3.3	DENSIDAD APARENTE.....	15
4.6.3.4	CURVA DE RETENCIÓN DE AGUA.....	15
4.6.3.5	MATERIA ORGÁNICA Y LA RELACIÓN C/N.....	16
4.7	ANTECEDENTES SOBRE EL CULTIVO DE CHILE.....	17
V.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
5.1	LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	19
5.2	MATERIAL VEGETAL	19
5.3	PRODUCCIÓN DE PLÁNTULA	19
5.4	SUSTRATO.....	19
5.5	TRASPLANTE	20
5.6	SOLUCIÓN NUTRITIVA.....	20
5.7	PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS.....	21
5.8	MANEJO DEL CULTIVO.....	21
5.9	DISEÑO EXPERIMENTAL	21
5.10	VARIABLES EVALUADAS	22
5.11	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	23
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
6.1	ALTURA DE LA PLANTA, DIÁMETRO DEL TALLO Y ÁREA FOLIAR	24
6.2	PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA	26
6.3	ABSORCIÓN DE MACRONUTRIENTES	30
6.3.1	NITRÓGENO	31
6.3.2	FÓSFORO.....	33
6.3.3	POTASIO	34
6.3.4	CALCIO	36
6.3.5	MAGNESIO Y AZUFRE.....	37
6.4	CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES.....	39
VII.	CONCLUSIONES	40

VIII. BIBLIOGRAFÍA 41

LISTA DE FIGURAS

- Figura1.- Principales países productores de chile verde, pimientos picantes, y pimientos (verde). Elaboración propia con datos reportados por FAOSTAT (2017). 5
- Figura 2. Producción de chile en México durante el periodo de 2006-2016 y * valor de producción. Elaboración propia con datos del cierre de la producción agrícola reportados por la SIAP..... 7
- Figura 3. Apariencia del chile rayado. 8
- Figura 4. Estructura de capsaicina y dihidrocapsaicina. Fuente Bosland y Votava (1999)..... 11
- Figura 5.-** a) Distribución de materia seca en raíz, tallo, hojas y frutos durante un ciclo de cultivo de chile rayado bajo invernadero, tratado con diferentes concentraciones de solución nutritiva Steiner, a) al 50%, b) al 75%, c) al 100%, d) al 125%. 29

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Intervalos óptimos y concentración en hojas de macronutrientes en el cultivo de chile.....	8
Cuadro 2. Escala de las unidades Scoville.	10
Cuadro 3. Fuente de nutrimentos para la solución nutritiva Steiner al 100 % y la relación entre cationes y aniones.	12
Cuadro 4. Concentraciones de nutrimentos de la solución nutritiva Steiner (1991).	20
Cuadro 5. Respuesta de las plantas de chile rayado a la aplicación de cuatro niveles de solución nutritiva Steiner.	25
Cuadro 6. Valores promedio de la acumulación de materia seca por órgano durante el ciclo de crecimiento de chile rayado. Cultivo en hidroponía tratados con diferentes concentraciones de la solución nutritiva Steiner.	28
Cuadro 7. Comparación de medias del contenido de nitrógeno (N) en planta durante el ciclo de cultivo de chile rayado tratadas con cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, México, 2015.....	32
Cuadro 8. Comparación de medias del contenido de fósforo (P) en planta durante el ciclo de cultivo de chile rayado tratadas con cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, México, 2015.....	34
Cuadro 9. Comparación de medias del contenido de potasio (K) en planta durante el ciclo de cultivo de chile rayado tratadas con cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, México, 2015.....	36
Cuadro 10. Comparación de medias del contenido de calcio (Ca) en planta durante el ciclo de cultivo de chile rayado tratadas con cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, México, 2015.....	37
Cuadro 11. Comparación de medias del contenido de magnesio (Mg) en planta durante el ciclo de cultivo de chile rayado tratadas con cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, México, 2015.....	38
Cuadro 12. Comparación de medias del contenido de azufre (S) en planta durante el ciclo de cultivo de chile rayado tratadas con cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, México, 2015.....	39
Cuadro 13. Contenido de capsaicinoides en frutos de chile rayado por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner.	40

I. INTRODUCCIÓN

México se ubica como el principal exportador de chile a nivel mundial y en segundo lugar en producción, la producción de chile en el año 2014 fue de dos millones 732 mil 635 toneladas cosechadas, esto representó un valor de producción de aproximadamente 17 mil 896 millones de pesos (SAGARPA, 2012a; SIAP, 2014).

Los principales estados productores de chile son Chihuahua, Sinaloa y Zacatecas, las variedades más cultivadas son el chile jalapeño, serrano, poblano, morrón y habanero (SAGARPA, 2012b). El chile es uno de los alimentos básicos en la dieta de los mexicanos por ello en todo lo largo y ancho del país se cultivan diferentes variedades, por ejemplo, el chile rayado conocido así comúnmente es una variedad criolla que se cultiva en plantaciones pequeñas en las zonas serranas huastecas de Veracruz, San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla, es considerado como un chile jalapeño de altura debido a las regiones donde se cultiva (Aguilar *et al.*, 2010).

Es poca la información que se tiene acerca del chile rayado, por lo tanto, en este trabajo se tomaron referencias bibliográficas del chile jalapeño. En México, generalmente el cultivo de chile jalapeño se hace a través de un sistema manual o mecánico, puede desarrollarse bien en cualquier tipo de suelo, sin embargo, en investigaciones previas a ésta, se han realizado estudios bajo invernadero usando un sistema hidropónico, ya que esto permite tener un amplio control de las condiciones ambientales y obtener resultados precisos. Para su cultivo también se han implementado otras técnicas como el uso de micro túneles de plástico y acolchado (Lujan *et al.*, 2014).

En cualquier cultivo de interés agrícola se busca incrementar la productividad, en gran medida esto depende del potencial genético de la planta, pero existen otros factores abióticos como clima, la fertilidad del suelo, el manejo del cultivo, entre otros, que pueden ayudar a incrementar esta productividad.

La nutrición mineral es un factor que potencializa la producción, es por ello la importancia de conocer el papel que juegan los nutrimentos en los procesos fisiológicos de las plantas y el requerimiento de cada una de ellas.

Este estudio tiene la finalidad de determinar la absorción de nutrientes a lo largo del ciclo del cultivo de chile rayado, usando un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero.

1.1 Justificación

Cuando se habla de cultivos de interés agronómico se piensa en rentabilidad, este término depende de factores como lo son los ambientales y los humanos, dentro de este último se encuentran los recursos económicos, por lo que se tiene que considerar la cantidad de fertilizantes que se deben usar para poder obtener un rendimiento con el menor costo posible de producción. Para la optimización del uso de fertilizantes es necesario conocer los requerimientos nutricionales del cultivo.

Se sabe que todas las plantas están compuestas principalmente de tres elementos: carbono, hidrógeno y oxígeno, constituyendo un 94% del total de su composición, el carbono y oxígeno son obtenidos principalmente del aire mediante el proceso de fotosíntesis, el hidrógeno se obtiene del agua proveniente del medio de crecimiento. En el 6% restante se encuentran otros elementos químicos y aun que es muy pequeña la proporción en la que se necesitan son fundamentales para su buen desarrollo. Se ha demostrado que existen 17 de estos elementos llamados esenciales, estos a su vez se han clasificado en macro y micronutrimentos debido a la cantidad que las plantas necesitan (Navarro y Navarro, 2003; Inzunza *et al.*, 2010).

Las hortalizas por su rápido crecimiento requieren gran cantidad de nutrimentos, lo cual dependerá de cada cultivo y de la etapa fenológica, los medios de obtención de estos nutrimentos son del suelo y de las aplicaciones de los fertilizantes realizadas por el productor. Las cantidades aplicadas deben ser las necesarias fisiológicamente demandadas, para evitar daños al mismo cultivo, al ambiente e incrementar los costos de producción.

Para el cultivo de chile rayado hay muy poca información acerca de los requerimientos nutricionales, es por ello que este trabajo tiene como objetivo obtener información sobre la absorción de macro nutrimentos a lo largo del ciclo de cultivo.

II. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la absorción de macronutrientes en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de chile rayado (*Capsicum annuum* L.).

1.2 Objetivos particulares

- Determinar el efecto de la concentración de la solución nutritiva sobre la fenología de la planta.
- Determinar el contenido de capsaicina en el chile rayado.

III. HIPÓTESIS

- Las plantas, a lo largo de su ciclo necesitan diferentes concentraciones de nutrientes, por lo cual la deficiencia o exceso de éstos influye en su crecimiento y desarrollo.
- El contenido de capsaicina se ve afectado por la cantidad de nutrientes aplicados al cultivo.

IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El chile pertenece a la familia de las solanáceas, el género al que corresponde (*Capsicum*) tiene alrededor de 26 especies, que en su totalidad son originarias del continente americano. La palabra *Capsicum* nombre científico del chile, proviene del griego *kapsakes* o cápsula y su nombre común “chile” proviene del náhuatl *chilli*, este nombre lo adoptan numerosas variedades de *Capsicum annum*, algunas también de la especie *C. frutescens* (CONABIO, 2015; COVECA, 2011).

4.1 Importancia del cultivo de chile

Aunque México es el principal centro de diversificación genética del chile, China es el principal productor de esta hortaliza con una producción de poco más de 13 millones de toneladas, casi la mitad de lo que se produce mundialmente, México se ubica en el segundo lugar de producción (1, 982,300 toneladas) siguiéndole Turquía e Indonesia con 1, 842,346 y 1, 201,760 toneladas respectivamente (Figura 1).

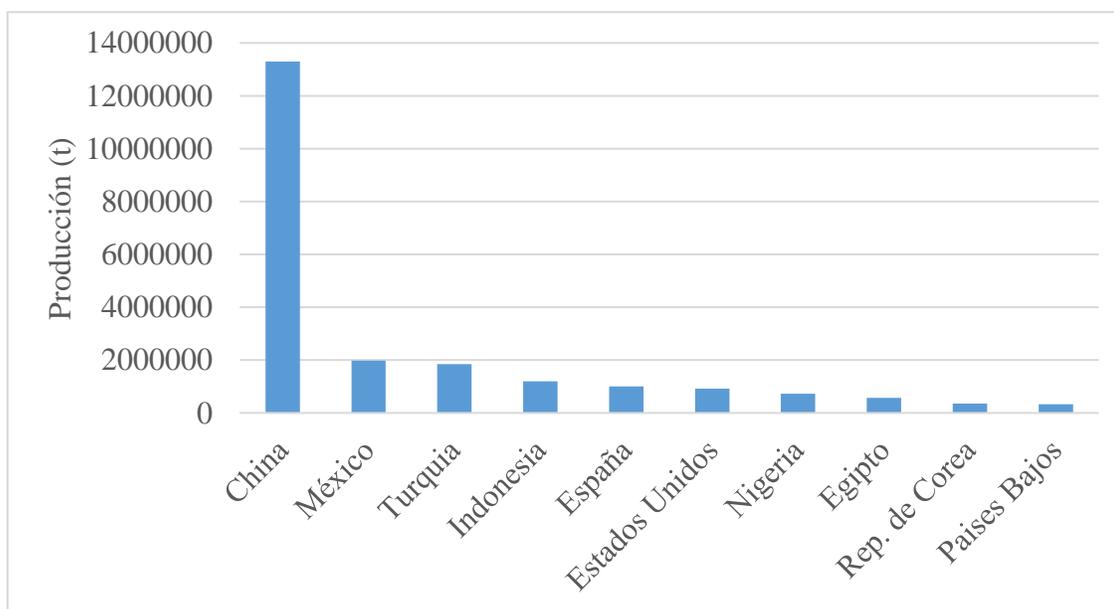


Figura1.- Principales países productores de chile verde, pimientos picantes, y pimientos (verde). Elaboración propia con datos reportados por FAOSTAT (2017).

El chile se consume tanto en fresco como en seco, su principal uso es como saborizante en los platillos mexicanos y a nivel mundial además de dar color y aroma, pero su relevancia se da por sus propiedades medicinales gracias a su concentración de vitamina C y sus efectos antiescorbúticos (Aguilar, 2012).

Se tiene la creencia de que el consumo de algunas variedades de *capsicum* provoca daños a la salud, principalmente al aparato digestivo sin embargo existen múltiples estudios en donde se muestra que el consumo de capsaicina (CAP) tiene efectos positivos contra algunas enfermedades. Salazar-Olivo y Silva-Ortega (2004) hicieron una revisión de literatura en donde encontraron que la ingesta de CAP inhibe el crecimiento en cultivo de células de leucemia humana, además hay estudios en donde se trabajó con ratas con hiperkinesia y fueron tratadas con y sin CAP, observándose la reducción de los movimientos incontrolados en las ratas tratadas con CAP. También se le atribuye propiedades analgésicas en el tratamiento de dolor de muelas o en afecciones como la artritis reumatoide, además de la capsaicina el chile contiene otro nutriente indispensable en la dieta humana, la vitamina C, ésta ayuda en la prevención de enfermedades como el cáncer y se tiene registros de que el chile contiene dos o tres veces más vitamina C que otras hortalizas y que los mismos cítricos (Cruz-Pérez, *et al.*, 2007).

Además de ser un ingrediente en la alimentación de los mexicanos, éste cultivo tiene un valor económico importante en las regiones involucradas en su cultivo, pues genera ingresos competitivos para los productores y genera fuentes de empleo, lo que refleja un impacto social positivo (SIAP, 2010). En la Figura 2 se muestra la producción en toneladas de chile verde además se muestra el valor de producción en miles de pesos que se ha generado año con año en el cultivo de chile en el periodo de 2006 al 2016 registrado por la SIAP.

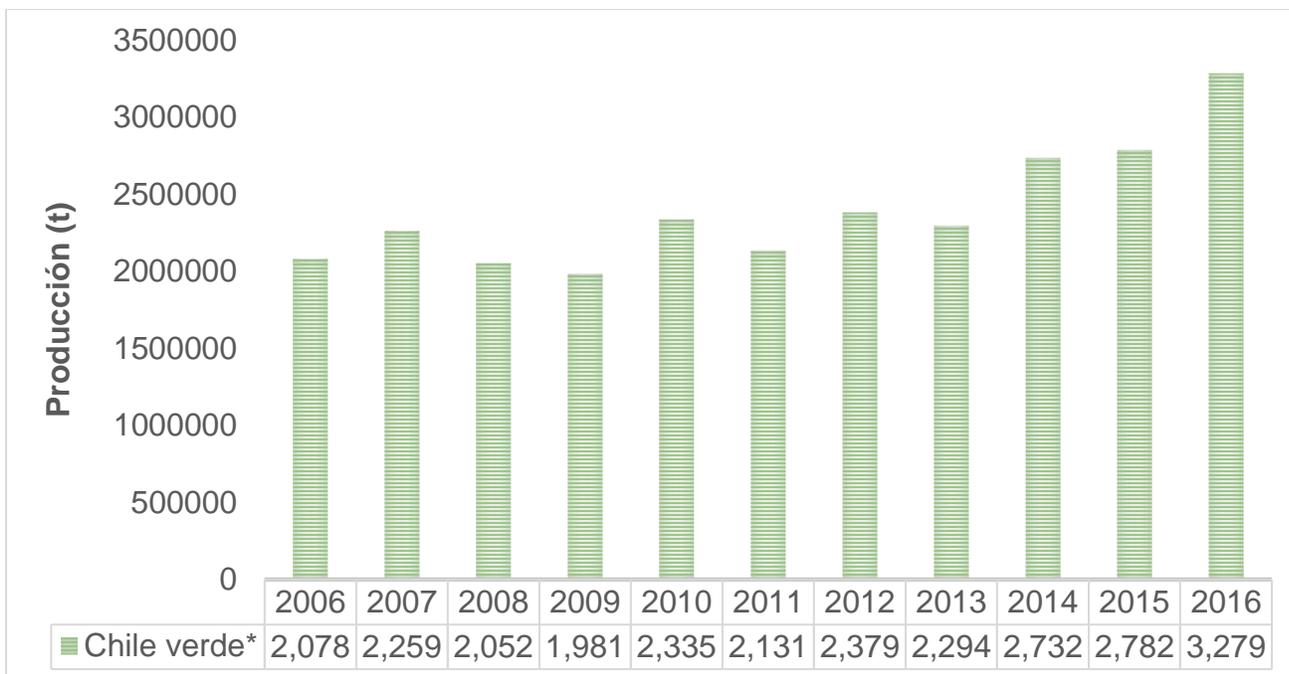


Figura 2. Producción de chile en México durante el periodo de 2006-2016 y * valor de producción. Elaboración propia con datos del cierre de la producción agrícola reportados por la SIAP.

http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp

4.2 Nutrición en las plantas

Para que una planta desarrolle adecuadamente necesita tener buenas condiciones ambientales y una nutrición suficiente y oportuna. Los nutrientes son la materia prima básica para que las plantas puedan realizar sus funciones y procesos fisiológicos, por lo que no solo deben estar en abundancia también deben estar de tal forma que las plantas los puedan absorber para después ser traslocados y asimilados al metabolismo de éstas.

Existen 16 elementos esenciales para que la planta desarrolle adecuadamente, estos se dividen en macro y micronutrientes de acuerdo a las cantidades en que son necesarios durante el ciclo de cultivo. El N, P, K, Ca, Mg, S son los requeridos en mayor cantidad por lo que su deficiencia o toxicidad es mayormente notable o con mayor rapidez (Yáñez, 2002). En el Cuadro 1 se presentan los requerimientos óptimos para el cultivo de chile.

Cuadro 1. Intervalos óptimos y concentración en hojas de macronutrientes en el cultivo de Chile.

Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	S
Intervalos óptimos nutrimentales (%)						
General ₁	2.0 -5.0	0.2 - 0.5	1.0 -5.0	0.1-1.0	0.1- 0.4	0.1 - 0.3
Pimiento ₂	3.5 - 5.5	0.35 - 0.8	3.0 - 6.0	1.5 - 3.5	0.35 -0.8	0.37
Pimiento ₃	3.0 – 6.0	0.2 - 0.8	3.5 – 6.0	0.5 - 5.0	0.5 – 2.5	-
Concentración de nutrientes en hojas (%)						
Jalapeño ₄	3.15 - 5.0	0.36 - 1.0	4.01 - 6.0	2.01 - 4.0	0.31 - 1.0	

₁Bennett (1993), ₂Bosland y Votava (2012), ₃ Cadahía, (1998) citado por Nuez *et al.* (2003).
₄Arcos *et al.* (1998).

4.3 Características del Chile rayado

El Chile Rayado es conocido así debido a que el fruto presenta líneas características sobre su superficie (Figura 3), a estas líneas se les conoce como corchosidad, éstas pueden ser tan abundantes que pueden cubrir en su totalidad la superficie del fruto.



Figura 3. Apariencia del Chile rayado.

Este chile es cultivado en pequeñas plantaciones a campo abierto de manera única o intercalado con maíz o frutales en las zonas serranas de las huastecas de Veracruz, San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla. Se ha introducido como cultivo en los estados de Chiapas y Chihuahua para establecer siembras comerciales (Aguilar *et al.*, 2010).

Las plantas son de porte pequeño que van de 40 a 90 cm de altura, el follaje presenta pubescencia de intermedia a muy alta, con ramificación dicotómica escalonada. Los frutos tienen una longitud de 6 a 12 cm y un diámetro de 3.3 a 4.2 cm, el grosor del pericarpio va de 5 a 8 mm, la placenta está bien distribuida en su interior, lo cual da mayor peso al fruto (35 a 60 g).

La comercialización de este chile se realiza en estado verde para sazón de consumo directo, para relleno o para la elaboración de diversos platillos, pero principalmente se comercializa deshidratado para la elaboración de chipotle, este se elabora mediante el deshidratado y ahumado lento de los frutos ya maduros, por el aroma y el sabor característico se considera que el chile rayado es de muy alta calidad (Aguilar *et al.*, 2010).

4.4 Pungencia del chile o concentración de capsaicina

La capsaicina es una oleorresina compuesta por carotenoides de propiedades pungentes y pigmentantes, esta sustancia es la que da el sabor picante a los frutos del género *Capsicum*, cabe señalar que sólo se encuentra en las semillas y en las venas del fruto, el contenido de esta sustancia depende del genotipo, la madurez del fruto y de las condiciones del cultivo (NMX-F-389-1982; Restrepo, 2006; Cedrón, 2013).

La manera de determinar el grado de picor de los frutos es mediante la escala de Scoville (SHU, del inglés Scoville Heat Units), ésta se desarrolló en el año 1912 por el químico Wilbur Scoville, el principio de ésta escala se basa en considerar cuantas veces es diluida una cantidad de capsaicina hasta que ésta ya no sea percibida por nuestro gusto, es decir funge el papel de un factor de dilución (Cedrón, 2013). En el

Cuadro 2 se muestran las categorías que componen la escala y los chiles que se contemplan en cada categoría.

En la actualidad se utilizan métodos como la cromatografía de líquidos de alta resolución para medir el contenido de capsaicina. Se considera un método preciso, las mediciones las da en partes por millón, las cuales son convertidas en Unidades Scoville.

Una parte por millón (ppm) de capsaicina es equivalente a 15 unidades Scoville (López, 2003; Yáñez *et al.*, 2015).

Cuadro 2. Escala de las unidades Scoville.

Chile	Unidades Scoville
Capsaicina pura	16 000 000
Habanero	150 000 - 325 000
Piquín	50 000 - 100 000
Tabasco y manzano	30 000 - 60 000
<i>Capsicum baccatum</i>	30 000 - 50 000
De árbol	15 000 - 30 000
Serrano	10 000 - 20 000
Jalapeño	2 500 - 10 000
Mirasol y cascabel	2 500 - 5 000
Ancho y pasilla	1 000 - 2 000
Pimiento	0 - 100

Fuente: López (2003).

Existen ocho capsaicinoides principales de los cuales los más importantes son la capsaicina y la dihidrocapsaicina debido a que juntos aportan hasta el 90% de concentración de la capsaicina en los frutos es decir el grado de picor (Vázquez *et al.*, 2007), en la Figura 4 se muestra la estructura química de ambas.

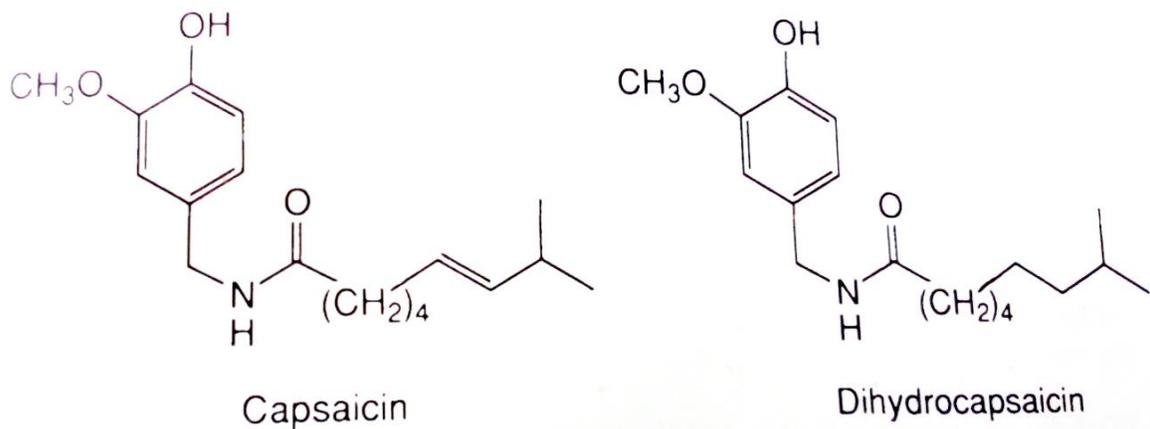


Figura 4. Estructura de capsaicina y dihidrocapsaicina. Fuente Bosland y Votava (1999).

4.5 Cultivo sin suelo

En términos prácticos se clasifican dos tipos de cultivos sin suelo 1) cultivos hidropónicos son cultivos desarrollados en medios acuosos agregándoles nutrientes y 2) cultivos en sustratos que son materiales sólidos diferentes al suelo. Estos dos tipos han permitido obtener producciones de alta calidad en espacio y tiempo reducidos con costos razonables (Cadahía, 2005; Abad 2004; Alcántar, 2013).

El termino hidroponía se ha usado para referirse a los cultivos en un medio diferente al suelo sin importar si es no acuoso; cualquier método de cultivo en hidroponía está constituido por la solución nutritiva, las macetas, el sustrato, el sistema de riego y el drenaje (Sánchez y Escalante, 1988).

4.6 Soluciones nutritivas

La solución nutritiva es la disolución de diferentes fertilizantes en agua, la cual se usa para regar las plantas y de esta manera aportar los elementos necesarios para su desarrollo y en cantidades necesarias (Sánchez y Escalante, 1988).

Existen diferentes métodos para desarrollar fórmulas para la composición de una solución nutritiva, Steiner es uno de los métodos más usados, éste método se basa en generar una solución verdadera de las especies químicas que se establecen en su fórmula, esta solución se puede comprobar mediante un análisis químico. La concentración de la solución dependerá de los requerimientos nutrimentales del cultivo, de la fase de desarrollo, de las características ambientales, y del tipo de hidroponía, en el Cuadro 3 se muestra la formulación que se distingue por la relación que existe entre los aniones y cationes (se expresa en miliequivalentes por litro; meq L⁻¹) (Steiner, 1961).

Cuadro 3. Fuente de nutrimentos para la solución nutritiva Steiner al 100 % y la relación entre cationes y aniones.

Fertilizante	Steiner	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	100%						
meq L ⁻¹							
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	9	9				9	
KNO ₃	3	3			3		
K ₂ SO ₄	4			4	4		
MgSO ₄ ·7H ₂ O	4			4			4
H ₃ PO ₄	1		1				

4.6.1 Sistema de riego

Existen diferentes sistemas de riegos tales como el riego por aspersion, por inundación, o por goteo, para decidir qué sistema es el adecuado se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos: recursos financieros, el tipo de cultivo y la superficie a regar (Sánchez y Escalante, 1988).

4.6.2 Sustratos

La producción de plantas y hortalizas ha tenido avances en las últimas décadas como la utilización de invernaderos, uso de macetas o contenedores, sistemas de riego, control climático, por mencionar algunos, con el objetivo de obtener productos de buena calidad y mayores rendimientos. A estos avances se suma el cultivo de las

hortalizas en materiales diferentes al suelo, identificados como sustratos (Cadahía, 2005).

Algunas razones para utilizar los sustratos son la necesidad de transportar las plantas de un lugar a otro y que permite un mejor control respecto al suministro de agua y nutrientes de los cultivos en invernadero (Abad, 2004). Según Cadahía (2005) y desde el punto de vista hortícola los sustratos tienen el objetivo de producir plantas de mayor calidad en menos tiempo y con menores costos de producción, además de que no deben provocar impactos negativos al medioambiente.

Se considera como sustrato a todo aquel material sólido distinto del suelo, ya sea de origen natural, sintético, residual, mineral u orgánico que permita el anclaje de las raíces y por tanto el desarrollo de las plantas.

Existen diferentes formas de clasificar los sustratos una de ellas es según las propiedades de los materiales: 1) Químicamente inertes por ejemplo las arenas, gravas, tezontle y perlita y 2) los químicamente activos ejemplo turbas negras y rubias, cortezas de pino y vermiculita, entre muchos otros. Es importante que los sustratos cumplan con ciertas propiedades, para ello se debe realizar su caracterización, las propiedades básicas se dividen en físicas, químicas y biológicas. Dentro de las físicas se encuentran: la porosidad total (PT), porosidad de aireación (Pai), la porosidad de retención de humedad (Prh), la curva de retención de agua que integra a los puntos como el agua fácilmente disponible (AFD), capacidad de aireación (CA), tamaños de partículas mediante una curva de granulometría y densidad aparente (Da). Dentro de las propiedades químicas se encuentran la capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE, salinidad), pH, relación carbono/nitrógeno (C/N), y dentro de las biológicas la más importante es la estabilidad o grado de descomposición del sustrato. Las propiedades físicas difieren de las químicas en que una vez que la planta se establezca estas características ya no pueden ser modificadas en comparación con las segundas (FAO, 2002, Abad, 2004; Cadahía, 2005; Pimentel, 2009).

Las características deseables de un buen sustrato dependerán del tipo de cultivo que se desea establecer, el sistema de riego y los aspectos económicos. En general para el cultivo de hortalizas en sustratos y bajo condiciones de invernadero se consideran una serie de factores como: drenaje, aireación, elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, baja densidad aparente, elevada porosidad total, baja salinidad, pH medio a bajo y constante, de lenta descomposición y preferentemente que sean inertes (FAO, 2002; Abad, 2004; Cadahía, 2005; Pimentel 2009).

4.6.2.1 Fibra de coco

Se trata de residuos agroindustriales, que se genera después de que se obtienen las fibras más largas del mesocarpio del fruto de coco. Estos desechos se han utilizado como sustrato hidropónico, la calidad de este producto varía de acuerdo con su origen por su contenido de sales (Rodríguez, 2002).

4.6.2.2 Tezontle

Es un material piroclástico procedente de la erupción volcánica, se compone por silicatos de aluminio, su forma puede ser redonda o irregular, una característica es su alta porosidad (Burés, 1997).

4.6.3 Análisis físico de sustratos

4.6.3.1 Granulometría.

La granulometría se refiere a la porción del tamaño de las partículas del sustrato, la importancia de conocer el tamaño de las partículas es debido a que estas definen a su vez el tamaño de los poros que se forman entre ellas (Burés, 1997).

Regularmente la granulometría se determina por medio de tamizado de muestras secas al aire o estufa, para ello se utiliza un juego de tamices de diferentes tamaños de malla que se ordenan según su abertura de la malla de manera decreciente, la cantidad de muestra que queda en cada tamiz se le determina su proporción.

Para representar la granulometría de los sustratos generalmente se hace mediante histogramas o curvas granulométricas acumuladas. Los histogramas representan la distribución granulométrica del material (frecuencia de las partículas que se encuentran entre la abertura de ese tamiz y el próximo de mayor abertura).

4.6.3.2 Porosidad

Se refiere al espacio poroso o vacío entre los materiales sólidos que integran los sustratos, generalmente se expresa en proporción respecto al volumen aparente del sustrato. El volumen aparente se refiere al volumen que ocupa el sustrato de manera general e incluye el material sólido y la parte porosa.

Se reportan dos tipos de porosidad la interna y la externa, la externa depende del tipo de contenedor su tamaño y forma y del acomodamiento del sustrato dentro del contenedor al igual que su tamaño y forma de las partículas. La porosidad interna depende de la naturaleza y del estado de los poros y su interconexión.

La porosidad total (EPT) se refiere a la porción de espacios vacíos y la porosidad efectiva (P_e) se refiere al espacio poroso interconectado, por tanto, es la que ayuda a la retención y movimiento del agua en el sustrato.

4.6.3.3 Densidad aparente

La densidad aparente es la relación entre el peso de las partículas y el volumen aparente que ocupan. Las unidades empleadas son Mg/m^3 o g/cm^3 .

4.6.3.4 Curva de retención de agua

La retención de agua en sustratos normalmente se determina mediante la aplicación de diferentes succiones consideradas de baja tensión, se emplean embudos de succión que contienen una membrana de vidrio porosa, interconectados a una manguera llena de agua. Las tensiones aplicadas oscilan entre 0 y 100 cm de columna de agua.

Fue en los años 70's en la Universidad de Gante (Bélgica) que Boost, Verdonck y Cappaert desarrollaron la "curva de liberación de agua para sustratos orgánicos y establecieron los límites de tensión así como la nomenclatura que hasta la fecha se sigue usando.

Agua difícilmente disponible (ADD): es el agua que es retenida en el sustrato al aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua.

Agua de reserva (AR): es el porcentaje en volumen de agua que se libera entre 50 y 100 cm columna de agua.

Agua fácilmente disponible (AFD): es el agua que se libera entre 10 y 50 cm de tensión en columna de agua sobre el sustrato, expresada en porción v/v.

Capacidad de aire (CA): es el porcentaje en volumen de agua que se libera al aplicar una tensión de 10 cm de columna de agua.

Material sólido (MS): es la porción en volumen ocupado por el material sólido.

4.6.3.5 Materia orgánica y la relación C/N

Todos los materiales utilizados como sustratos de origen orgánico están sujetos a la degradación ya sea por la acción de microorganismos, descomposición biológica o por reacciones químicas de hidrólisis. Una manera de apreciar dicha degradación es mediante la deficiencia de nitrógeno, liberación de elementos o sustancias diversas.

La relación C/N se emplea como un indicador del grado de madurez y de la estabilidad de la materia orgánica, esta relación decrece a medida que la materia orgánica se fermenta. Según Burés (1997) teniendo una relación 30/1 sería la adecuada para haber descomposición, con relaciones más bajas existiría una pérdida de nitrógeno y valores altos alarga el tiempo de descomposición.

4.7 Antecedentes sobre el cultivo de chile

Generalmente el cultivo de chile se realiza a campo abierto, sin embargo, su alta demanda puede costear los gastos para que se produzca en invernadero, este tipo de cultivo se da cuando hay un interés de investigación pues las condiciones que se desarrollen pueden ser manejables o controlables lo que no pasa a campo abierto.

A continuación, se citan algunos estudios con la finalidad de mostrar la diversidad de trabajos realizados y los diferentes resultados obtenidos, lo que nos da una muestra de que cada cultivo reacciona diferente dependiendo de las condiciones que se le proporcionen al cultivo.

Inzunza *et al.* (2010) evaluaron la extracción del nitrógeno total, fósforo y potasio (N, P, K) en el cultivo de chile jalapeño, así como la influencia en la producción de fruto, usaron 12 tratamientos, resultantes de un factorial de 2 x 6, que consistieron en dos regímenes de aplicación de riego (20-60 y 30-70%) y seis tipos de acolchado plástico (color: negro, rojo, azul, blanco, verde y sin acolchar). La mayor cantidad de N extraído ($3.5 \text{ g planta}^{-1}$) se obtuvo en plantas que tuvieron una lámina de 83 cm de agua y acolchado color negro. En el caso de P ($0.54 \text{ g planta}^{-1}$) y K (6 g planta^{-1}) se obtuvieron mayores cantidades en plantas con acolchado color rojo y con una lámina de 83 cm de agua. Los valores más bajos se obtuvieron en plantas sin acolchar y con el nivel más bajo de riego 68.5 cm. Por lo que se tiene que el incremento en la temperatura del suelo ayudo a extraer más nutrimentos y por tanto más producción de materia seca y rendimiento de fruto.

Tun en el 2008, evaluó el efecto del N, P y K y la relación con el rendimiento y la calidad del fruto de chile poblano (*Capsicum annum* L.), en este trabajo se hicieron dos experimentos 1) para evaluar el crecimiento de la planta, usando N en tres niveles como NO_3^- (6, 9, 12 me L^{-1}), H_2PO_4^- (0.5 y 1.0 me L^{-1}) y K^+ (6, 7, 8 y 9 me L^{-1}), un segundo experimento en donde se evaluaron los mismos factores en cuatro niveles NO_3^- (6, 8, 10 y 12 me L^{-1}), H_2PO_4^- (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 me L^{-1}) y K^+ (6, 7, 8 y 9 me L^{-1}), los resultados para el segundo experimento en donde se obtuvo mayor crecimiento,

producción de materia seca, concentración y acumulación foliar de nutrimentos así como producción de frutos fueron en los niveles de 10 y 12 me L⁻¹ de NO₃⁻, para el caso de P y K no se observaron diferencias o pocas en las mismas variables respuesta, en cuanto a rendimiento de fruto el mayor se obtuvo en 12 me L⁻¹ de NO₃⁻, 1.0 me L⁻¹ de H₂PO₄⁻ y 7 me L⁻¹ de K⁺.

Cruz *et al.* (2014) evaluaron el efecto del uso de sustratos en el crecimiento y rendimiento de chile serrano (*Capsicum annuum* L.). Los sustratos fueron tezontle, y tezontle con lombricompost (gabazo de cana, hueso de mango, estiércol de bovino) y se regó con solución Steiner al 25, 50 y 75%. Se determinó el contenido nutrimental en tejido, crecimiento y rendimiento de chile, realizaron dos evaluaciones una a los 40 y la otra a los 80 días después del trasplante. Los resultados mostraron que la solución al 75% incrementó el crecimiento, rendimiento de fruto y las concentraciones de N, Ca y Mg en tejido foliar; la mezcla de tezontle y lombricompost produjo mayor crecimiento de planta, y mayores concentraciones de P y Mg en tejido foliar, pero el rendimiento del fruto fue similar al obtenido únicamente en tezontle.

Alonso *et al.* (2002) trabajaron en la producción de chile jalapeño con fertirriego en función de la tensión de humedad del suelo utilizando únicamente N y K con el objetivo de determinar su efecto en el crecimiento, rendimiento y calidad del chile. Los resultados obtenidos fueron que el máximo crecimiento fue con una carga de tensión de humedad del suelo de 90 kPa a través del ciclo de cultivo, 390 kg ha⁻¹ de N y 90 kg ha⁻¹ de K; el rendimiento máximo obtenido fue de 5289.7 kg ha⁻¹ y correspondió al tratamiento con una carga de tensión de humedad del suelo de 120 kPa, 341.6 kg ha⁻¹ de N y 130 kg ha⁻¹ de K. La máxima calidad del fruto con calificación de 10 se obtuvo con una carga de tensión de humedad del suelo de 114.31 kPa, 435 kg ha⁻¹ de N y 10 kg ha⁻¹ de K.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del experimento

El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero en las instalaciones del Colegio de Postgraduados campus Montecillo, estado de México. Se ubica a una altitud de 2250 m, entre los paralelos 19° 29' N y 98° 53' O. el clima se cataloga como templado semi-seco, con temperatura media anual de 16° C. (García, 2004). La temporada de establecimiento del cultivo fue en invierno, por lo cual se colocaron dos calentadores eléctricos se programaron para que se encendieran a las 4:30 am. La temperatura mínima registrada fue de 5°C durante la noche y la máxima fue de 31°C en el día.

5.2 Material vegetal

Las semillas utilizadas en este experimento fueron nativas del poblado de la Joya perteneciente al municipio de la Misión, estado de Hidalgo.

5.3 Producción de plántula

La germinación se llevó a cabo en charolas de 200 cavidades, el medio de germinación empleado fue un sustrato a base de turba, se colocó 1 semilla por cavidad, se dio un riego a saturación y se cubrieron con un plástico negro durante una semana. Las plántulas se regaron diariamente solo con agua y después de los 30 días con solución nutritiva Steiner al 25% de su concentración, además se hicieron aplicaciones de riego con fungicidas preventivos.

5.4 Sustrato

El sustrato usado fue una mezcla de toba volcánica (tezontle rojo) y fibra de coco en una proporción 2:1 respectivamente (volumen - volumen).

Antes de hacer la mezcla se lavó la fibra de coco con el objetivo ajustar la conductividad eléctrica a un valor mínimo, sin problemas de sales.

La mezcla presentó las siguientes características físicas: el tamaño de las partículas fue mayor a 6.3 mm de diámetro, la porosidad total de 50%, la porosidad de aireación de 21% y la porosidad de retención de humedad de 29%. Según Vargas (2007) estas características favorecen un buen desarrollo de la planta y sostiene que a menor tamaño de partícula hay disminución de la capacidad de aireación y aumenta la capacidad de retención de agua, sin embargo, esta condición podría provocar la muerte de las plantas por anoxia. En cuanto a la porosidad Calderón y Cevallos (2002) mencionan que un buen sustrato es aquel que tenga de 15 a 30 % de porosidad de aireación y del 20 al 60% de retención de agua, por lo que se puede decir que la mezcla usada para este estudio cumple con estas características.

5.5 Trasplante

El trasplante se llevó a cabo a los 57 días después de la siembra cuando la planta tenía de 6 a 8 hojas verdaderas y de 15 a 20 cm de altura. El trasplante se realizó en bolsas de polietileno negro de 30*30 cm.

5.6 Solución nutritiva

La solución utilizada fue la recomendada por Steiner (1991), las concentraciones usadas fueron al 50, 75, 100 y 125 %, como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Concentraciones de nutrimentos de la solución nutritiva Steiner (1961).

Concentración	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
%	meq L ⁻¹					
50	6	0.50	3.5	4.5	2.0	3.5
75	9	0.75	5.25	6.75	3.0	5.25
100	12	1.0	7.0	9.0	4.0	7.0
125	15	1.25	8.75	11.25	5.0	8.75

A partir de esta solución se hicieron las modificaciones para los tratamientos usados en este estudio.

5.7 Preparación de las soluciones nutritivas

Se usó agua de la llave y se aciduló a un pH de 5.5 con ácido sulfúrico industrial (H_2SO_4), las fuentes usadas para hacer cada una de las mezclas fueron: nitrato de calcio ($Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$), nitrato de potasio (KNO_3), sulfato de potasio (K_2SO_4), sulfato de magnesio ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), y fosfato monopotásico (H_3PO_4), para el caso de los micronutrientes se usó una fuente ya mezclada.

Durante el ciclo de cultivo se prepararon varias veces las soluciones y cada vez se ajustaba el pH, esto con ayuda de un potenciómetro portátil.

La manera de aportar los nutrimentos a las plantas fue por medio de un sistema de riego por goteo.

5.8 Manejo del cultivo

Después de la bifurcación del tallo principal se colocaron tutores los cuales se hicieron usando hilos de rafia.

La aplicación de fungicidas preventivo se realizó cada 8 días, para el caso de plagas se aplican productos específicos según la incidencia de estas.

5.9 Diseño experimental

Se generaron cuatro tratamientos distribuidos en un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, se consideraron unidades experimentales de ocho plantas.

Los tratamientos correspondieron a los cuatro niveles de solución nutritiva empleada en los riegos (Cuadro 4).

5.10 Variables evaluadas

Se hicieron seis muestreos destructivos, en cada corte se tomaron las siguientes variables a cada planta.

- Altura de la planta (cm): se tomó la lectura desde el nudo de los cotiledones y hasta el meristemo apical más alto.
- Diámetro del tallo principal (cm): se midió en el nudo de los cotiledones.
- Área foliar: se midió con un integrador de área foliar LI-COR 3100.
- Producción de materia seca de raíz, tallo, hoja y fruto: las plantas se separaron en raíz, hojas, tallos y frutos los cuales se pesaron en fresco y posteriormente fueron deshidratados en estufas a 70°C durante 72 horas. Después se obtuvo el peso seco de cada parte de la planta y el cálculo de materia seca.
- Contenido de nutrimentos en el tejido vegetal: se molió el material vegetal en licuadoras usando mini vasos, esto fue por la cantidad de material vegetal, posteriormente se realizaron los siguientes análisis:
 - N-total, se determinó mediante el método de micro-Kjeldahli y se cuantificó por destilación del extracto y titulación manual.
 - En cuanto a P, K, Ca, Mg y S se determinaron por digestión húmeda (Alcántar y Sandoval, 1999) y se cuantificaron por medio del Programa de Intercalibración de Análisis de Suelos y Plantas (espectrofotómetro de emisión ICP-AES plasma 96 Varian).
- Una vez obtenidas las concentraciones de los nutrimentos se calculó el contenido de cada elemento en planta.
- Contenido de capsaicina: con ayuda de un cromatógrafo de líquidos de alta resolución.

5.11 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la medición de variables respuesta se procesaron con el paquete estadístico SAS. Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias mediante Tukey.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Altura de la planta, diámetro del tallo y área foliar

En este trabajo se obtuvieron plantas de mayor tamaño en comparación a lo reportado por los productores de la zona, esto se atribuye a las condiciones en las que se desarrolló el cultivo. En cuanto a la morfología de las plantas se observó una gran variabilidad entre plantas atribuible a la colecta masiva de semillas tal como lo realizan los productores (selección previa de la semilla).

En el Cuadro 5 se muestran los resultados del análisis de varianza y la comparación de medias, en él se muestra que en el diámetro no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a la aplicación de los tratamientos. Estos resultados son parecidos a los obtenidos por Martínez (2006) en donde tampoco encontró diferencias significativas teniendo diámetros entre 11 y 15 mm en un periodo de 30 ddt y hasta los 135 ddt usando cuatro concentraciones de solución nutritiva Steiner.

En relación a la altura el análisis de varianza (Cuadro 5) reporta que no hubo respuesta estadística significativa, en general, únicamente se observó que a los 54 ddt las plantas tratadas con solución al 50% obtuvieron mayor altura que las irrigadas con solución al 125%, sin embargo, para el siguiente muestreo y hasta el final del ciclo no se observan diferencias a la aplicación de los diferentes tratamientos.

Valentín (2011) realizó un trabajo con chile de agua, usó concentraciones similares a las usadas en éste trabajo, agregando únicamente una dilución más (25%), en la cual observó diferencias estadísticas; menor crecimiento en diámetro de tallo y altura. Tucuch-Haas *et al.* (2012) encontraron que sus tratamientos de suministro de N en la solución nutritiva no afectaron la altura en el cultivo de chile habanero, es decir, el nivel más bajo de suministro de nutrimentos fue suficiente.

Para el caso del desarrollo del área foliar no se tuvieron diferencias significativas en ninguno de los cortes realizados a los 40, 54, 75, 100 y 155 ddt, fue hasta los 130 ddt en donde el análisis de varianza (Cuadro 5) muestra que las plantas tratadas con la solución al 75% desarrollaron mayor área foliar en comparación con las plantas tratadas con solución al 50 y 125%. Sin embargo, cabe mencionar que fue a los 115 ddt en donde se observa mayor área foliar comparado con los otros cortes.

Cuadro 5. Respuesta de las plantas de chile rayado a la aplicación de cuatro niveles de solución nutritiva Steiner.

Solución Steiner (%)	Edad de la planta (ddt)					
	40	54	75	100	115	130
	Diámetro (mm)					
50	6.3 a	9.7 a	11.0 a	15.7 a	13.3 a	16.3 a
75	6.0 a	8.7 a	12.7 a	15.7 a	15.3 a	16.3 a
100	5.7 a	9.0 a	12.0 a	17.0 a	14.0 a	17.0 a
125	6.7 a	8.3 a	11.0 a	17.3 a	16.3 a	15.0 a
HSD	2.3	1.8	3.5	5.1	4.1	6.1
	Altura (cm)					
50	46.3 a	84.7 a	109.3 a	132.0 a	140.3 a	170.0 a
75	48.0 a	78.7 ab	126.0 a	146.3 a	124.7 a	157.0 a
100	50.3 a	74.3 bc	108.7 a	156.0 a	130.3 a	158.0 a
125	46.3 a	67.7 c	103.0 a	146.0 a	126.3 a	167.0 a
HSD	8.5	7.1	25.6	46.1	56.9	46.2
	Área foliar (cm ²)					
50	991.7 a	1688 a	5119 a	4686.7 a	4254 a	4570.3 b
75	774.7 a	1937.3 a	3896 a	5731.7 a	7567 a	6732.7 a
100	703.7 a	1917.3 a	4335 a	5023.3 a	5710 a	5322 ab
125	781.3 a	1690 a	4758 a	5073.7 a	5388 a	4257.7 b
HSD	621.2	850.7	3620.7	2382.6	3869.9	2023.9

ddt= días después del trasplante; HSD= diferencia mínima honesta significativa.

Medias con la misma letra en cada columna y variable, no son significativamente diferente.

6.2 Producción de materia seca

En el Cuadro 6 se muestra la producción de materia seca en cada órgano durante el ciclo de crecimiento de chile rayado.

La acumulación de materia seca en la raíz fue estable a lo largo del ciclo de crecimiento es decir estadísticamente no presentó diferencias significativas a la aplicación de los tratamientos, excepto a los 115 ddt que es donde se tuvo una variación de esta tendencia y se observa que las plantas tratadas con solución nutritiva Steiner al 50% presentó mayor acumulación de materia seca que las plantas tratadas con solución al 75% y al 125%.

En cuanto a la producción de materia seca en la parte aérea, el tallo incrementó levemente su peso en cada periodo y en cada tratamiento por lo que estadísticamente fueron iguales. En las hojas se pudo notar que la mayor producción de materia seca se obtuvo en plantas tratadas con solución al 50% (40, 54 y 115 ddt) luego en plantas regadas con solución al 75% en los cortes a los 75 y 100 ddt.

La acumulación de materia seca en los frutos fue menor que en la de las hojas inclusive que en la de los tallos, cabe mencionar que la mayoría de los frutos cosechados aún no tenían el tamaño comercial. Existen otras explicaciones sobre lo que pudo haber ocasionado que los frutos no acumularan mayor materia seca; si tenemos en cuenta que el comportamiento de crecimiento de las plantas es, al inicio, tener poca área foliar y por consecuencia baja actividad fotosintética, siendo las hojas y brotes los principales sumideros, este comportamiento se incrementa conforme pasan los días hasta que la planta consigue cierta madurez para que se inicie la floración y con ello la aparición de los frutos siendo ahora los principales sumideros, es aquí cuando se reduce el crecimiento vegetativo, esto ocurre cuando hay un balance adecuado entre el aporte y la demanda de asimilados, éste balance puede perderse al haber mayor demanda de asimilados o por malas condiciones de radiación solar (Peil y Galvez, 2005).

Por lo anterior se puede afirmar que la época en la que se estableció el experimento no fue la adecuada (invierno) pues se redujeron los días soleados y por lo tanto la producción de asimilados en la planta, y como resultado se obtuvo una producción tardía y de baja calidad. Esto también explica la tendencia que se observa en las gráficas de la Figura 6, aquí se observa como durante el ciclo de cultivo la raíz fue incrementando su producción de materia seca, esto es poco usual en cultivos hidropónicos ya que al tener una fuente constante de agua y nutrientes los cultivos pueden desarrollarse satisfactoriamente sin la necesidad de desarrollar mucha raíz, Mercelis y De Koning (1995) observaron que mientras menos intensidad de luz había el desarrollo de raíz era mayor.

Cuadro 6. Valores promedio de la acumulación de materia seca por órgano durante el ciclo de crecimiento de chile rayado. Cultivo en hidroponía tratados con diferentes concentraciones de la solución nutritiva Steiner.

Solución Steiner (%)	Edad de la planta (ddt ¹)					
	40	54	75	100	115	130
	Raíz (g planta ⁻¹)					
50	13.4 a	14.4 a	23.6 a	24.7 a	36.9 a	32.5 a
75	13.4 a	15.4 a	22.2 a	24.2 a	23.3 b	33.1 a
100	13.9 a	16.7 a	21.4 a	21.5 a	28.8 ab	35.9 a
125	13.7 a	16.9 a	22.3 a	23.6 a	23.8 b	34.8 a
HSD	2.2	2.7	6.7	7.1	12.0	16.1
	Tallos (g planta ⁻¹)					
50	15.7 a	19.6 a	23.3 a	27.3 a	31.5 a	31.3 a
75	17.4 a	22.5 a	25.3 a	28.2 a	29.1 a	35.8 a
100	18.4 a	23.3 a	23.0 a	27.5 a	33.3 a	33.9 a
125	16.7 a	20.6 a	23.1 a	27.4 a	36.1 a	28.6 a
HSD	4.3	4.3	4.3	4.7	8.3	11.0
	Hojas (g planta ⁻¹)					
50	31.3 a	31.2 a	23.8 a	24.8 a	28.0 a	25.1 a
75	29.1 ab	27.0 ab	25.0 a	25.8 a	24.6 b	27.0 a
100	27.3 b	24.1 b	23.0 a	26.0 a	26.6 ab	24.9 a
125	27.0 b	27.0 ab	22.8 a	25.1 a	27.0 a	27.7 a
HSD	3.7	6.5	4.0	4.6	2.2	4.6
	Frutos (g planta ⁻¹)					
50	-	-	-	19.4 a	21.7 a	20.5 a
75	-	-	-	19.7 a	19.4 c	20.8 a
100	-	-	-	20.2 a	21.4 ab	21.7 a
125	-	-	-	20.8 a	20.6 b	21.1 a
HSD				2.8	1.1	3.3

¹ ddt = días después del trasplante.

Medias con la misma letra en cada columna y variable, no presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (HSD) ($\alpha=0.05$).

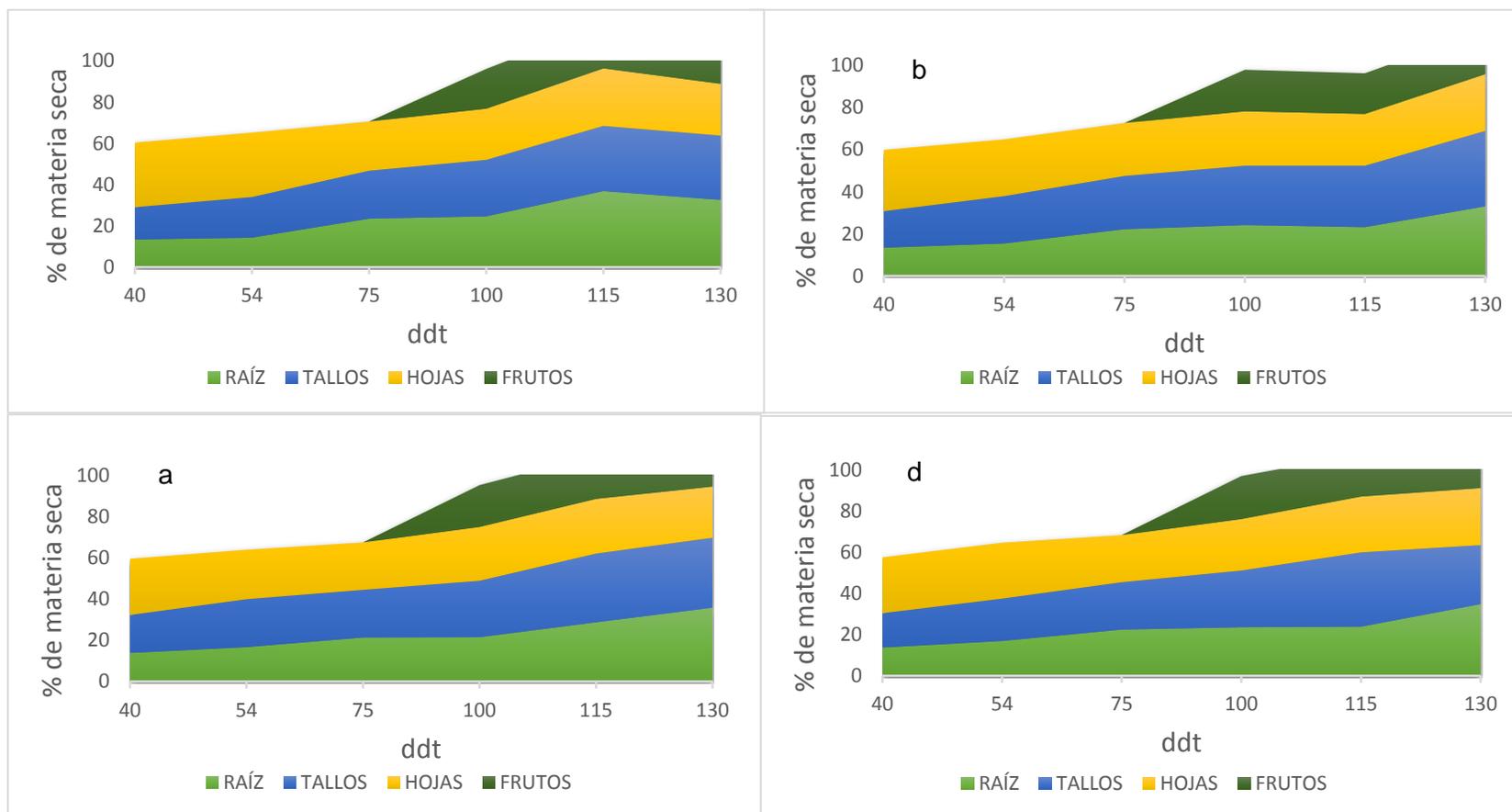


Figura 5.- a) Distribución de materia seca en raíz, tallo, hojas y frutos durante un ciclo de cultivo de chile rayado bajo invernadero, tratado con diferentes concentraciones de solución nutritiva Steiner, a) al 50%, b) al 75%, c) al 100%, d) al 125%.

6.3 Absorción de macronutrientes

Para cualquier cultivo no existe un elemento que por sí solo garantice una producción exitosa, es la interacción de diversos factores tal como las condiciones de relieve, las características del suelo o del sustrato utilizado como medio de cultivo, la dosis de fertilización, el agua disponible, el clima, entre otros, los que determinen una producción de calidad (SIAP, 2010). A continuación, se describen los resultados obtenidos en la producción de chile rayado en donde se estudió el efecto de diferentes dosis de fertilización.

Durante el ciclo de cultivo no se observaron síntomas visibles de deficiencias de los nutrimentos. La respuesta de las plantas a los tratamientos aplicados fue variable sin embargo no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

De manera general la absorción de los nutrientes se dio de la siguiente manera K^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $H_2PO_4^-$ y SO_4^{2-} de manera decreciente en este orden.

El mayor contenido de K en la parte aérea de la planta fue de 4.41 %, el de N 4.40%, el de Ca 1.32 %, el de Mg 1.14%, el de P 0.41% y para el S fue de 0.15%, la mayoría de estos resultados se encuentran dentro de los intervalos óptimos que reportan Bosland y Votava (2012), sin embargo, para el caso del Ca los valores obtenidos en este trabajo fueron menores a los establecidos por los autores y en el caso del Mg el valor se encontró por arriba del óptimo.

A continuación, se discute de manera individual el comportamiento en la absorción de cada nutriente evaluado.

6.3.1 Nitrógeno

En el Cuadro 7 se presenta el contenido de N en la parte aérea de la planta, a los 100 ddt se observa un incremento considerable en N, sin embargo, en la comparación de medias no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). A los 115 ddt se alcanzó el contenido máximo de N con 4.4% en la solución al 125%.

A los 40 ddt comenzó la floración, para este momento las plantas tratadas con solución al 100% tuvieron mayor contenido de N con 1.8%, este valor concuerda con lo registrado por Romero (2013) en su análisis de chile miahuateco (*Capsicum annum* L.) donde obtuvo un rango óptimo de 1.7 a 1.9% de N.

En la siguiente etapa, la de fructificación, a los 54 ddt el mayor contenido de N se encontró en las plantas irrigadas con solución al 125%, con un contenido foliar de 1.9%, este valor está por debajo de los valores reportados por Valentín (2011) quien informa de 2.37 a 2.75% para chile de agua en esta etapa. Sin embargo, no se observaron síntomas de que las plantas tuvieran déficit o toxicidad por este nutrimento, además de que los valores se encuentran dentro de los niveles de suficiencia que proponen Jones *et al.* (1993) que van de un rango de 1.5 a 6% de N en tejido foliar. Para el siguiente corte (inicio de la maduración de frutos) a los 76 ddt se observó una pequeña disminución en el contenido de N pasando de 1.9 a 1.6% en las plantas tratadas con solución al 125%, para este corte los valores se encontraron en un rango de 1.5 a 1.8% de N, siendo las plantas regadas con la solución al 75% las que contenían más N (1.8%).

A los 100 ddt se presentó un incremento en la cantidad de N en la parte aérea en un rango de 2.9 a 3.2%, este último en las plantas tratadas con solución al 75%.

Los valores más altos en el contenido de N se registraron a los 115 ddt, para este corte si hubo diferencia significativa, siendo las plantas regadas con solución al 125% las que presentaron más N (4.4%), en los tratamientos de 50 y 75% se registró un contenido de 3.3% en ambas concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva, respectivamente. Las plantas regadas con solución con 100% contenían 4.0% de N. Estos valores se encuentran dentro del óptimo nutrimental sugerido por Cadahía (2005) en pimiento (3.0 a 6%), y Arcos *et al.* (1998) en chile jalapeño reportan un rango de 3.15 a 5% de N.

Para el último corte a los 130 ddt nuevamente hay una disminución en el contenido de N en las plantas de los tratamientos del 50, 100 y 125% y se observó un aumento en las plantas regadas con solución al 75%.

Cuadro 7. Comparación de medias del contenido de nitrógeno (N) en planta durante el ciclo de cultivo de chile rayado tratadas con cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, México, 2015.

Solución Steiner (%)	Edad de la planta ddt *					
	40	54	75	100	115	130
	Contenido de nitrógeno en parte aérea (%)					
50	1.6 a	1.7 a	1.5 a	3.0 a	3.3 b	3.2 a
75	1.6 a	1.6 a	1.8 a	3.2 a	3.3 b	3.8 a
100	1.8 a	1.6 a	1.6 a	3.1 a	4.0 ab	3.5 a
125	1.4 a	1.9 a	1.5 a	2.9 a	4.4 a	3.2 a
HSD	0.73	0.6	0.87	0.87	1.03	1.33

Letras diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey, $\alpha=0.05$). *ddt= días después del trasplante.

6.3.2 Fósforo

El contenido de fósforo (P) tuvo un comportamiento similar a la del N durante el ciclo de cultivo. Presenta una marcada etapa en la que el P incrementó, dos etapas hubo diferencia significativa ($\alpha \leq 0.05$), es decir, hubo efecto de los tratamientos.

En la etapa de floración el P osciló de 0.17 a 0.22%, siendo las plantas regadas con solución al 50% las que tuvieron mayor contenido de P (0.22%), las plantas tratadas con solución al 125% tuvieron menor contenido de P (0.17%).

A los 54 ddt en los inicios de la fructificación hubo diferencia significativa, las plantas tratadas con solución al 125% tuvieron 0.18% de P comparadas con las de los tratamientos al 50 y 100% de su concentración en donde las plantas contenían el 0.10% de P.

A los 75 ddt no hubo diferencia significativa, el P en las plantas estuvo en un rango de 0.11 a 0.14% de P, el mayor contenido se tuvo en plantas tratadas con solución al 125% siguiendo las plantas de 100% y finalmente las plantas de las soluciones del 50 y 75%.

En el primer muestreo ya con fruto no hubo diferencia significativa entre los tratamientos, los valores oscilaron entre 0.30 y 0.38% de P, en el segundo corte fue donde se registró una diferencia marcada para las plantas regadas con solución al 125%, éstas tuvieron 0.41% de P mientras que las regadas con solución al 100% registraron el contenido más baja (0.28% de P).

Para el último corte de igual manera no se registraron diferencias significativas con valores entre 0.29 y 0.35% de P, como se muestra en el Cuadro 8.

En estos últimos tres cortes se registraron los niveles más altos de P, esto se atribuye a que este elemento se mueve rápidamente de los tejidos; de los viejos a los jóvenes, además, de ser vital en la formación de semillas y está directamente involucrado en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transporte de energía (INPOFOS, 1997).

Todas estas cantidades están dentro de los niveles óptimos según Bennett (1993), éste autor indica que los niveles de suficiencia de P para los cultivos en general van de 0.2 a 0.5%, mientras que Arcos *et al.* (1998) reportan que los niveles óptimos de P en chile jalapeño van de 0.36 a 1.0%, por lo que los valores encontrados en este trabajo dirían que hubo déficit de este elemento. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que cada planta reacciona de diferente manera a pesar de que se trate de la misma variedad.

Cuadro 8. Comparación de medias del contenido de fósforo (P) en planta durante el ciclo de cultivo de chile rayado tratadas con cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, México, 2015.

Solución Steiner (%)	Edad de la planta ddt*					
	40	54	75	100	115	130
	Contenido de fosforo en parte aérea (%)					
50	0.22 a	0.13 ab	0.11 a	0.32 a	0.30 b	0.30 a
75	0.19 a	0.10 b	0.11 a	0.31 a	0.31 b	0.35 a
100	0.21 a	0.10 b	0.13 a	0.30 a	0.28 b	0.29 a
125	0.17 a	0.18 a	0.14 a	0.38 a	0.41 a	0.29 a
HSD	0.08	0.05	0.05	0.11	0.09	0.10

Letras diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey, $\alpha=0.05$). * ddt= días después del trasplante.

6.3.3 Potasio

Arcos *et al.* (1998) proponen que los niveles de suficiencia para potasio (K) en plantas de chile jalapeño van de 4.01 a 6.0% este valor coincide con lo que proponen Jones *et al.* (1993). Los valores obtenidos en este estudio van de 1.68 a 2.56% hasta los 75 ddt (inicios de la maduración del fruto), los cuales están por debajo de los citados anteriormente, pero están dentro de los niveles de suficiencia recomendados por Bennett (1993), dicha recomendación es, en general, para plantas que van de 1.0 a 5.0% de K. A partir de los 100 ddt y hasta los 130 ddt el contenido de K va de 3.11 a 4.41% valores dentro de los niveles de suficiencia.

A partir de los 75 ddt hubo diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) siendo las plantas tratadas con solución al 50% las que contenían menos K (1.93%) en comparación de las regadas con solución al 100% que tuvieron el 2.56% (Cuadro 9).

A los 100 ddt las plantas irrigadas con solución al 75% presentaron mayor contenido de K (4.08%) y las regadas con solución al 50% sólo alcanzaron el 3.15%.

En el segundo corte de planta con frutos se observaron diferencias marcadas con valores desde los 3.11% correspondientes a las plantas tratadas con solución al 50%, seguidas de las regadas con solución al 100 y al 75%, finalmente las plantas que tuvieron mayor contenido de K fueron las regadas con solución al 125% con 4.41%. Para el último corte a los 130 ddt el mayor contenido de K se registró en plantas tratadas con solución al 75% (4.06%).

El hecho de encontrar más K a partir de los 75 ddt se puede atribuir a que este elemento en comparación al N y al P no forma compuestos, su función está relacionada principalmente con muchos procesos metabólicos, además de que es fundamental en la formación de frutos, otra utilidad importante es la apertura y cierre de estomas, dicho proceso es importante para tener un buen desarrollo de las plantas y de los frutos.

La época en la que se desarrolló el experimento fue otoño e invierno y la aplicación de K puede incrementar la resistencia al frío tal como lo demuestra un estudio reportado en el Manual Internacional de Fertilidad de Suelo realizado en China en colza (*Brassica napus*), aplicaron 0, 75, 225 y 450 kg ha⁻¹ de K₂O, como resultado obtuvieron el porcentaje de plantas dañadas a causa del frío de la siguiente manera 61.7, 35, 19 y 7.5% respectivamente.

Cuadro 9. Comparación de medias del contenido de potasio (K) en planta durante el ciclo de cultivo de chile rayado tratadas con cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, México, 2015.

Solución Steiner (%)	Edad de la planta ddt *					
	40	54	75	100	115	130
	Contenido de potasio en parte aérea (%)					
50	2.99 a	2.03 a	1.93 a	3.15 b	3.11 c	3.50 ab
75	1.99 a	2.11 a	2.22 ab	4.08 a	3.80 b	4.06 a
100	1.77 a	1.98 a	2.56 a	3.68 ab	3.75 b	3.46 b
125	1.68 a	1.87 a	2.31 ab	3.67 ab	4.41 a	3.31 b
HSD	2.26	0.52	0.55	0.60	0.57	0.58

Letras diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey, $\alpha=0.05$). *ddt= días después del trasplante

6.3.4 Calcio

Según Bennett (1993) los rangos de suficiencia para calcio (Ca) van de 0.1 a 1.0 para plantas, por su parte Bosland y Votava (2012) indican que va de 1.5 a 3.5%. Y en chile jalapeño híbrido Arcos *et al.* (1998) señalan un rango de 2.01 a 4.0%.

En este estudio se obtuvieron valores desde 0.27% en los primeros 40 ddt, hasta 1.32% a los 115 ddt. Hubo diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) al inicio del ciclo y hasta la maduración del fruto (Cuadro 10).

A los 40 ddt (inicio de la floración) el contenido de Ca fue menor en las plantas tratadas con solución al 100% (0.27%) en comparación a las que se regaron con solución al 50% (0.50%).

El valor más alto se encontró a los 115 ddt (maduración de fruto) en las plantas tratadas con solución al 125% de su concentración (1.32%). Este comportamiento no es parecido al que se obtuvo en el trabajo de Valentín (2011) para chile de agua, ella reporta mayores contenidos de Ca al inicio del ciclo (0.34 a 0.82%). Por otra parte, Leyva (2016) informan de valores más altos al inicio de la fructificación y maduración del fruto (3.93% y 3.64%).

Al final del ciclo no hubo diferencias estadísticas, pero si se observa que los valores van decreciendo comparados con los del muestreo anterior.

Cuadro 10. Comparación de medias del contenido de calcio (Ca) en planta durante el ciclo de cultivo de chile rayado tratadas con cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, México, 2015.

Solución Steiner (%)	Edad de la planta ddt *					
	40	54	75	100	115	130
	Contenido de calcio en parte aérea (%)					
50	0.50 a	0.58 a	0.60 a	0.86 a	1.08 ab	1.02 a
75	0.42 ab	0.45 b	0.52 ab	0.88 a	0.89 b	1.28 a
100	0.27 b	0.42 b	0.51 ab	0.79 a	1.13 ab	1.01 a
125	0.41 ab	0.28 c	0.38 b	0.76 a	1.32 a	0.87 a
HSD	0.17	0.1	0.15	0.26	0.33	0.52

Letras diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey, $\alpha=0.05$). *ddt= días después del trasplante.

6.3.5 Magnesio y Azufre

El magnesio (Mg) en este estudio varió de 0.29 a 1.14% a lo largo del ciclo. Según Jones *et al.* (1993) los valores de suficiencia van de 0.30 a 1.0% en la mayoría de los cultivos, lo cual coincide con lo que recomienda Bennett (1993): 0.1 a 0.4% para cultivos en general, para el caso específico de chile jalapeño Arcos *et al.* (1998) reportan que el contenido de Mg va de 0.31 a 1.0%.

Al inicio de la floración los valores fueron de 0.29 a 0.45% y a pesar de que no hubo diferencias significativas el mayor contenido se obtuvo en plantas que se regaron con solución al 50% de su concentración comparadas con las regadas al 100% (Cuadro 11).

En el siguiente corte el menor contenido de Mg se registró en las plantas irrigadas con solución al 125% y el mayor contenido en las plantas regadas con solución al 50%, con 0.34% y 0.48% respectivamente.

A los 75, 100 y 130 ddt el contenido de Mg se encontró en plantas tratadas con solución al 75%. Para los 115 ddt estadísticamente si hubo diferencias significativas con 1.14% en las plantas tratadas con solución al 100% y el más bajo en plantas tratadas con solución al 75% con 0.79%, en este corte se registraron los mayores contenidos de Mg.

El contenido de Azufre (S) se reporta poco, debido a que es requerido en bajas concentraciones. Sin embargo, es fundamental para el desarrollo de las plantas.

En el Cuadro 1 que se encuentra en el apartado la nutrición en las plantas citado en este trabajo (Intervalos óptimos y concentración en hojas de macronutrientes en el cultivo de chile) los únicos autores que reportan el requerimiento de S son Bennett (1993) y Boslan y Votava (2012). El primero sugiere un intervalo entre 0.1 y 0.3% para cultivos en general, en tanto que los segundos autores dan una cifra de 0.37% para el cultivo de pimienta.

En esta investigación el contenido de S osciló de 0.05 a 0.14%, estos valores caen dentro del intervalo que Alcántar *et al.* (2013) señalan para este elemento (0.04 a 0.4%). No hubo efecto de los tratamientos. El mayor contenido se encontró en los dos últimos cortes: 115 y 130 ddt con hasta 0.15%, correspondiente a las plantas que se regaron con solución al 125% (Cuadro 12)

Cuadro 11. Comparación de medias del contenido de magnesio (Mg) en planta durante el ciclo de cultivo de chile rayado tratadas con cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, México, 2015.

Solución Steiner (%)	Edad de la planta ddt *					
	40	54	75	100	115	130
	Contenido de magnesio en parte aérea (%)					
50	0.45 a	0.48 a	0.48 a	0.74 a	1.04 ab	0.84 a
75	0.37 a	0.43 a	0.52 a	0.91 a	0.79 b	1.00 a
100	0.29 a	0.44 a	0.49 a	0.72 a	1.14 a	0.71 a
125	0.38 a	0.34 a	0.49 a	0.68 a	1.02 ab	0.68 a
HSD	0.16	0.12	0.25	0.33	0.28	0.40

Letras diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey, $\alpha=0.05$). *ddt= días después del trasplante.

Cuadro 12. Comparación de medias del contenido de azufre (S) en planta durante el ciclo de cultivo de chile rayado tratadas con cuatro concentraciones de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, México, 2015.

Solución Steiner (%)	Edad de la planta ddt *					
	40	54	75	100	115	130
Contenido de azufre en parte aérea (%)						
50	0.05 a	0.06 a	0.06 a	0.09 a	0.12 a	0.12 a
75	0.05 a	0.06 a	0.06 a	0.08 a	0.12 a	0.14 a
100	0.05 a	0.05 a	0.05 a	0.08 a	0.14 a	0.13 a
125	0.05 a	0.05 a	0.06 a	0.08 a	0.15 a	0.11 a
HSD	0.02	0.01	0.02	0.04	0.04	0.05

Letras diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey, $\alpha=0.05$). * ddt= días después del trasplante.

6.4 Contenido de capsaicinoides

En la cromatografía se pudo identificar los picos de absorción de capsaicina y dihidrocapsaicina a muy corto tiempo en comparación con el trabajo de Moran *et al.* (2008) quienes encontraron los picos en un promedio de 1.74 a 2.16 min, en este estudio el tiempo fue de 0.9 a 1.15 min promedio.

En todos los casos fue mayor el contenido de capsaicina que de dihidrocapsaicina, en el Cuadro 13 se presentan las medias obtenidas del análisis de varianza de la suma de ambos capsaicinoides, en el cual se observa que no hay diferencia significativa, sin embargo, en los dos primeros cortes los frutos que se obtuvieron de plantas regadas con solución al 50% de su concentración tuvieron mayor cantidad de capsaicinoides comparadas con las de la solución al 75%.

El grado de picor varió de 18,735 SHU hasta los 83,145 SHU, lo cual supera el rango donde se encuentra el picor del chile jalapeño, es probable que haya una alteración en el contenido de estos alcaloides ya que según Zawdie y Bosland (2000) las condiciones climáticas y los medios de cultivo influyen en el contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina en chile. Con base a la escala de picor Scoville (López, 2003) la mayoría de las muestras se encontraron dentro de los niveles que

se les atribuyen a los chiles tabasco y manzano (30,000 a 60,000 SHU) de 33,315 a 53,430 SHU, algunos superaron este nivel colocándose en la escala del chile piquín 50,000 100,000 SHU.

Cuadro 13. Contenido de capsaicinoides en frutos de chile rayado por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner.

Solución Steiner (%)	ddt ¹					
	100		115		130	
	Capsaicinoides*	SHU**	Capsaicinoides	SHU	Capsaicinoides	SHU
50	2.45 ± 0.78 a	36 720	5.09 ± 1.48 a	76 365	4.39 ± 2.47 a	65 895
75	1.25 ± 1.33 a	18 735	2.30 ± 2.0 a	34 470	5.54 ± 0.58 a	83 145
100	2.22 ± 2.13 a	33 315	2.98 ± 2.61 a	44 685	1.81 ± 1.08 a	27 210
125	1.49 ± 1.03 a	22 335	2.56 ± 2.15 a	53 430	2.99 ± 2.46 a	44 865

Letras diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey, $\alpha=0.05$).

¹Días después del trasplante *Concentración de capsaicinoides expresada en mg g⁻¹ de chile.

**SHU Scoville Heat Units (1mg de capsaicinoides = 15 000 SHU).

VII. CONCLUSIONES

En general, la aplicación de diferentes concentraciones de la solución nutritiva Steiner no influyó en cuanto a las variables morfológicas ni en el contenido nutrimental de las plantas de chile rayado, por lo cual se podría decirse que la solución al 50% fue suficiente para que la planta desarrolladora bien.

En cuanto a la determinación de capsaicina se sugiere realizar más ensayos, puesto que los valores obtenidos en este trabajo superaron los rangos en los que se encuentra el chile jalapeño, y esto puede ser debido a que las condiciones del cultivo fueron mejores de las que tiene en campo, además de tratarse de una cultivar criollo.

Es recomendable realizar más estudios sobre este tipo de chile puesto que para la región donde se obtuvo la semilla no hay información y tampoco hacen selección de semilla. En este estudio las plantas presentaron alta diversidad morfológica. Además, se recomienda extender el periodo del cultivo o realizar el estudio en otra época pues las bajas temperaturas retardaron el desarrollo de los frutos.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Abad M., P. Noguera y C. Carrión (2004)** Los sustratos en los cultivos sin suelo. *In: Urrestarazu G. M. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª (Ed.). Mundi-Prensa, Madrid. 113-158 pp.*
- Aguilar R. V. H (2012)** Cultivo del chile en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 354: 264-264.
- Aguilar R. V. H., T. Corona T., P. López L., L. Latournerie M., M. Ramírez M., H. Villalón M. y J. A. Aguilar C (2010)** Los Chiles de México y su Distribución. SINAREFI. Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Alcántar G. G., y M. Sandoval V (1999)** Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial No. 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. 156 p.
- Alcántar G. G., y L. I. Trejo-Téllez (2013)** Nutrición de Cultivos. Biblioteca Básica de Agricultura. 472 p.
- Alonso B. M., L. Tijerina C., P. Sánchez G., L. A. Aceves N., A. J. Escalante E. y A. Martínez G (2002)** Producción de chile jalapeño con fertirriego como función de la tensión de humedad del suelo, nutrición nitrogenada y potásica. *Terra Latinoamericana* 20:209-215
- Arcos C. G., J. Hernández H., D. Uriza A., C. Pozo., y A. Olivera (1998)** Tecnología para producir chile jalapeño en la planicie costera del golfo de México. INIFAP. Folleto técnico 24. Veracruz, México. 206 p.
- Bello U. M. A & Pino Q. M. T (2000)** Metodologías de fertirrigación. Boletín # 19. Punta Arena, Chile. 21 p.
- Bennett W.F (1993)** Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop Plants. 1st Edition. APS Press. Minnesota. USA: 1-7.
- Bosland W. P. and E. Votava J (2012)** Peppers: Vegetable and Spice Capsicums. Crop Production Science in Horticulture. 243 p.
- Burés S (1997)** Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 342 p.
- Cadahía L. C (2005)** Fertirrigación, Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales. Mundi-Prensa, México, D. F. 681 p.
- Calderón S. F. y F. Cevallos (2002)** Los sustratos. http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm. (Abril 2017).

- Carrasco G., P. Ramírez. Y V. Hermine (2007)** Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT. *IDESIA*. Chile. 25:59-62, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292007000200007>.
- Cedron J. C (2013)** La capsaicina. *Revista de Química PUCP* 27:7-8. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/viewFile/7590/7835>.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad** Biodiversidad Mexicana de Chile. <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/alimentacion/chile.html> (marzo 2016).
- COVECA, Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (2011)** Monografía del Chile.
- Cruz-Pérez A. B., V. A. González-Hernández., R. M. Soto-Hernández., M. A. Gutiérrez-Espinosa., A. A. Gardea-Béjar., y M. Pérez-Grajales (2007)** Capsaicinoides, vitamina C y heterosis durante el desarrollo del fruto de Chile manzano. *Agrociencia* 41: 627-635.
- Cruz-Crespo E., A. Can-Chulim., R. Bugarín-Montoya., J. Pineda-Pineda., R. Flores-Canales., P. Juárez-López., y G. Alejo-Santiago (2014)** Concentración nutrimental foliar y crecimiento de Chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:289-295.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2002)** El cultivo protegido en clima Mediterráneo. Roma, Italia. 320 p.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2017)**. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (abril 2017).
- García E (2004)** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México. Instituto de Geografía-UNAM. 90 p.
- INPOFOS, Instituto de la Potasa y el Fósforo (1997)** Manual Internacional de Fertilidad de Suelo, 194 p.
- Inzunza-Ibarra M. A., M. Villa-Castorena., E. A. Catalán-Valencia., y A. Román-López (2010)** Extracción de nutrientes y producción de Chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego. *Terra Latinoamericana* 28: 211-218.
- Jones J. B., B. Wolf. and H. Mills (1993)** Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing, Georgia. 422 p.

- López R. G. O (2003)** Chilli: La especia del nuevo mundo. *Ciencias* 69: 66-75.
- Lujan F. M., G. F. Acosta R., F. J. Quiñones P., H. R. Uribe M., M. Berzoza M., J. L. Aldaba M...y N. Chávez S (2014)** Chile jalapeño. INIFAP. Delicias, Chihuahua, México. 21 p.
- Lujan F. M. y N. Chávez S (2003)** El arreglo topológico y su efecto en el crecimiento, desarrollo y producción del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 26:81-87 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61026202>.
- Leyva V. A. R (2016)** Caracterización morfológica, análisis de crecimiento y extracción nutrimental de chile boltet (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Maestría. Chapingo, Estado de México.
- Marcelis L. F.M. and N. M. De Koning A (1995)** Biomass partitioning in plants. Crop growth. *In: Greenhouse Climate Control: An Integrated Approach*. Bakker J.C., G.P.A. Bot., H. Challa and N. J. Van de Braak (eds.) Wageningen: Wageningen Pers. 296 p.
- Martínez A. N (2006)** Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental de chile poblano (*Capsicum annuum* L. var. Grossum sendt). En cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de maestría, Chapingo, Texcoco, Edo. de México, México. 90 p.
- Morán-Bañuelos S. H., V. H. Aguilar-Rincón., T. Corona-Torres., F. Castillo-González., R. M. Soto-Hernández., y R. San Miguel-Chávez (2008)** Capsaicinoides en chiles nativos de Puebla, México. *Agrociencia*. 42: 807-816.
- Navarro S. B., y G. Navarro G (2003)** Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Madrid, España: Mundi-Prensa. 508 p.
- Norma Mexicana. NMX-F-389-1982. Alimentos. Especies y condimentos. Determinación de capsaicina en Capsicum.** <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-389-1982> (marzo, 2016).
- Nuez V. F., O. R. Gil, y G. J. Costa (2003)** Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes. Mundi-Prensa. Barcelona, España. 611 p.
- Pimentel B. L (2009)** Producción de Árboles y Arbustos de Uso Múltiple. México: Mundi-Prensa. México, D. F. 264 p.

- Peil M. R. y J. Gálvez L (2005)** Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Agrociencia* 11:5-11.
- Quintal W. C., A. Pérez-Gutiérrez., L. Latournerie M., C. May-Lara., E. Ruiz S., A. J. Martínez C (2012)** Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35:155-160.
- Restrepo G. M (2006)** Oleorresinas de capsicum en la industria alimentaria. *Revista Lasallista de Investigación* 3:43-47.
- Rodríguez de la R. S (2002)** Hidroponía: Agricultura y Bienestar. Universidad Autónoma de Chihuahua textos universitarios.
- Salazar-Olivo L. A., y C. O. Silva-Ortega (2004)** Efectos farmacológicos de la capsaicina, el principio pungente del chile. *Biología Scripta* 1: 7-14.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (2012)** México, principal exportador de chile verde. <http://www.siap.gob.mx/produccion-chile-verde/> (abril 2015).
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (2012)** Boletín de prensa. Es México potencia en producción y exportación de hortalizas; Reto: Diversificar oferta y mercados. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/jalisco/boletines/Paginas/B0322012.aspx#> (abril 2015).
- Sánchez C. F., y E. R. Escalante R (1988)** Hidroponía: un sistema de producción de plantas (Principios y Métodos de Cultivo). (3a ed.). PAT-UACH. Universidad Autónoma Chapingo, México. 194 p.
- Sancho, V. H. (1999)** Curvas de absorción de nutrientes: importancia y uso en los programas de fertilización. *Informaciones agronómicas No. 36*. San José, Costa Rica. Pp 11-13.
- SIAP, Servicio de información agroalimentaria y pesquera (2010)** Un panorama del cultivo de chile: Monografía del chile. <http://infosiap.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/100705-monografia-chile.pdf> (marzo 2016).
- SIAP, Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (2014)** Anuario Estadístico de la producción agrícola. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (marzo 2016).

- Steiner A. A (1961)** A universal method for preparing nutrient solution of a certain desired composition. *Plant and Soil*. 15: 134-154.
- Tucuch-Haas C. J., G. Alcántar-González., V. M. Ordaz-Chaparro., J. A. Santizo-Rincón, y A. Larqué-Saavedra (2012)** Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana* 20:9-15.
- Tun D. J. de la C (2008)** Requerimientos nutricionales de chile poblano (*Capsicum annuum* L.) y su relación con el rendimiento y la calidad del fruto. Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo, de México, México. 138 p.
- Valentín M. M. C (2011)** Crecimiento y extracción de macronutrientes del chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. De México, 92 p.
- Vargas T. P (2007)** Caracterización física, química, y biológica de polvo de fibra de coco y tezontle como sustratos. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. 93 p.
- Vázquez-Flota F., M. de L. Miranda-Ham., M. Monforte-González., G. Gutiérrez-Carbajal., C. Velázquez-García., y Y. Nieto-Pelayo (2007)** La biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. *Revista Fitotecnia Mexicana* 304: 353-360.
- Yáñez R. J. N (2002)** Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila. 22 p.
- Yáñez P., D. Balseca., L. Rivadeneira y C. Larenas (2015)** Características morfológicas y de concentración de capsaicina en cinco especies nativas del género *Capsicum* cultivadas en Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida* 222: 12-32.
- Zawdie Y., and P. W. Bosland (2000)** Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annuum* L. *Euphytica*. 111: 185-190.