



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

EFFECTO DE DIFERENTES RELACIONES  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  Y TAMAÑOS DE  
PARTÍCULAS DE SUSTRATO SOBRE PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE  
CHILE HABANERO

CESAR JACIER TUCUCH HAAS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

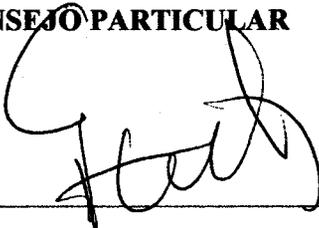
2011

La presente tesis titulada: “Efecto de diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  y tamaños de partículas de sustrato sobre producción y calidad de chile habanero” realizada por el alumno: Cesar Jacier Tucuch Haas, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

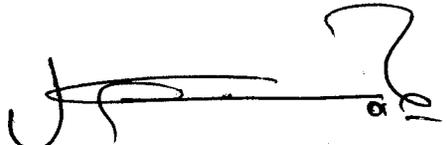
**MAESTRO EN CIENCIAS**  
**POSTGRADO DE EDAFOLOGIA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO: \_\_\_\_\_

  
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALES

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
DR. VICTOR MANUEL ORDAZ CHAPARRO

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
DR. ALFONSO LARQUE SAAVEDRA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio del 2011.

# **EFECTO DE DIFERENTES RELACIONES $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ Y TAMAÑOS DE PARTÍCULAS DE SUSTRATO SOBRE PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE CHILE HABANERO**

**Cesar Jacier Tucuch Haas, M. C.**

## **RESUMEN**

**Colegio de Postgraduados, 2001**

En México, el chile habanero (*Capsicum chinense* J.) es ampliamente consumido especialmente en los estados de Yucatán, Quintana Roo, Campeche y Tabasco. Su cultivo en el estado de Yucatán ocupa uno de los primeros lugares de importancia en cuanto a la producción de hortalizas, se ubica en segundo lugar después del tomate. En los sistemas hidropónicos la solución nutritiva y el sustrato juegan un papel importante en el desarrollo de las plantas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar y determinar la mejor relación amonio/nitrato y granulometría del sustrato para incrementar el rendimiento y calidad del fruto en plantas de chile habanero. La investigación se realizó en los invernaderos del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, México. Como sustrato se utilizó una mezcla de tezontle (75%) y fibra de coco (25%) con cuatro diferentes tamaños de partículas (3-5, 5-10, 10-20 mm de diámetro de tezontle y una sin cribar) y cuatro diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  (0/100,10/90,20/80,30/70). El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con un factorial  $4^2$ . El mejor resultado se observó en el tezontle con granulometría de 10-20 mm de diámetro en combinación con una relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  de 10/90 % respectivamente, en la que se obtuvo un rendimiento de  $302.1 \text{ g planta}^{-1}$  y la combinación tezontle sin cribar y relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  de 0/100 %, mostro el resultado más bajo con  $76.5 \text{ g planta}^{-1}$ , en tres cortes. En cuanto a la concentración de capsaicina en el fruto la relación 0/100 fue la que presentó el mayor valor.

**Palabras claves:** Chile habanero, amonio/nitrato, sustrato, hidroponía.

# **NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> RATIOS EFFECT AND SUSTRATE PARTICLE SIZE ON PRODUCTION AND QUALITY OF HABANERO PEPPER**

**Cesar Jacier Tucuch Haas, M. C.**

## **SUMMARY**

**Colegio de postgraduados 2011**

In Mexico, habanero pepper is widely consumed especially in the States of Yucatan, Quintana Roo, Campeche and Tabasco. Its cultivation in the State of Yucatan is one of the first places of importance among of vegetables; it stands in second place after tomato. In the hydroponic systems, the nutrient solution and substrate play an important role in plant development. The aim of this study was to evaluate and determine which is best ammonium/nitrate ratio and particle size substrate to increase the yield and quality of the fruit of the habanero pepper. The research was conducted on the greenhouse facilities of Colegio de Postgraduados located at Montecillo, Mexico. As substrate we used a mixture of tezontle (75%) and coir (25%) with four different particle sizes (3-5, 5-10, 10-20 mm diameter of tezontle and an additional level of tezontle without screening) and four relationships NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0/100, 10/90, 20/80 and 30/70). The experimental design utilized was the completely randomized a 4<sup>2</sup> factorial. The higher yield was found for tezontle with particle size of 10-20 mm in combination with a NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ratio of 10/90 % respectively, in which yield was 302.1 g plant<sup>-1</sup> for three harvest events. The combination of tezontle without screening and 100/0 ratio showed the lowest yield; 76.5 g plant<sup>-1</sup>. Regarding the concentration of capsaicin in the fruit, the 0/100 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> / NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ratio presented the highest value.

**Keywords:** Habanero pepper, ammonium/nitrate, substrate, hydroponics.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme vida, salud y permitirme escalar un peldaño más en la vida para crecer profesionalmente y como persona.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por proporcionarme los medios económicos para realizar los estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados (COLPOS) por abrirme sus puertas, acogerme en sus instalaciones durante los dos años de mi formación académica y por los conocimientos adquiridos.

A mi consejero Dr. Gabriel Alcántar González, por sus valiosas sugerencias durante mi formación académica en la maestría, por sus buenos consejos durante la realización del trabajo en campo y sobre todo por su amistad y apoyo incondicional.

A mi asesor Dr. Víctor Manuel Ordaz Chaparro, por sus observaciones y aportaciones al trabajo de campo y laboratorio, así también en la revisión de la tesis, pero sobre todo por sus consejos y amistad que me brindo durante mi estancia en esta institución.

Al Dr. José Antonio Santizo Rincón† q. e. p. d. por su sugerencia y consejos en la realización de los diseños experimentales en el trabajo de campo.

Al Dr. Alfonso Larqué Saavedra, por su amistad y apoyo incondicional que me brinda, así como su valiosa sugerencia para realizar mis estudios de maestría y por sus aportaciones y correcciones de este documento.

A todos los doctores que formaron parte de mi formación académica, Antonio Trinidad Santos, Roberto Quintero Lizaola, Galvis Espinola, José Luis García Cue, José Antonio Santizo Rincón, Víctor Manuel Ordaz Chaparro y en especial a los del Área de Nutrición Vegetal, Manuel Sandoval Villa, Prometeo Sánchez García, María De las Nieves y Libia Trejo Téllez.

A todo el personal del posgrado en edafología, administrativos, laboratoristas, encargados de invernaderos, etc. por las facilidades brindadas, en especial a la secretaria Laura por su amistad y confianza y además de que siempre está al pendiente de los documentos de los alumnos.

A mi hermano Jorge Ismael Tucuch Haas, por su apoyo y amistad para seguir superándome, sobre todo por sus valiosos consejos y la paciencia que supo tenerme.

A mis amigos y compañeros del área de nutrición: Daniel Gallegos Cossío, Jorge Gil Valenzuela, Humberto Ramírez Gómez, Ramiro Maldonado, Araceli Gastelum Osorio, Rocío Aguilar Ramírez, Anel Jhanet, por su apoyo y amistad que me brindaron, y en especial a Laura

Yolanda Rivera Olivares, por su amistad, consejos y apoyo incondicional durante toda mi estancia en el colegio y mas durante el trabajo de campo.

A mis amigos y compañeros de todo el colegio. Alba Priscilia Suaste Dzul, Marlen Rojo Martínez, Erika Villagómez Miranda, Orlando Pérez Martin, Raúl Villa, Eliodoro, Sandra, Mario Rocandio, Yolanda y Chávez.

A todo el personal que labora en el colegio que en algún momento de alguna u otra manera interactuaron conmigo.

A todas las personas que me faltaron y que de alguna forma participaron y colaboraron conmigo en esta epata de mi vida.

## **DEDICATORIAS**

A MIS PADRES:

**MARÍA ESTELA HAAS COLLI.**

**Y**

**JOSE GUADALUPE C. TUCUCH ALVARADO.**

Por darme lo más valioso que tengo que es la vida, por sus apoyos y consejos tan valiosos para no desistir en esos momentos tan difíciles y de desesperación, además por guiarme en esta vida por el camino del bien y por ayudarme a superar obstáculos y alcanzar las metas que me he propuesto en esta vida. Con mucho amor.

AMIS HERMANOS:

**JORGE ISMAEL**

**ALEJANDRO DEL CARMEN**

**JOSÉ GUADALUPE**

**JULIO ESTEBAN**

Por el apoyo incondicional que me han dado en los momentos difíciles de la vida y para alcanzar las metas que me he propuesto, por los buenos momentos que compartimos juntos y también por los malos que supimos superar. Con mucho cariño para todos ustedes.

También dedico este trabajo a mis sobrinas **Estefany, Anai y Deily**, que son el futuro de la familia.

Y a todas las personas que influyeron en mí para terminar una etapa más en mi vida.

# CONTENIDO

CONTENIDO	Página
RESUMEN.....	iii
SUMMARY .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
DEDICATORIAS .....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. El cultivo del chile habanero.....	3
2.1.1. Origen y distribución.....	3
2.1.2. Clasificación taxonómica .....	4
2.1.3. Generalidades.....	4
2.1.3.1. Planta.....	4
2.1.3.2. Flor .....	5
2.1.3.3. Fruto .....	5
2.1.3.4. Semilla.....	6
2.1.3.5. Pungencia.....	6
2.1.4. Importancia del cultivo a nivel nacional .....	9
2.1.5. Importancia del cultivo en el estado de Yucatán.....	11
2.1.6. Principales usos .....	14
2.2. Hidroponía.....	15
2.3. Componentes de los sistemas hidropónicos .....	16
2.3.1. Solución nutritiva .....	16
2.3.2. Relación $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ .....	17
2.3.3. Nutrición nitrogenada del chile habanero .....	21
2.4. Sustratos .....	23
2.4.1. Características de los sustratos.....	23
2.4.2. Propiedades físicas del sustrato.....	24
2.4.3. Propiedades químicas de los sustratos.....	25

2.4.4. Uso del tezontle como sustrato.....	26
2.4.5. Fibra o polvo de coco.....	28
2.4.6. Mezcla tezontle/fibra de coco.....	28
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	30
3.1. Objetivo general.....	30
3.1.2. Objetivos específicos.....	30
3.2. Hipótesis general.....	30
3.2.1. Hipótesis específica.....	30
IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
4.1. Ubicación del experimento.....	31
4.2. Material vegetal.....	31
4.3. Sustrato.....	31
4.4. Solución nutritiva .....	32
4.5. Tratamientos y Diseño Experimental .....	32
4.6. Establecimiento del experimento .....	33
4.6.1. Preparación del semillero .....	33
4.6.2. Trasplante.....	34
4.6.3. Preparación de las soluciones nutritivas.....	34
4.7. Manejo Agronómico .....	35
4.7.1. Riego .....	35
4.7.2. Podas y tutorio .....	35
4.8. Caracterización física del sustrato.....	36
4.8.1. Densidad aparente (Da).....	36
4.8.2. Porosidad total (Pt), Porosidad de aireación (Pai) y Retención de humedad (Rh).....	36
4.8.3. Curvas de retención de agua.....	37
4.8.4. Materia orgánica.....	38
4.8.5. Conductividad hidráulica .....	38
4.9. Variables de estudio .....	39
4.9.1. Altura de la planta .....	39
4.9.2. Diámetro del tallo.....	39
4.9.3. Número de frutos por planta.....	39
4.9.4. Peso, longitud y diámetro de fruto .....	39
4.9.5. Rendimiento .....	40

4.9.6. Calidad del fruto.....	40
4.9.7. Concentración de capsaicina en fruto.....	40
4.10. Análisis estadístico.....	41
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
5.1. Comparación de las características físicas de la mezcla en dos ciclos de cultivos .....	42
5.2. Análisis físico del sustrato al inicio del cultivo de chile habanero.....	46
5.2.1. Densidad aparente .....	46
5.2.2. Porosidad total (Pt), Porosidad de aireación (Pai) y Porosidad de retención de agua (Pra).....	47
5.2.3. Materia orgánica y conductividad hidráulica .....	48
5.3. Altura y diámetro del tallo .....	52
5.4. Rendimiento y características de calidad del fruto (peso, longitud y diámetro) .....	54
5.5. Concentración de capsaicina en frutos .....	59
VI. CONCLUSIONES .....	63
VI. BIBLIOGRAFÍA .....	65

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		Página
Cuadro 1.	Calidad del fruto ( <i>Capsicum chinense</i> ) de acuerdo al tamaño y peso.....	6
Cuadro 2.	Clasificación de diferentes frutos del género <i>Capsicum</i> de acuerdo a su pungencia. ....	8
Cuadro 3.	Principales países productores de chile en el 2008.....	9
Cuadro 4.	Producción, rendimiento y superficie sembrada a nivel nacional de chile habanero.....	11
Cuadro 5.	Superficie cultivada, producción y rendimiento del chile habanero en México en el 2004.....	11
Cuadro 6.	Descripción de los tratamientos con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .....	27
Cuadro 7	Promedios de las características físicas de diferentes diámetros de partículas de tezontle de seis colectadas en diferentes yacimientos en el estado de Guanajuato.....	35
Cuadro 8	Valores óptimos de las características físicas de los sustratos en general, valores de diferentes tamaños de partícula de tezontle sin mezclar y valores de una mezcla de tezontle con fibra de coco al inicio y final del ciclo del cultivo.....	43
Cuadro 9	Caracterización física de los sustratos. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$ ).....	46
Cuadro 10.	Valores de los componentes para la construcción de las curvas de retención de humedad para cada tratamiento.....	49
Cuadro 11.	Altura de planta y diámetro de tallo (cm) a los 100 días después del trasplante para cada combinación de tratamiento en el cultivo de chile habanero. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$ ).....	52
Cuadro 12.	Altura y diámetro del tallo (cm) del chile habanero a los 100 días después del trasplante para cada factor evaluada de forma independiente. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$ ).....	52
Cuadro 13.	Promedio de tres cosechas para rendimiento y características de calidad en frutos para el cultivo de chile habanero. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$ ).....	55
Cuadro 14.	Rendimiento promedio de tres cosechas y características de calidad	

	del fruto en chile habanero para las diferentes relaciones nitrato/amonio. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha= 0.05$ ).....	56
Cuadro 15.	Rendimiento promedio de tres cosechas y características de calidad del fruto en chile habanero para los diferentes diámetros de tezontle. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha= 0.05$ ).....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		Página
Figura 1.	Entidades con denominación de origen del chile habanero.....	13
Figura 2.	Tratamientos utilizados.....	33
Figura 3.	Curvas de retención de humedad de para los distintos tamaños de tezontle mezclado con fibra de coco.....	51
Figura 4.	Rendimiento acumulado de tres cosechas en el cultivo de chile habanero para cada combinación de tratamientos.....	58
Figura 5.	Clasificación de los frutos de chile habanero de acuerdo a su peso de tres cosechas.....	59
Figura 6.	Efecto de la relación amonio/nitrato en el contenido promedio de capsaicina en frutos de chile habanero de tres cosechas. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha= 0.05$ ).....	60
Figura 7.	Efecto del la relación amonio/nitrato en la concentración de capsaicina en frutos de chile habanero para tres cosechas. Barra con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha= 0.05$ ).....	61

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial México ocupa el segundo lugar, después de China, en producción de chiles; además, cuenta con la mayor riqueza genética, debido a la variedad de climas que presenta (Latournerie *et al.*, 2002). Existen aproximadamente 22 especies silvestres del género *Capsicum* y 5 que han sido domesticadas las cuales incluyen a *Capsicum annuum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* J., *C. frutescens* L. y *C. pubescens*.

La especie *Capsicum chinense* (chile habanero), es famosa por tener los más altos contenidos de picante en el mundo, en México su cultivo se extiende principalmente en el sureste. El estado de Yucatán es el principal productor de chile habanero con una superficie sembrada de 708.43 ha, con un volumen de producción 3295 toneladas, seguido por los estados de Tabasco, Campeche y Quintana Roo (Aceves *et al.*, 2008). Aunque Yucatán es el estado con mayor superficie cultivada sus rendimientos no alcanzan a cubrir la demanda local necesaria para la producción de salsas y condimentos. El bajo nivel de tecnología de producción y el uso de cultivos criollos son las limitantes principales (Borges, 2006), aunada a esto la incidencia de plagas y enfermedades, e insuficiente control de la nutrición y el riego.

La nutrición de las plantas por medio de la utilización de soluciones nutritivas es la llave del éxito en los cultivos hidropónicos. La relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  es un factor al que debería prestársele mucha atención al elaborar una solución nutritiva (Lara, 1999), ya que un inadecuado suministro en sus proporciones tiene efectos negativos en el desarrollo de las plantas. Sandoval *et al.* (1994) reportan que una proporción  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  menor o igual al 50% incrementa la producción de grano y materia seca en el cultivo de trigo. Lemaire (2005) indica que para que una planta presente un buen desarrollo, la proporción de nitrógeno amoniacal con

respecto al nitrógeno nítrico puede llegar hasta un 20% en el medio. En el cultivo de albahaca se reporta un incremento de 15% en rendimiento con una relación 20/80% ( $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ) y en el cultivo de eneldo con una relación 40/60, se incrementa el área foliar y la biomasa total (Gonzales *et al.*, 2009). En plantas de crisantemo, se alcanzaron mayores valores de altura de planta, longitud de pedúnculo floral, diámetro del racimo y número de inflorescencias con concentraciones de 3.0 y 4.5 meq  $\text{L}^{-1}$  de amonio en la relación de cationes de la solución nutritiva (Bugarin *et al.*, 1998).

El sustrato es otro de los factores determinantes en los sistemas hidropónicos. Una de las causas que impulsaron su uso fue la disminución cuantiosa de pérdidas por patógenos del suelo (Ansorena, 1994). En México, la roca volcánica conocida como tezontle es ampliamente utilizada como sustrato para la producción de hortalizas y flores en cultivos sin suelo (Vargas *et al.*, 2008); debido a su bajo costo, fácil disponibilidad y características físicas (densidades aparente, capacidad de aeración y poca retención de humedad en comparación con otros materiales) (Anicua, 2008).

Para el caso particular del chile habanero se sabe que el nitrógeno es el elemento mineral más demandado y que está presente siempre en mayores proporciones con respecto a los demás elementos en las diferentes etapas fenológicas (Noh *et al.*, 2010). Pero no hay información respecto a cómo lo afecta la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en las soluciones nutritivas y tampoco sobre el efecto de las diferentes granulometrías de sustrato (tezontle) en el rendimiento y calidad del fruto. En el presente trabajo se pretende determinar cuál es la mejor relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  y la granulometría más adecuada para alcanzar los más altos rendimientos y buena calidad de los frutos bajo sistemas hidropónicos.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El cultivo del chile habanero

#### 2.1.1. Origen y distribución

El chile habanero (*Capasicum chinense* J.), como todos los del género *Capsicum* es originario de América (Ochoa, 2005). En especial para la especie *Capsicum chinense*, famosa por tener los más altos contenidos de picante en el mundo, la región de las amazonas es ubicada como el centro de origen (Trujillo, 2001). Al respecto González *et al.* (2006) mencionan que el chile habanero proviene de las tierras bajas de la cuenca Amazónica y de ahí se dispersó a Perú durante la época prehispánica, su distribución también se dirigió hacia la cuenca del Orinoco (ubicada actualmente en territorios de Colombia y Venezuela) hacia Guyana, Surinam, la Guyana Francesa y las Antillas del Caribe; estos mismos autores sugieren que la introducción prehispánica del chile habanero en el Caribe se debió a migraciones indígenas de agricultores y alfareros procedentes de Sudamérica, pertenecientes a grupos arahuacos (originarios de Puerto Rico) que viajaron por las Antillas menores hasta llegar a Puerto Rico, La Española (República Dominicana y Haití), Jamaica y Cuba, entre los años 250 y 1000 d.C.

Se cree que probablemente el *C. chinense* fue introducido a la península de Yucatán desde Cuba, ya que se tenía mayor comercio con la isla (Ramírez, 2003), lo que podría explicar su nombre popular de habanero (López *et al.*, 2009).

Se reportan cientos de variedades de esta especie, aunque el nombre de habanero, hace referencia específica a la península de Yucatán en México y Belice. Esta especie fue denominada como *Capsicum chinense* en 1776 por Nikolaus von Jaquin (Trujillo, 2001).

### 2.1.2. Clasificación taxonómica

El chile habanero pertenece al género *Capsicum* cuyo significado se deriva del griego: *kapso* (picar) y *Kapsakes* (cápsula). (Nuez *et al.*, 2003). Según Izco (2004) se clasifica de la siguiente manera:

Reino	Vegetal
Subreino	Embriophyta
División	Angiospermae
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Ranunculidae
Orden	Solanales
Familia	<i>Solanácea</i>
Género	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>chinense</i>
Nombre común	Chile habanero

### 2.1.3. Generalidades

#### 2.1.3.1. Planta

Es de hábito de crecimiento determinado, se comporta como planta perenne (Soria *et al.*, 2000), su altura es variable pero en los cultivares puede oscilar entre 0.75 m y 1.20 m (Tun, 2001), tiene hábito de crecimiento erecto, densidad de ramificación inmediata, presenta escaso macollamiento (Trujillo, 2005).

El tallo es cilíndrico, tiene escasa pubescencia y su diámetro oscila entre 0.9 y 3.1 cm. Las hojas son de color verde oscuro, de forma tipo oval, presenta escasa pubescencia, su longitud es de 11.5 cm y el ancho es de 4.8 cm (Trujillo, 2001).

### **2.1.3.2. Flor**

La floración se presenta entre los 80 y 100 días después del trasplante. La posición de las flores es intermedia. El color de la corola es blanco y su forma es redonda (Trujillo, 2001), estos órganos se forman en cada ramificación y se puede presentar racimos de hasta seis flores (Tun, 2001). Las flores son hermafroditas y frecuentemente se presentan con cinco sépalos, cinco pétalos y seis estambres. El ovario es supero, frecuentemente tri o tetralocular y el estigma usualmente se encuentra a nivel de las anteras lo cual facilita la auto polinización (Guenkov, 1974, citado por Ramírez, 2003).

### **2.1.3.3. Fruto**

Los frutos se presentan entre los 120 y 140 días después del trasplante cuya forma es tipo acampanulado con tres lóculos en promedio (Trujillo, 2001), estos también son considerados una baya (López, 2003) con forma de un trompo redondo, que varía de 2 a 6 cm de largo por 2 a 4 cm de ancho, con una constricción en la base (López *et al.*, 2009).

Los frutos son de color verde en el estado inmaduro, pero usualmente maduran en color rojo, anaranjado, amarillo e inclusive blanco. Esporádicamente se han encontrado algunos frutos de color café (Ochoa, 2001). El color del fruto del chile habanero maduro está determinado principalmente por la presencia de dos tipos de pigmentos: los carotenoides y las antocianinas. La combinación en diferentes proporciones de estos dos pigmentos en el fruto, da lugar a los diferentes colores que se aprecian en las variedades cultivadas de Chile

habanero (DOF, 2010). Todos los frutos de *C. chinense* tienen el mismo olor característico, independientemente del color de maduración (Ochoa, 2001).

La calidad es determinada por la apariencia del fruto, el tamaño, el peso unitario, la firmeza y el color (Soria *et al.*, 2000). En el Cuadro 1 se citan a continuación algunas características para determinar la calidad de los frutos.

Cuadro 1. Calidad del fruto de *Capsicum chinense* de acuerdo al tamaño y peso (Piña, 1984, Citado por Ramírez 2003).

Categoría y tamaño de los frutos	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Peso unitario (g)
Primera (grandes)	5.5	3.5	> 10
Segunda (medianos)	4.5	3.0	7.5-10
Tercera (chicos)	4.0	2.0	5.0- 7.5
Rezaga	< 4.0	< 2.0	< 5.0

#### 2.1.3.4. Semilla

La semilla presenta un color amarillo paja, superficie áspera, tamaño tipo intermedia y diámetro entre 3.5 a 4 mm. El peso de 1000 semillas varía de 6 a 8 g aproximadamente. Por fruto se puede encontrar entre 20 y 50 semillas. Factor relacionado directamente con las condiciones ambientales en que se desarrolla el cultivo. El periodo de germinación es de 8 a 15 días (Trujillo, 2005).

#### 2.1.3.5. Pungencia

El consumo del chile se debe principalmente a su sabor picante o pungencia (Vázquez *et al.*, 2007). El típico sabor picante de los frutos de chile del género *Capsicum* se debe a la presencia de un grupo de sustancias de naturaleza alcaloide conocidos como

capsaicinoides (López, 2003) que se sintetizan y acumulan en el tejido placentario (Vázquez *et al.*, 2007). La placenta de la semilla es el sitio donde se encuentra la mayor concentración de capsaicina, y representa un 2.5% de la materia seca (Nuez y Acosta, 1996). A los pocos días que ha iniciado el desarrollo del fruto, algunas células de la placenta se vuelven glandulares, secretando la capsaicina la cual alcanza su mayor concentración cuando el fruto cambia de color (López, 2003). El contenido medio de capsaicina del fruto es de 0.6%, el de las semillas del 0.7% y el del pericarpio del 0.03%. La síntesis de capsaicina es mayor a temperaturas elevadas (30 °C) que a temperaturas de 21 – 24 °C (Nuez y Acosta, 1996). La capsaicina está controlado por un gen dominante (Trujillo, 2001).

Los capsaicinoides son amidas formadas por la unión de la vainillilamina con un ácido graso (Vázquez *et al.*, 2007). La estructura química de los capsaicinoides es muy similar. Varían solamente en el largo de la cadena hidrocarbonada y por la presencia o ausencia de un doble enlace en dicha cadena. La principal característica que comparten estas moléculas es una estructura aromática (un anillo bencénico de seis carbonos) llamado grupo vanilil. Así los capsaicinoides son parte de una familia de compuestos químicos llamados vaniloides (López, 2003).

Se conocen alrededor de 20 compuestos de capsaicinoides (Vázquez *et al.*, 2007). Los principales capsaicinoides son: nornorcapsaicina, norcapsaicina, capsaicina, homocapsaicina, nornordihidrocapsaicina, norhidrocapsaicina, dihidrocapsaicina y homodihidrocapsaicina (Manirakiza *et al.*, 2003, citado por Moran *et al.*, 2008). De todos los capsaicinoides dos son los típicamente responsables de hasta el 90% del total presentes en los frutos (López, 2003) y estos son: la capsaicina [(E)-N-(4-hidroxibencil)-8-metil-6-nonenamida] y su análogo 6,7-dihidro, la dihidrocapsaicina (Vázquez *et al.*, 2007).

El picor o pungencia de extractos de frutos son expresados en unidades Scoville. Estas unidades se determinan por medio de la prueba organoléptica de Scoville, que consiste en utilizar un panel de personas que prueban diluciones de una muestra hasta que no es posible detectar el sabor picante (Ochoa, 2001).

El chile habanero es una variedad mexicana considerada la más picosa del mundo debido a su mayor contenido de capsaicinoides, como se puede observar en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de diferentes frutos del género *Capsicum* de acuerdo con su pungencia (Trujillo, 2001 y López, 2003).

Clase	Unidades Scoville
Capsaicina pura	16,000,000
Habanero	300,000- 400,000
Cayena	100,000- 105,000
Piquín	70,000- 80,000
Tabasco	30,000- 50,000
Chile de árbol	15,000- 30,000
Serrano	7,000- 25,000
Jalapeño	3,500- 4,500
Poblano	2,500- 3,000
Anaheim	1,000- 1,500
Pimientos	0- 1000

El Chile habanero de la Península de Yucatán presenta una concentración superior a los 6.5 mg capsaicina / g peso seco (equivalente a 104,650 unidades Scoville) cuando la fruta se encuentra en estado verde, y superior a los 12.5 mg de capsaicina/g peso seco (equivalente 201,000 unidades Scoville) cuando la fruta se encuentra en su estado de maduración completa, es decir, cuando ha desarrollado un color naranja o rojo en su superficie (epidermis) (DOF, 2010).

#### 2.1.4. Importancia del cultivo a nivel nacional

El cultivo del chile a nivel mundial ocupa una superficie de 1,879, 891 ha, de la cual se obtiene una producción de 28, 483, 822 ton de frutos de diversos tipos. Dentro de los principales países productores de chile podemos encontrar a: China, México, Turquía, Indonesia, España y Estados Unidos (Cuadro 3). México tiene un volumen de producción de 2, 054,968 ton, por lo que aporta a nivel mundial el 7.2% de la producción total y 56% a nivel continental, razón por la cual se ubica en el segundo lugar después de china (FAOSTAT, 2011).

Cuadro 3. Principales países productores de chile en el 2008.

País	Área (ha)	Rendimiento (t/ha)	Producción (t)
China	652,296	21.88	14,274,178
México	132,337	15.52	2,054,968
Turquía	88,000	20.41	1,796,117
Indonesia	202,712	5.3	1,092,115
España	18,861	52.60	992,200
Estados unidos	30,720	29.61	909,810
Otros	754,152		7,364,434
Total	1, 879,078	15.34	28,483,822

Fuente: FAOSTAT, 2011

Según el código florentino, los alimentos más importantes que tomaban los mexicanos (prehispánicos) diariamente eran el maíz, el frijol, el chile y la calabaza (Latournerie *et al*, 2001). Desde entonces, estos alimentos se han combinado de distintas maneras, enriqueciendo la dieta de los habitantes del nuevo mundo. Aun hoy en día, estos ingredientes son la base de la alimentación de gran parte de los latinoamericanos, principalmente los más pobres (López, 2003).

El chile identifica a los pueblos mesoamericanos en general y particularmente a México, ya que este ha sido un condimento que enriquecía la dieta basada en el maíz, frijoles y calabazas (López, 2003). Para los mexicanos el chile no es tan solo un ingrediente más de la comida: es un verdadero símbolo de identidad nacional, un símbolo fálico en el que están implícitos la virilidad y el machismo; la picardía de los mexicanos está íntimamente ligada a las creencias y tradiciones de México (López *et al.*, 2009).

México cuenta con la mayor riqueza genética de chiles, debido a la variedad de climas que presenta (Latournerie *et al.*, 2002). Vestigios arqueológicos de semillas encontradas en el valle de Tehuacán (Evans, 1993), indican que es uno de los principales centros de origen y domesticación del género *Capsicum* (Laborde y Pozo, 1984). Al respecto López (2003) menciona que en excavaciones arqueológicas en muchas localidades mesoamericanas, que van de siete a dos mil años antes del presente siglo, se han encontrado semillas, tejidos y restos de chile en coprolitos humanos.

Existen aproximadamente 22 especies silvestres del género *Capsicum* y 5 que han sido domesticadas las cuales incluyen a *Capsicum annuum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* J., *C. frutescens* L., y *C. pubescens* (Ochoa, 2001).

Aunque México es el país que posee una mayor variabilidad genética de *Capsicum* curiosamente no es el productor más importante (Latournerie *et al.*, 2001), ya que las estadísticas lo ubican en el segundo lugar después de China debido a los bajos rendimientos que oscilan alrededor de 15 t/ha (Cuadro 3) (FAOSTAT, 2011). El bajo nivel de tecnología de producción y el uso de cultivos criollos son las causas principales (Borges, 2006), aunada a esto la incidencia de plagas y enfermedades, control de la nutrición y el riego.

### 2.1.5. Importancia del cultivo en el estado de Yucatán

En el sureste mexicano el chile habanero es un cultivo tradicional. En los años recientes se ha incrementado la superficie sembrada y la producción (Cuadro 4). En el 2004, se sembraron 955 hectáreas, con una producción de 5, 183 toneladas (Aceves *et al.*, 2008).

Cuadro 4. Producción, rendimiento y superficie sembrada a nivel nacional de chile habanero (Aceves, *et al* 2008).

Años	Superficie sembrada (ha)	Producción (toneladas)	Rendimientos (t ha <sup>-1</sup> )
2000	94.20	534.66	10.29
2001	216.36	1409.28	9.0
2002	854.40	2602.98	6.68
2003	680.48	4589.57	7.22
2004	955.59	5183.17	7.82

Fuente: SIAP, 2007.

El estado de Yucatán es el principal productor de chile habanero con una superficie sembrada actualmente de 708 ha, con un volumen de producción 3295 toneladas, seguido por los estados de Tabasco, Campeche y Quintana Roo (Cuadro 5) (Aceves *et al.*, 2008).

Cuadro 5. Superficie cultivada, producción y rendimiento del chile habanero en México en el 2004 (Aceves *et al.*, 2008)

Estados	Superficie Cultivada (ha)	Producción (toneladas)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Yucatán	708.43	3,295.17	5.33
Tabasco	143.00	1,101.00	7.69
Campeche	57.18	358.20	7.06
Quintana Roo	36.48	376.85	10.93
Sonora	8.00	80.00	10.00
Veracruz	7.00	43.95	6.28
Chiapas	3.00	45.00	15.00
Baja California Sur	1.50	0.00	0.00
Total	964.59	5,300.17	5.88

Fuente: SAGARPA, 2005

Para el 2009 los estados que conforman la península de Yucatán (Yucatán, Campeche y Quintana Roo) sumaron 445 hectáreas sembradas de este cultivo, siendo Yucatán la de mayor extensión (351 ha). La superficie cosechada para ese mismo año fue de 423 hectáreas en total, con 5 mil 431 toneladas de producción. El precio promedio al productor para este periodo fue de 16 mil 870 pesos la tonelada, aunque el estado de Quintana Roo alcanzó un precio promedio al productor de 22 mil 834 peso por tonelada (SIAP, 2011).

El estado de Yucatán ocupó el 78.8% del total del área sembrada (2009) en la península de Yucatán, pero sus rendimientos fueron menores con respecto al estado de Quintana Roo (71.78 t/ha), debido a la alta tecnología de producción en invernaderos con la que este estado cuenta actualmente (26 ha) (SIAP, 2011).

La tecnología de producción del chile habanero en el estado de Yucatán se puede clasificar en tres niveles: baja tecnología, en la que se encuentran los productores de temporal y usan eventualmente riego de auxilio, no controlan sus malezas y no aplican fertilizantes, su rendimiento promedio es de 5 t ha<sup>-1</sup>; tecnología media, obtienen entre 5 a 15 t ha<sup>-1</sup>, estos aplican fertilizantes, riegan principalmente en periodos críticos y tienen control de malezas; y por último el de tecnología alta en la que se encuentran productores que procuran proporcionar riego, mantienen limpias las parcelas, realizan podas de limpieza y tienen control de plagas. Estos son los que tienen producción mayor de 15 y hasta 40 t ha<sup>-1</sup> (Rincones, 2009).

El 50% de los productores del estado de Yucatán producen con tecnología baja, el 30% con tecnología media y solo el 20% tiene tecnología alta, lo que pone en desventaja al estado en cuanto a rendimiento por hectárea (Rincones, 2009). La producción actual de chile habanero no cubre muchas veces la demanda local necesaria para la producción de salsas y condimentos (Borges, 2006).

A pesar de todo lo ya mencionado y aunque no existe un documento que lo compruebe, se considera que las características del chile habanero producido en Yucatán son únicas refiriéndose principalmente al picor o pungencia del fruto (Borges, 2006), lo que le valió su denominación de origen, otorgada por Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, publicado el cuatro de Julio de 2010 en el Diario Oficial de la Federación, en la que declara la denominación de origen del “chile habanero de la península de Yucatán”, en la que quedan incluidos los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo (Figura 1) (DOF, 2010).

Con la denominación de origen otorgada a la península de Yucatán se ha abierto la posibilidad de nuevos mercados en el mundo para este cultivo, lo que obliga a instituciones agronómicas y profesionales en esta rama a buscar alternativas que incrementen el rendimiento de los cultivos, ya sean en campo abierto o en invernadero.



Figura 1. Entidades con denominación de origen del chile habanero.

### **2.1.6. Principales usos**

En la gastronomía yucateca el chile habanero es el principal ingrediente de las salsas que se usan para acompañar diversos guisos y botanas (López *et al.*, 2009). En otras partes del mundo el chile es un aditivo popular por su color, sabor y aroma, por lo que se consume principalmente como condimento. El incremento en su consumo es tal, que actualmente se estima que hoy en día a nivel mundial, uno de cada cuatro individuos lo está consumiendo (Herrera, 2001).

En la industria alimenticia el chile habanero es utilizado para la preparación industrial de salsas picantes (López *et al.*, 2009), chiles enlatados o en conserva y pastas (Herrera, 2001). Además se extraen pigmentos que se utilizan para dar color a salsas, quesos, aderezos, gelatinas y otros alimentos procesados (López *et al.*, 2009).

De igual manera se pueden extraer oleorresinas y capsaicina. El chile habanero se caracteriza por presentar los niveles más altos de capsaicina (López *et al.*, 2009), estimándose que puede ascender hasta 350, 000 unidades Scoville (Herrera, 2001). La extracción de este compuesto es muy importante en la industria farmacéutica, ya que es utilizada en el elaboración de productos como crema, parches para dolores musculares y artritis, linimentos para quemaduras y pastas dentales para el dolor de los dientes (López *et al.*, 2009).

En la actualidad como parte de su uso en la medicina tradicional se emplea como un estimulante, conirritante y tratamientos de malestares digestivos y respiratorios (López, 2003).

Entre otros usos la capsaicina sirve también para la fabricación de aspersiones que se utilizan para repeler agresores (Herrera, 2001), también se reporta que se han fabricado

compuestos insecticidas que contienen capsaicinoides y por ultimo podemos mencionar que el gran aporte de vitaminas A y C que proporcionan los chiles ayuda a prevenir problemas de las mucosas, encías y dientes y de la vista. Aun mas, los chiles pueden participar en la protección contra el cáncer, pues son aún más ricos en vitamina C que los cítricos (López, 2003).

## **2.2. Hidroponía**

La hidroponía pueden definirse como la disciplina del crecimiento de las plantas sin utilizar el suelo, aunque usando un medio inerte como la grava, arena, turba, vermiculita, pumita o aserrín, a los cuales se añade una solución de nutrimentos que contiene todos los elementos esenciales necesitados por la planta para su normal crecimiento y desarrollo (Resh, 2001).

El desarrollo de la hidroponía dio inicio desde el momento en que se llevaron a cabo los primeros estudios en fisiología vegetal y específicamente de la nutrición vegetal (Alcántar y Trejo, 2007). Este sistema surge de las experiencias llevadas a cabo para determinar que sustancias hacen crecer a las plantas y la composición de ellas, en los años 1600. Pero no fue sino hasta 1925 cuando surge el interés sobre la aplicación práctica, debido a la necesidad de cambiar el suelo con frecuencia para evitar los problemas de estructura, fertilidad y enfermedades. Entre los años 1925 y 1935 tuvo lugar un desarrollo extensivo de las técnicas de laboratorio para cultivos en soluciones de nutrimentos hacia una producción en gran escala. A comienzos de los años treinta, W.F. Gerike transfirió los ensayos de laboratorio de nutrición vegetal a escala comercial (Resh, 2001).

Hoy en día los cultivadores en invernadero han llegado a hacer de la hidroponía una realidad, en todas las aéreas climáticas, existiendo grandes instalaciones hidropónicas a través

del mundo, tanto para el cultivo de flores como de hortalizas (Resh, 2001), debido a que esta herramienta se ha constituido en un atractivo sistema de producción para el cultivo de plantas sin suelo a gran escala y con alta productividad en espacio y tiempo a costos razonables (Alcántar y Trejo, 2007).

En los últimos 25 años, en casi todos los países del mundo, los cultivos hidropónicos han sido desarrollados junto con la tecnología de invernaderos. En estos últimos la producción de vegetales se ha centrado en los cultivos perdederos de alto precio, como tomates, pepinos, pimientos, lechugas, y otros (Bordado, 2005).

### **2.3. Componentes de los sistemas hidropónicos**

#### **2.3.1. Solución nutritiva**

El éxito de los cultivos hidropónicos está basado en el conocimiento y buen manejo de las soluciones nutritivas. A lo largo de los años se han realizado numerosas formulaciones para soluciones nutritivas. Las primeras formulaciones fueron hechas por Knop en Alemania y contenían:  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  y una sal de hierro; en ese momento se consideró que esa solución nutritiva contenía todos los componentes necesarios para la planta (Taiz y Zeiger, 2007). Más tarde en 1961, Steiner desarrolló una solución nutritiva denominada “solución universal” y es una de las soluciones más utilizadas en el mundo. Esta contiene 9, 4 y 7 meq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{K}^+$ , respectivamente. Las concentraciones de aniones son 12, 1 y 7 meq  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , en la cual el balance es estequiométrico ya que la suma de aniones y la de cationes es de 20 meq  $\text{L}^{-1}$  (Alcántar y Trejo, 2007).

Existen algunos factores que influyen en la solución nutritiva que se deben de considerar, tales como: la relación mutua entre los aniones y cationes, la concentración de nutrimentos expresada con la conductividad eléctrica (CE), pH, la relación  $\text{NH}_4^{+}:\text{NO}_3^{-}$  y la temperatura, por lo que un inapropiado manejo de la solución nutritiva en cualquiera de estos factores o la interacción entre ellos afecta la nutrición de la planta y, por ende el rendimiento y la calidad de los frutos (Lara, 1999). Este mismo autor, en una revisión hecha sobre el manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía concluye que la relación mutua entre los aniones y cationes debe de corresponder a la que las plantas demandan. La CE influye en la nutrición de las plantas de tal forma que conductividades por encima de  $6 \text{ dS m}^{-1}$  inducen diferente absorción entre los nutrimentos y, por lo tanto desbalance entre estos; pero una CE menor a  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , puede causar deficiencias sobre todo en lugares o temporadas frías.

El pH determina la solubilidad de algunos elementos, principalmente P y Ca; para evitar que esto suceda el pH debe de ser mantenido entre 5.5 y 6. La temperatura influye en la absorción de nutrimentos y en el contenido de oxígeno disuelto; la temperatura óptima es alrededor de  $22^{\circ}\text{C}$ .

### **2.3.2. Relación $\text{NO}_3^{-}/\text{NH}_4^{+}$**

Entre el 90-98% de la materia seca de los cultivos agrícolas están compuesta por elementos organogénicos (carbono, oxígeno e hidrógeno). Aproximadamente se considera que el nitrógeno constituye el 1.5% en peso seco de las plantas y que ocupa el cuarto lugar en abundancia dentro de las plantas después del carbono (45%), oxígeno (45%) e hidrógeno (6%) (Alcántar y Trejo, 2007). El nitrógeno es considerado el motor de crecimiento de las plantas y por ende del rendimiento (Moreno, 2007), debido a que la mayoría de los compuestos

presentes en las células vegetales contiene nitrógeno, tales como: aminoácidos, nucleosidos, componentes de fosfolípidos, clorofila (Pereyra, 2001), proteínas y ácidos nucleicos, además está involucrado en todos los procesos de desarrollo de las plantas.

Las plantas para abastecerse de nitrógeno absorben de la solución del suelo tanto el anión nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) como el catión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Resh, 2001). Al respecto, Salisbury y Ross (1994) mencionan que el  $\text{NO}_3^-$  y el  $\text{NH}_4^+$  son las principales fuentes de nitrógeno para las plantas cultivadas, haciendo excepción para las leguminosas que fijan el N atmosférico, y que el nitrógeno en forma de  $\text{NO}_3^-$  es la forma preferida. La preferencia de la absorción del nitrógeno de una forma u otra para la nutrición de los cultivos depende en gran manera de la edad de la planta y la especie; el pH y composición del suelo (Navarro y Navarro, 2003). Al respecto este mismo autor menciona que la remolacha manifiesta una marcada preferencia por el nitrógeno nítrico debido a que los suelos más apropiados para este cultivo tienen un pH= 7-7.5 que corresponde al valor óptimo de nitrificación y que en los suelos ácidos, normalmente sometidos a lluvias continuas, y donde se inhibe notablemente la nitrificación, las plantas pueden adaptarse a una asimilación amoniacal: árboles frutales, patatas, arroz, entre otras.

El  $\text{NO}_3^-$ , al igual que el  $\text{NH}_4^+$ , una vez absorbido es incorporado en compuestos orgánicos que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, a esta incorporación se le denomina asimilación. La asimilación del  $\text{NO}_3^-$  es muy costosa en términos de energía, debido a una serie compleja de reacciones bioquímicas que demandan un alto gasto energético (Pereyra, 2001). Este proceso necesita 12 moles de ATP para reducir un mol de  $\text{NO}_3^-$  (Taiz y Zeiger, 2007) y 5 moles de ATP para asimilar el  $\text{NH}_4^+$  (Degiovanni *et al.*, 2010).

El proceso de asimilación del ion nitrato sucede de la siguiente manera: el  $\text{NO}_3^-$  es primeramente convertido a una forma de energía superior, nitrito, ( $\text{NO}_2^-$ ), cuya reacción es catalizada por la enzima nitrato reductasa (NR), esta enzima es regulada por el  $\text{NO}_3^-$  y la luz entre otros factores. Posterior a esta reacción, el  $\text{NO}_2^-$  obtenido es transformado en una mayor forma de energía, amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y para que esta reacción se dé es necesario la participación de la enzima nitrito reductasa (NiR). Finalmente el  $\text{NH}_4^+$  obtenido como resultado de la segunda reacción es incorporado rápidamente en los esqueletos carbonados para formar aminoácidos, evitando de esta forma la toxicidad de este ion. En esta última reacción están involucradas las enzimas glutamina sintetasa (GS) y la glutamato sintasa (GOGAT) (Pereyra 2001). Por el contrario el amonio, una vez absorbido por la raíz, el siguiente proceso para la asimilación es su incorporación a los aminoácidos o en otros compuestos que contengan nitrógeno reducido (Resh, 2001), por lo que la demanda de energía es menor (5 moles de ATP).

En la mayoría de los suelos ambas formas iónicas coexisten y aunque algunos cultivos prefieren una u otra, en general, la presencia de ambas formas es favorable para la mayoría de las especies, pues se propicia un metabolismo más balanceado y una absorción mejor de este elemento (Villalobos, 2001). Degiovanni *et al.* (2010) mencionan que las mayores tasas de crecimiento vegetal y de rendimiento de cultivos se obtienen con suplementos en que se combinan el  $\text{NH}_4^+$  y el  $\text{NO}_3^-$ . Al respecto Sandoval *et al.* (1994), reportan que una proporción  $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$  menor o igual al 50% incrementa la producción de grano y materia seca en el cultivo de trigo y Lemaire (2005) indica que para que una planta obtenga un buen desarrollo, la proporción de nitrógeno amoniacal con respecto al nitrógeno nítrico puede llegar hasta un 20% en el medio.

Para el caso de cultivos hidropónicos también se han reportado respuestas positivas en el crecimiento y rendimiento con diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva. Tal es el caso del cultivo de albahaca en la que se reporta un incremento de 15% en rendimiento con una relación 20/80 respectivamente, en comparación con plantas tratadas con solución nutritiva que solo contenían  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$ . En el cultivo de eneldo se reporta que con una relación 40/60 respectivamente, se incrementa el área foliar y la biomasa total comparándolo con plantas tratadas con  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$  de manera independiente (González *et al.*, 2009). En un experimento realizado con plantas de crisantemo se reportan mayores valores de altura de planta, longitud de pedúnculo floral, diámetro del racimo y número de inflorescencias con concentraciones de 3.0 y 4.5 meq  $\text{L}^{-1}$  de amonio en la relación de cationes de la solución nutritiva (Bugarín *et al.*, 1998).

El incremento de los rendimientos reportados anteriormente puede deberse, en parte, a la mayor actividad de algunas enzimas cuando se suministra en conjunto el  $\text{NH}_4^+$  y el  $\text{NO}_3^-$ . Gallegos (1998) reporta una mayor actividad de las enzimas nitrato reductasa y glutamina sintetasa, en cultivo de nopales tratadas con solución que contienen  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  y Sandoval (1991), menciona que el incremento de producción y materia seca en el cultivo de trigo, al emplear  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en conjunto, se debe en parte al incremento de la actividad de la enzima PEPCasa lo cual implica que existe una mayor reutilización del  $\text{CO}_2$  liberado a nivel de raíz en el proceso respiratorio y también al incremento de la actividad GS que a su vez se debe a una mayor y más rápida asimilación de N-  $\text{NH}_4^+$ , siempre y cuando el amonio absorbido no se acumule en la raíz.

La temperatura y la luminosidad influyen en el incremento del rendimiento cuando se utilizan mezclas de amonio y nitrato, por lo que, en ciclos de cultivos primavera-verano es

posible lograr esos incrementos (Sandoval, 1991). El amonio al ser un ion altamente toxico en la planta, requiere de su inmediata asimilación, lo cual demanda energía, que es adquirida a través la luz, por lo que la administración de amonio en días nublados puede reducir el rendimiento (Ven y Kleimendor, 1985, citado por, Lara 1999), esto podría explicar lo antes expuesto por Sandoval. Al respecto Resh (2001) menciona que las sales de amonio podrían ser utilizadas bajo brillantes condiciones de sol en verano cuando la fotosíntesis es alta y Sandoval (1991) reporta que no es conveniente las aplicaciones de altas relaciones amonio/nitrato a plantas jóvenes o en condiciones limitadas de fotosíntesis.

Cuando se manejan diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ , el pH de la solución nutritiva se ve influenciado por la concentración de cada uno de ellos, así, cuando se eleva la concentración del  $\text{NH}_4^+$ , el pH de la solución disminuye y cuando la concentración de  $\text{NO}_3^-$  es mayor el pH aumenta (Gallegos, 1999). Este comportamiento está directamente relacionado con la fisiología de la planta, ya que las raíces al absorber de la solución del suelo un ion de  $\text{NH}_4^+$ , libera un ion  $\text{H}^+$  que tiende a bajar el pH del medio y por el contrario al absorber un ion  $\text{NO}_3^-$ , libera un ion  $\text{OH}^-$  que aumenta el pH de la rizosfera (Lemaire, 2005).

### **2.3.3. Nutrición nitrogenada del chile habanero**

El nitrógeno (N) es el cuarto elemento en importancia en la planta por su concentración en los tejidos vegetales (Degiovanni *et al.*, 2010). Se estima que el 1.5% del peso seco de los cultivos agrícolas corresponde al N. Este elemento es un componente importante de todas las proteínas y ácidos nucleicos. Está presente en coenzimas, nucleótidos, amidas, ureidos y en la clorofila entre otros (Alcántar y Trejo, 2007), por lo que las plantas no

pueden desarrollar sus procesos vitales si carecen de nitrógeno para construir sus compuestos esenciales (Thompson y Troeh, 2002).

En el caso particular del cultivo de chile habanero, el nitrógeno es el elemento mineral más demandado, puesto que en una hectárea con 2500 plantas el cultivo extrae 211, 50 y 165 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente, durante un ciclo de cultivo, además este elemento está presente siempre en mayores proporciones con respecto a los demás elementos en las diferentes etapas fenológicas (desarrollo, floración y fructificación, maduración de frutos y cosecha) por lo que el orden de contenido de nutrimentos mayores es N>K>Ca>Mg>P (g planta<sup>-1</sup>) y en cuanto a nutrimentos menores el orden de contenido fue Fe>Zn>Mn>Cu (g planta<sup>-1</sup>) (Noh *et al.*, 2010).

El mayor incremento en la acumulación del nitrógeno, en general para las especies del genero *Capsicum*, se da partir del inicio de la fructificación. En particular para el chile habanero la etapa de fructificación ocurre a los 75 días después del trasplante (ddt) y en esta etapa ocurre la mayor absorción de nitrógeno e incremento de la biomasa total (Noh *et al.*, 2010). En el cultivo de chile jalapeño al igual que en el habanero, la mayor absorción de este elemento ocurre a los 96 y 138 ddt y según el ciclo fenológico de esta planta corresponde a la fructificación (Azofeifa y Moreira, 2008). En otros cultivos de la misma especie (*Capsicum*) tales como: poblanos, jalapeños y pimientos, en el extracto celular del peciolo se encontró que la mayor concentración de nitrógeno en forma de nitratos se obtiene durante la fructificación (Brizuela *et al.*, 2005).

## **2.4. Sustratos**

El término sustrato se aplica en horticultura a todo material sólido distinto del suelo natural, de síntesis residual mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta (Urrestarazu, 2004).

Los sistemas de producción de los cultivos sin suelo tuvieron su gran expansión en la segunda mitad de siglo XX en Europa y Estados Unidos. Las causas que los impulsaron fueron: cultivos con alto valor de rentabilidad, incremento en la producción en grandes superficies, uso de sistemas de control ambiental a través del uso de invernadero y la disminución cuantiosa de pérdidas por patógenos del suelo (Ansorena, 1994).

Los países europeos del norte en los años posteriores de la segunda guerra mundial han tenido un rápido desarrollo de los cultivos en invernadero, lo que creó la necesidad de nuevas técnicas de cultivo que pudieran prescindir del suelo como medio, pues este, sometido a intensos y reiterativos cultivos, terminaba por ser un factor limitativo y de riesgo en el proceso productivo (Nuez, 2001).

### **2.4.1. Características de los sustratos**

La importancia de un sustrato radica no solo en lo que contiene, si no en sus propiedades e indicadores. Debe de ser suficientemente denso y firme para sostener en su sitio las plantas, retener la humedad para que los riegos no sean tan frecuentes, poroso para facilitar que drene del exceso de agua, permitiendo así la entrada de oxígeno a las raíces. Hay que recalcar que ningún medio es considerado perfecto para todas las plantas y condiciones de crecimiento, puesto que las diferentes especies varían en sus necesidades tales como:

condiciones climáticas, sistemas y programas de riego, fertilización y aspectos económicos (Urrestarazu, 2004).

Considerando lo anterior, el sustrato debe ser de bajo peso, porosidad del 85%, capacidad de retención de humedad de 20-30%, tener entre 10-15% de sólidos, 20-30% de aire, ligeramente ácido (FAO, 2002), buena capacidad de intercambio catiónico, capacidad de mantener un volumen constante húmedo o seco (Ruano, 2008), fácil de almacenarse por largos periodos sin que se modifique sus propiedades físicas y químicas (Cadahia, 2005).

#### **2.4.2. Propiedades físicas del sustrato**

Las propiedades físicas de los sustratos de cultivo son muy importantes, debido a que una vez que el sustrato este en el contenedor, y la planta se desarrolle, no es posible modificar sus características físicas básicas (Ansorena, 1994 y Cadahia, 2005). Las características son: la granulometría, color, retención de agua y aeración, la porosidad, la densidad aparente y el tamaño de los granos (Ansorena, 1994 y Bordado, 2005).

La porosidad del sustrato y particularmente su distribución entre la porosidad del aire y retención de humedad son consideradas las características más importantes para el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Cabrera, 1999). La porosidad es el volumen total del medio no ocupado por las partículas sólidas, por lo tanto, lo estará por aire o agua en cierta proporción (Bordado, 2005). En sustratos de maceta la porosidad puede llegar a alcanzar valores de 95%, recomendándose un mínimo del 85% , este volumen no ocupado por partículas sólidas está cubierto por aire y agua. En cuanto al aire o capacidad de aireación, no existe unanimidad entre los diferentes autores respecto a su valor óptimo, aunque se acepta de manera general que debe de estar comprendido entre el 10 y el 20% y en cuanto a la capacidad

de retención de humedad se recomienda de 16 a 55%, para diferentes materiales (Ansorena, 1994).

Otro de los factores importantes de las propiedades físicas de un sustrato es su densidad aparente. La densidad aparente nos permite conocer la cantidad de sustrato contenido al comparar un volumen determinado. También puede servir como indicador del grado de compactación, ya que la densidad aparente aumenta con la compresión (Ansorena 1994). Los valores de densidad aparente se prefieren bajos ( $0.7-0.1 \text{ g cm}^{-3}$ ) para garantizar un mayor porcentaje de porosidad total.

La granulometría es otro factor importante ya que el tamaño de los gránulos o fibras condicionan el comportamiento del sustrato, debido a que varían su densidad aparente y su comportamiento hídrico a causa de su porosidad (Bordado, 2005).

### **2.4.3. Propiedades químicas de los sustratos**

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del sustrato: reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales (química), reacciones de intercambio de iones (físico-química) y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (bioquímica). Los materiales orgánicos son los que contribuyen en mayor grado a la química de los sustratos, debido principalmente a la formación y presencia de las sustancias húmicas, el producto final más importante de la descomposición de la materia orgánica (Urrestarazu, 2004).

La capacidad de intercambio de cationes es una de las propiedades químicas y se define como la suma de los cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso (o volumen) del sustrato. Dichos cationes pueden ser retenidos frente al efecto lixiviante del agua

y están disponibles para la planta (Urrestarazu, 2004). Esta propiedad la proporcionan algunas partículas inorgánicas y orgánicas cargadas negativamente en su superficie. Las cargas negativas generan una fuerza de atracción hacia los elementos cargados positivamente, sin reaccionar químicamente (Bunt, 1998 citado por Anicua 2008). El valor óptimo de la capacidad de intercambio catiónico de los sustratos depende estrechamente de la frecuencia de riego (Urrestarazu, 2004).

El sustrato debe de estar exento de sustancias toxicas, especialmente de metales pesados, además debe ser químicamente inerte, lo que no ocurre en muchos casos como por ejemplo compostas, vermicompostas y la turba de musgo. En general, un buen sustrato debe de tener una buena estabilidad química que evite cualquier liberación de elementos que puede generar problemas de salinidad o fitotoxicidad, o inducir en la solución precipitados indeseables (Castilla, 2004).

#### **2.4.4. Uso del tezontle como sustrato**

Las rocas volcánicas (tezontle) son materiales procedentes de la erupción de los volcanes y están constituidas por silicatos de aluminio formados por fragmentos de lava porosos, redondeados o irregulares, que se formaron al ser expelida la lava y enfriarse de golpe (Burés 1997).

En México, la roca volcánica conocida como tezontle es ampliamente utilizado como sustrato para la producción de hortalizas y flores en cultivos sin suelo (Vargas *et al*, 2008); debido a su bajo costo, disponibilidad y características físicas (densidad aparente, capacidad de aeración, retención de humedad y porosidad total (Cuadro 6)) que varía de acuerdo al tamaño de partícula (Anicua, 2008).

Burés (1997) considera a este material relativamente pesado debido a su valor de Da que se encuentre por cima del óptimo ( $<0.4 \text{ g/cm}^3$ ) reportado por Abad *et al* (1993), para los sustratos en general, de igual manera este mismo autor menciona que este mismo material tiene elevada capacidad de aireación y poca capacidad de retención de agua fácilmente disponible. Por lo que muchas veces se utiliza como aditivos o en enmiendas físicas de materiales orgánicos y que además las granulometrías gruesas, por retener muy poco agua fácilmente disponible, conviene mezclarlas con otros materiales con retención de agua más elevada.

En general las características físicas para este material fluctúan dentro de los siguientes rangos: 0.82 a 1.54  $\text{g/cm}^3$  de Da, 0.1 a 3.3 de Ch, 45 a 59% Pt, 2 a 45% de Pai, 12 a 53% de Pra, (Cuadro 6), y según Bures (1997) y Vargas (2007) reportan 6.55 y 12.2% de agua fácilmente disponible (AFD) y 1.63% y 4.9% de agua de reserva (AR) respectivamente.

Cuadro 6. Promedios de las características físicas de diferentes diámetros de partículas de tezontle de la región de Texcoco estado de México (Ordaz, 2100).

Tamaño de partícula (mm $\phi$ )	Da ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Ch Carga constante ( $\text{cm min}^{-1}$ )	Pt (%)	Pai (%)	Pra (%)
Sin cribar	1.04	1.6	55	34	21
>6.8	0.84	2.9	55	43	12
6.8 - 4.8	0.82	1.4	59	45	14
4.8 - 3.4	0.82	3.3	59	45	14
3.4 - 2.0	0.83	1.5	59	39	20
2.0 - 1.0	0.85	1.7	59	23	36
1.0 - 0.5	0.96	1.5	59	7	52
0.5 - 0.25	1.11	1.3	55	2	53
< 0.25	1.54	0.1	45	2	43

Da: Densidad aparente; Ch: Conductividad hidráulica; Pt: Porosidad total; Pai: Porosidad de aireación; Pra: Porosidad de retención de agua.

#### **2.4.5. Fibra o polvo de coco**

La fibra de coco (*Cocos nucifera* L.) es un material orgánico que procede del mesocarpio subproducto de la industria aceitera de coco (Handreck y Black, 1994) y el polvo de coco es el resultado del desfibrado del mesocarpio fibroso del coco que se procesa para obtener las fibras más largas destinadas a la fabricación de cuerdas, tapicería, etc. (Noguera *et al.*, 2003).

La fibra y el polvo del coco son usados como sustratos para la producción de cultivos agrícolas en sistemas hidropónicos, ya sea de manera individual o mezclado con algún otro material (Burés, 1997). Algunas de las razones por las que se usa como sustrato es que está compuesto de lignina y celulosa principalmente, lo que le proporciona una característica de lenta degradación y no presenta problemas de repelencia al agua, presenta estructura de poros más finos y tiene una buena capacidad de retención de agua (Handreck y Black, 1994). Este material presenta las siguientes características físicas: 0.09 g/cm<sup>3</sup> de Da, 29.7 % de Pai, 65.8 % de Ph y 93.8 % de Pt (Vargas, 2007).

#### **2.4.6. Mezcla tezontle/fibra de coco**

El uso de materiales únicos como sustrato para producir plantas en contenedor raramente son utilizados, puesto que resulta difícil que estos materiales satisfagan las necesidades del cultivo en cuanto a aireación, retención de agua, porosidad, etc. (Burés, 1997); por lo que se ha implementado el uso de mezclas de diferentes materiales con la finalidad de obtener las características adecuadas para el desarrollo de las plantas en contenedores, estos materiales pueden ser de tipo orgánico e inorgánico (Baixauli y Aguilar, 2002).

En México, la combinación del tezontle con la fibra de coco es una de las mezclas a la que se le ha prestado mucha atención para su uso como sustrato en los cultivos hidropónicos debido a sus características físicas que presenta. San Martín (2011), reporta que una proporción 75% de tezontle mezclado con 25% de fibra de coco para diferentes rangos de granulometrías (3-5 mm, 5-10 mm, 10-20 mm y 20-30 mm), presentan las siguientes características: 0.6-0.76 g/cm<sup>3</sup> de densidad aparente (Da), 66.3- 62% de porosidad total (Pt), 19.0-27.2% de porosidad de aireación (Pai) y 39.2- 46.7% de porosidad de humedad (Ph) y Anicua (2008), menciona que una proporción de 60/40%, para tamaños de partículas de 1mm, 3.36 mm y a granel presenta las siguientes características: 0.53, 0.42 y 0.51 g cm<sup>-3</sup> de Da, 82.20, 76.94 y 77.94% de Pt, 49.13, 48.88 y 42.90% de Pai y 33.07, 28.06 y 35.04% Ph respectivamente.

### **III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **3.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de diferentes relaciones amonio/nitrato y granulometrías en el rendimiento, calidad del fruto y producción del chile habanero.

#### **3.1.2. Objetivos específicos**

Identificar los efectos del amonio en el desarrollo de la planta de chile habanero.

Evaluar el efecto de la granulometría del tezontle en las plantas de chile habanero

Evaluar el efecto del suministro de amonio en la síntesis de capsaicina en los frutos de chile habanero.

#### **3.2. Hipótesis general**

Las diferentes relaciones amonio/nitrato en combinación con diferentes granulometrías de tezontle como sustrato, influyen en el crecimiento de las plantas, afectando el rendimiento y la calidad de los frutos.

#### **3.2.1. Hipótesis específica**

El amonio afecta el desarrollo de las plantas de chile habanero

El diámetro de las partículas de un sustrato juega un papel muy importante en las características físicas de los sustratos tales como la aireación y la humedad afectando el desarrollo de las plantas de chile habanero.

Una fracción del nitrógeno de la solución nutritiva en forma de amonio estimula la síntesis de capsaicina.

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Ubicación del experimento**

La investigación se realizó en los invernaderos del campus Montecillo del Colegio de Posgraduados, localizado a 19° 27' latitud norte y 2240 m de altitud dentro del municipio de Texcoco, estado de México.

### **4.2. Material vegetal**

Se utilizó semilla de chile habanero cv. Criollo naranja, con las siguientes características: altura media de 67.4 cm, 70 días a floración, rendimiento promedio por planta 898 g, 132 frutos por planta, frutos de color verde a naranja en estado intermedio a maduro respectivamente (Trujillo, 2005).

### **4.3. Sustrato**

Como sustrato se utilizó una mezcla de tezontle rojo y fibra y polvo de coco utilizados con anterioridad para la producción de tomate, en un solo ciclo de cultivo (San Martín, 2011), cuya proporción fue de 75:25% respectivamente. Para el tezontle se usaron tres diferentes tamaños de partículas: 3-5, 5-10, 10-20 mm de diámetro y tezontle sin cribar. Para poder obtener los diámetros de partículas ya mencionados se utilizó una criba con las dimensiones respectivas.

Se usaron bolsas de 1m de largo x 0.20 m de ancho y 0.10 m de altura con capacidad aproximada de 20 litros de sustrato, previo al trasplante se desinfectó el sustrato con hipoclorito al 5% y de igual forma se le dieron lavados con agua acidulada (pH=5) para eliminar las sales que pudiera contener el sustrato del cultivo pasado.

#### **4.4. Solución nutritiva**

Para la solución nutritiva se utilizaron cuatro relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ , obtenidos modificando la solución nutritiva universal de Steiner, agregando 0, 10, 20, y 30% de N en forma de amonio a la fuente de suministro de N, obteniendo de esta forma las siguientes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ : 0/100, 10/90, 20/80y 30/70.

#### **4.5. Tratamientos y Diseño Experimental**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial factorial  $4^2$ , donde los dos factores fueron diferentes relaciones amonio/nitrato y diferentes diámetros de tezontle, cada factor contenía cuatro niveles. Los 16 tratamientos obtenidos del arreglo factorial se reportan en la Figura 2. Para cada tratamiento se colocaron tres repeticiones obteniéndose en total 48 unidades experimentales. Como unidad experimental se utilizo un contendor de 1m de largo x 0.20 m de ancho y 0.15 m de altura con capacidad de 24 litros de sustrato en la cual se colocaron tres plantas por contendor.

Previo al trasplante se evaluaron las características físicas de las mezclas (sustratos) en laboratorio, usando un diseño completamente al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos fueron únicamente los diferentes tamaños de partículas (figura 2).

Para la evaluación del contenido de capsaicina se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones, para los tratamientos fueron tomados en cuenta únicamente las diferentes relaciones amonio/nitrato (Figura 2).

		Sustratos y sus diferentes Diámetros				
		T1	T2	T3	T4	
		3-5mm	5-10mm	10-20mm	Sin cribar	
<b>Solución</b>	<b>S1</b>	<b>100/0</b>	<b>S1T1</b>	<b>S1T2</b>	<b>S1T3</b>	<b>S1T4</b>
<b>Nutritiva</b>	<b>S2</b>	<b>90/10</b>	<b>S2T1</b>	<b>S2T2</b>	<b>S2T3</b>	<b>S2T4</b>
<b>Relación</b>	<b>S3</b>	<b>80/20</b>	<b>S3T1</b>	<b>S3T2</b>	<b>S3T3</b>	<b>S3T4</b>
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>S4</b>	<b>70/30</b>	<b>S4T1</b>	<b>S4T2</b>	<b>S4T3</b>	<b>S4T4</b>

Figura 2. Tratamientos utilizados.

## 4.6. Establecimiento del experimento

### 4.6.1. Preparación del semillero

El semillero se estableció en charolas de poliestireno de 200 cavidades. Dichas charolas antes de la siembra se lavaron y desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 5%. Para el llenado de charolas se utilizó como sustrato turba comercial (Sunshine®), el cual es una mezcla especialmente diseñada para mejorar las condiciones de germinación y desarrollo de plántulas, el sustrato contiene turba (musgo Spargilum), perlita (mineral estéril e inorgánico) y vermiculita (material inerte a partir de silicatos de aluminio, hierro y magnesio).

La siembra consistió en depositar una semilla por cavidad, posteriormente se le aplicó el riego con agua y fungicida (Previcur®) a una concentración de 1 mL por cada litro de agua, el riego se realizó saturando el sustrato por completo para uniformizar la humedad en las charolas y por último se apilaron y taparon las charolas con un plástico (nylon) de color negro.

Una vez germinadas las semillas se procedió a colocar las charolas en el invernadero, en donde se le dio los cuidados de riego y fertilización hasta los 35 días después de la germinación. Los riegos dependieron de la humedad que se observó en el sustrato, peso de la charola, pérdidas por escurrimientos, edad de la planta, temperatura y en un momento dado por el aspecto de la plántula, aplicándose entre 0.5 a 1 litro por charola/día. La fertilización se inició al aparecer las primeras hojas verdaderas aplicando la solución Steirner al 25%.

#### **4.6.2. Trasplante**

El trasplante a los sustratos se realizó a los 35 días después de la germinación, cuando las plántulas alcanzaron una altura promedio de 15 a 18 cm. Ésta actividad se realizó en las horas de la tarde. Antes de trasplantar se saturaron los sustratos con las soluciones nutritivas correspondientes.

#### **4.6.3. Preparación de las soluciones nutritivas**

Para la fertilización se utilizó la solución universal Steiner cuyas relaciones mutuas entre iones en meq L<sup>-1</sup> es de 12:1:7 para NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y 7:9:4 para K<sup>+</sup>: Ca<sup>2+</sup>:Mg<sup>2+</sup>. (Steiner, 1968,1984), Modificando la fuente de nitrógeno, al remplazar conforme a los tratamientos los porcentajes de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por NH<sub>4</sub><sup>-</sup>. Las cantidades aportadas en la solución para cada ion aparecen reportadas en el cuadro 7. Como fuente de microelementos se utilizó una mezcla comercial (Multi-micro comb®) cuyos porcentajes son las siguientes: 7.1% Fe, 3.48% Mn, 1.02% Zn, 0.76% Cu, 0.485% Mo, y se aplicaron 20 g por cada 1000 litros de agua. El pH se ajustó a 5.5.

Cuadro 7. Descripción de los tratamientos con diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .

Tratamientos	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$
$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ (%)	meq $\text{L}^{-1}$	
1 (0/100)	0	12
2 (10/90)	1.2	10.8
3 (20/80)	2.4	9.6
4 (30/70)	3.6	8.4

## 4.7. Manejo Agronómico

### 4.7.1. Riego

La frecuencia y duración de los riegos estuvo en función de los factores ambientales, manteniendo siempre una humedad constante. El suministro de agua varió de acuerdo a la edad de la planta, ya que para aquellas de 15 días después del trasplante, el gasto aplicado fue de 350 ml planta<sup>-1</sup>, y en plantas en producción se aplicó aproximadamente 1.3 a 2 l planta<sup>-1</sup> de las soluciones nutritivas, con base en trabajos previos para establecer el adecuado nivel de humedad en los sustratos.

### 4.7.2. Podas y tutoreo

Se manejaron tres ramas por planta, que se seleccionaron a los 30 días después del trasplante. La poda consistió en la eliminación de los rebrotes del tallo principal, hojas viejas y ramas, y además se colocaron tutores por cada rama para mantenerlas erguidas, por medio de hilo de rafia, desde el tallo principal de la plantas hasta el techo del invernadero.

## **4.8. Caracterización física del sustrato**

### **4.8.1. Densidad aparente (Da)**

Para determinar esta característica se utilizaron permeámetros con perforaciones en la parte inferior. Debido a que la Da se determina aplicando la fórmula masa sobre volumen, se procedió a determinar los volúmenes y la masa de los sustratos. Para obtener el volumen de los permeámetros, primero se pesó el recipiente, posteriormente se llenó con agua y se pesó, al peso obtenido se le restó el peso del permeámetro sin agua y el valor obtenido se tomó como el volumen del permeámetro. La masa se obtuvo saturando las muestras con agua en recipientes de aproximadamente 500 mL. Una vez ya saturada la muestra se colocaron en los permeámetros hasta llenarlos en donde se dejó drenar el agua que contenía por los orificios previamente sellados con cinta adhesiva. Una vez drenados por completo, se procedió a colocar las muestras en charolas de aluminio (previamente pesadas) y en las que finalmente se colocaron en una estufa a temperatura constante de 70 °C por 24 h, para obtener los pesos secos, al peso seco se le restó el peso de la charola y la diferencia se tomó como la masa del sustrato.

$$DA = \text{peso seco de la muestra} / \text{volumen del permeámetro}$$

### **4.8.2. Porosidad total (Pt), Porosidad de aireación (Pai) y Retención de humedad (Rh).**

Se siguió el mismo procedimiento que para la determinación de la DA, con excepción de que para estas características, se tomó el peso del sustrato saturado y drenado. Con la resta de estos dos datos se obtiene el volumen de aire y con la resta del peso saturado menos el peso del sustrato seco se obtiene el volumen total de poros.

Para la obtención de los porcentajes de Pt, Pai y Rh. Se aplicaron las siguientes formulas:

Porosidad total (%) = %Pt = (volumen total de poros/Vp) 100

Porosidad de aireación (%) = %Pai = (Vai/Vp) 100

Retención de humedad (%) = %Rh= %Pt - %Pai

#### **4.8.3. Curvas de retención de agua**

Para determinar esta característica se utilizó el método propuesto por De Boodt (1974) y Ansorena (1994), que se basa en establecer tensiones de 0 a 100 cm a los sustratos situados en embudos. En las curvas de retención de humedad se consideraron los siguientes parámetros (Burés, 1997):

Agua difícilmente disponible (ADD): es el agua en tanto por ciento en volumen, que queda retenida en el sustrato tras aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua (c.a.).

Agua de reserva (AR): es el porcentaje en volumen de agua que se libera entre 50 y 100 cm de c.a. de tensión sobre el sustrato.

Agua fácilmente disponible (AFD): es el tanto por ciento en volumen de agua que se libera entre 10 y 50 cm de tensión en columna de agua.

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

Material solido (MS): es el porcentaje en volumen ocupado por la materia solida del sustrato.

#### **4.8.4. Materia orgánica**

Para la determinación de materia orgánica se secaron los sustratos a temperatura ambiente. Se pesaron 2 g, se colocaron en crisoles (previamente pesados), se introdujeron en una mufla a temperatura de 500°C durante cuatro horas y por último se introdujeron en un desecador en donde se dejó enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se pesaron.

La fórmula para determinar los porcentajes de materia orgánica fue la siguiente:

% Materia orgánica (MO) = peso inicial del sustrato – peso final / peso inicial del sustrato

#### **4.8.5. Conductividad hidráulica**

Es la facilidad con que un material permite el paso del agua través de éste, y está representado por el volumen de agua que fluye a través de una columna de suelo bajo una gradiente unitaria y por unidad de tiempo. También se le conoce como coeficiente de permeabilidad (Burés, 1997).

La determinación se basó en la medida del flujo a través de un material en el tiempo y la caída de presión en el proceso, esto se realizó por el método indicado por Black *et al.* (1965), utilizando un permeámetro que consistió en una columna que se llenó de las muestras de sustratos y por la que se hizo pasar una corriente de agua, midiendo la caída de presión.

Por último con los datos obtenidos se calculó la conductividad hidráulica aplicando la siguiente fórmula:

$$K = \frac{Q * L}{A * t * h}$$

Dónde:

$K = \text{cm}^3/\text{min}$

$Q = \text{gasto cm}^3$

$L = \text{altura de la muestra (cm)}$

$A = \text{área} = (\pi/4) (d^2)$

$t = \text{tiempo} = 1 \text{ minuto}$

$h = \text{altura de la base al menisco (cm)}$

#### **4.9. Variables de estudio**

##### **4.9.1. Altura de la planta**

Se inició a los 15 días después del trasplante y posteriormente se realizaron mediciones semanalmente, con una cinta métrica, a partir de la base del sustrato hasta la altura máxima alcanzada.

##### **4.9.2. Diámetro del tallo**

Se midió utilizando un vernier, esto se realizó semanalmente cuidando de hacer las lecturas a la misma altura del tallo.

##### **4.9.3. Número de frutos por planta**

En cada corte (cosecha) se contó el número de frutos por cada planta.

##### **4.9.4. Peso, longitud y diámetro de fruto**

Por cada tratamiento se seleccionaron al azar 15 frutos, a las cuales con una regla se les midió la longitud del pedúnculo hasta la punta del fruto, con un vernier se les midió el diámetro, ubicando el vernier en la parte media de los frutos y por último se pesaron individualmente con una balanza semianalítica para obtener el peso por fruto.

#### **4.9.5. Rendimiento**

Para obtener el rendimiento, se pesó el total de frutos por tratamientos en cada corte y posteriormente se sumaron todos los cortes.

#### **4.9.6. Calidad del fruto**

Se clasificaron todos los frutos de los tratamientos en cada corte, tomando en cuenta los siguientes rangos: primera calidad ( $\geq 10g$ ), segunda calidad ( $\geq 7g$ ) y tercera calidad ( $< 6g$ ).

#### **4.9.7. Concentración de capsaicina en fruto**

La metodología utilizada consistió en la extracción, purificación y cuantificación de la capsaicina por espectrofotometría (Rios 1969 y Roaro 1982).

La extracción se realizó colocando 2.5 gramos de fruto fresco picado en cartuchos de papel filtro Whatman (22 mm de diámetro por 80 mm de longitud); los cartuchos se introdujeron en tubos de vidrio y estos en vasos de precipitado de vidrio de 150 ml, se adicionaron 25 ml de alcohol isopropílico como agente extractor, se instalaron en un equipo de soxhlet y el calentamiento y reflujo se mantuvo por 2.5 h entre 71 y 76 °C. Los extractos obtenidos de color verde se enfriaron a temperatura ambiente.

El proceso de purificación consistió en colocar los extractos en frascos de plástico (90 mL) a los cuales se les adiciono alrededor de 7.5 g de carbón activado. Los frascos se colocaron en el agitador de vaivén por 5 minutos y posteriormente se filtraron los extractos en papel Whatman Numero 42, adicionando 20 ml de alcohol isopropílico en dos aplicaciones para lavar el carbón activado. Los extractos verde claro finalmente se aforaron a 75 mL con alcohol isopropílico.

La cuantificación se realizó en un espectrofotómetro (UV visible, HP 8453) a 281 nm. La curva de calibración se preparó con capsaicina pura al 95%. Como blanco se utilizó alcohol isopropílico. Se hicieron diluciones a las muestras a razón de 3 ml de alícuota aforada a 10 ml con alcohol isopropílico. Para calcular la concentración del alcaloide se tomó la lectura de absorbancia en la curva y se relacionó con su concentración ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ), esta concentración se multiplicó por el volumen de aforo de la alícuota (10 mL), la cantidad obtenida se dividió entre el volumen de la alícuota (mL), posteriormente se multiplicó por el volumen del aforo final del proceso de purificación (75 mL), este valor se multiplicó por 1000, para convertir  $\mu\text{g}$  a mg, y finalmente se dividió entre el peso fresco de la muestra de chile utilizado (2.5 g), para obtener los mg del alcaloide por g de fruta en peso fresco.

#### **4.10. Análisis estadístico**

Se realizó el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias por Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) para detectar efecto estadísticamente diferente entre los tratamientos.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Comparación de las características físicas de la mezcla en dos ciclos de cultivos

De manera general, al comparar los valores del tezontle sin mezclar con los datos reportados como óptimos por Abad *et al.*, (1993) para los sustratos (Cuadro 8), se observa que las densidades aparentes (Da) y los porcentajes de aireación (Pai) para los diferentes diámetros se encuentran por encima del óptimo, mientras que los porcentajes de retención de agua (Pra) y porosidad total (Pt) se encuentran por debajo de los óptimos reportados (Cuadro 8). Las Granulometrías gruesas son de elevada capacidad de aireación y poca capacidad de retención de agua, por lo que se recomienda mezclarlos con otros materiales con retención de agua más elevada (Burés, 1997).

La fibra de coco debido a su alta capacidad de retención de agua se ha utilizado tradicionalmente para mejorar las propiedades físicas y químicas de los sustratos, ya que este material mejora la retención de agua, aumenta la disponibilidad de nutrientes y la tasa de infiltración (Burés, 1997). La fibra de coco presenta valores óptimos para todas sus características físicas (Da, Pai, Pt y Pra) evaluadas (Cuadro 8), su único inconveniente al ser utilizado solo, es la susceptibilidad a compactarse por ser de origen orgánico generando problemas en el desarrollo radical de las plantas.

San Martín (2011) en un experimento realizado con una mezcla de tezontle con fibra de coco en una proporción 75/25 (%) respectivamente, para diferentes tamaños de partículas estudiadas (3-5, 5-10 y 10-20 mm) encontró valores de Pai dentro del rango y valores de Pra cercanos a los óptimos (Cuadro 8). Los valores reportados para Da estuvieron cada vez más por arriba del óptimo, afectando también la Pt, que disminuyó conforme aumentó la Da

(Cuadro 8). Al respecto, Burés (1997) menciona que al mezclar partículas de distintos tamaños, las mezclas resultantes tienen mayor densidad aparente y menor porosidad que antes de mezclarlas, lo cual se observó en este trabajo.

Cuadro 8. Valores óptimos de las características físicas de los sustratos, valores de diferentes tamaños de partícula de tezontle sin mezclar y valores de una mezcla de tezontle con fibra de coco al inicio y final del ciclo del cultivo.

		Da	Pai	Pra	Pt
		g/cm <sup>3</sup>	-----%-----		
Valores óptimos <sup>e</sup>		<0.4	10-30	55-70	>85
Fibra de coco <sup>β</sup>		0.09	29.7	65.8	93.8
	Ø sustratos (mm)				
Tezontle sin mezclar <sup>†</sup>	3-5	0.83	39.0	20.0	59.0
	5-10	0.82	45.0	14.0	59.0
	10-20	0.84	43.0	12.0	55.0
	Sin cribar	1.04	34.0	21.0	55.0
Mezcla primer ciclo de cultivo <sup>ε</sup>	3-5	0.75	20.3	41.7	62.0
	5-10	0.76	19.0	46.7	65.7
	10-20	0.70	20.3	44.6	65
Mezcla segundo ciclo de cultivo <sup>†</sup>	3-5	0.67	40.03	28.2	68.3
	5-10	0.68	34.6	34.25	68.9
	10-20	0.75	33.2	30.03	63.2
	Sin cribar	0.76	25.02	37.28	62.31

<sup>e</sup> Valores óptimos reportados por Abad *et al.* (1993); <sup>†</sup>Valores de tezontle sin mezclar reportados por Ordaz (2010); <sup>β</sup> Valores de fibra de coco sin mezclar (Vargas, 2007); <sup>ε</sup>Valores de la mezcla de tezontle 75/25 (%) de tezontle +fibra de coco previo al trasplante del cultivo de jitomate reportado por San Martín (2011); <sup>†</sup>Valores obtenidos después del ciclo de cultivo de jitomate para su uso en un segundo ciclo de cultivo de chile habanero.

Al culminar el ciclo del cultivo de jitomate se llevó a cabo de nuevo la caracterización física de la mezcla, en la cual se observó que Da disminuyó y pt aumentó respecto a valores iniciales del ciclo reportados (San Martín, 2011). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Martínez (2009) al evaluar cáscara de almendra como

sustrato usada para varios ciclos de cultivo. La disminución de la Da puede ser atribuido al de la Pt, al respecto Anicua (2008) menciona que al aumentar Pt disminuye Da. El aumento de la Pt podría ser atribuido al empaquetamiento de las partículas por la humedad y el efecto de las paredes del contendor. Burés (1997) menciona que el empaquetamiento de las partículas se da de modo distinto cuando están en contacto con una pared lisa aumentando el tamaño de los poros y la porosidad y que este fenómeno hace que el tamaño del contendor tenga un efecto en la porosidad del sustrato principalmente en contenedores pequeños.

Para valores Pai se observa un aumento con respecto a los obtenidos al inicio del ciclo, esto podría ser atribuido a los poros grandes formados cerca de las paredes por el efecto del empaquetamiento, ya que al existir poros más grandes cerca de las paredes se establecen canales preferentes de drenaje, aumentando la aireación del sustrato (Burés, 1997). Con respecto a Pra se observa una disminución por aumento de Pai, ya que la Pai y Pra son complementarias y mutuamente variantes debido a que al aumentar una, la otra disminuye (Verdonck *et al.*, 1974).

En las evaluaciones realizadas a los cultivos establecidos en los sustratos en un primer ciclo San Martín (2011) reportó que el tamaño de partícula de tezontle mezclado con polvo de coco en la proporción 75:25% tezontle: fibra de coco no afecta significativamente la altura de planta y el rendimiento de tomate producido bajo sistemas hidropónicos. Mientras que en las evaluaciones realizadas en un segundo ciclo de cultivo de chile habanero, se encontró que el tamaño de partícula si afecta significativamente la altura de planta, el rendimiento y las características de calidad del fruto (peso, longitud y diámetro) (Cuadros 12 y 15). Más adelante se señala y discute cual fue el mejor tratamiento y el porqué de este comportamiento.

Las diferencias encontradas en el desarrollo de las plantas y rendimiento entre plantas del segundo ciclo de cultivo se debió a los cambios observados en las características físicas del sustrato haciendo énfasis en la relación Pai/Pra, ya que en el análisis físico del sustrato al final del primer ciclo se observó que los rangos de tamaño de partículas 3-5mm y tezontle sin cribar, las proporciones Pai/Pra no quedaron en iguales proporciones, mientras que los rangos de tamaños de partículas 5-10 y 10-20 mm sus proporciones Pai/Pra quedaron de igual proporción (Cuadro 8), lo que lo hace adecuado para cultivos sin suelo al presentar esas características. Al respecto Verdonck *et al.* (1974) recomiendan que los sustratos usados en el cultivo sin suelo presenten un óptimo en la porosidad total, pero que Pai y Pra estén en igual proporción (1:1), lo que coincide con Urrestarazu (2004) quien menciona que cuando se cultivan plantas en contenedores de baja altura se seleccionan sustratos con una proporción 50% aire y 50% agua. Y por otra parte en el segundo ciclo de cultivo se usó chile habanero en lugar de jitomate lo que pudo influir para que existieran diferencias significativas en el comportamiento de las variables altura y rendimiento entre plantas de un ciclo a otro. Burés (1997) menciona que las características de los sustratos dependen del cultivo en cuestión.

Por todo lo ya mencionado y discutido, de manera general se puede establecer que el tezontle por si solo presenta características físicas fuera de los rangos óptimos reportados por Abad *et al.*,(1993) y que una mezcla con fibra de coco con una proporción 75/25 respectivamente, mejora las características físicas acercándose a los rangos óptimos, además el uso de esta mezcla en un segundo ciclo de cultivo es afectado por el empaquetamiento de forma positiva o negativa de acuerdo al tamaño de la partícula de tezontle en la mezcla y también los restos de las raíces en descomposición .

## 5.2. Análisis físico del sustrato al inicio del cultivo de chile habanero

### 5.2.1. Densidad aparente

Al realizar el análisis de la varianza a las características físicas de la mezcla con diferentes tamaños de partículas al término del primer ciclo de cultivo se encontraron diferencias significativas para Da (Cuadro 9). En general, la mezcla tezontle sin cribar + 25% de fibra de coco fue la que mostró la mayor Da ( $0.76 \text{ g cm}^{-3}$ ) y la mezcla con partículas de 3-5 mm de diámetro + 25% de fibra de coco fue la menor ( $0.67 \text{ g cm}^{-3}$ ).

Cuadro 9. Caracterización física de los sustratos. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

Características físicas del sustrato						
Tratamientos	Da	Pt	Pai	Pra	MO	K
	$\text{gcm}^{-3}$	-----%				$\text{cm min}^{-1}$
T1	0.67b	68.31a	40.03a	28.27a	1.87a	6.51a
T2	0.68ab	68.93a	34.69a	34.25a	2.91a	6.09a
T3	0.75ab	63.28b	33.25ab	30.03a	2.75a	6.48a
T4	0.76a	62.31b	25.02b	37.28a	2.66a	4.97b

Da: densidad aparente; Pt: porosidad total; Pai: porosidad de aireación; Pra: porosidad de retención de agua; MO: materia orgánica; K: conductividad hidráulica.

Los tratamientos T1 y T2 son estadísticamente iguales entre sí al igual que con los tratamientos T1 y T4 (Cuadro 9). Con los valores reportados en el Cuadro 9 se nota que al aumentar el tamaño de las partículas aumenta Da, contrario a lo reportado por Vargas *et al.* (2008) y San Martín (2011) cuando solo se usa el tezontle y en mezclas al inicio de un ciclo de cultivo. Los valores reportados para esta características se encuentra por encima del óptimo encontrado por Abad *et al.* (1993), pero dentro de los valores obtenidos por Bordado (2005):  $0.7- 0.1 \text{ g cm}^{-3}$ .

### **5.2.2. Porosidad total (Pt), Porosidad de aireación (Pai) y Porosidad de retención de agua (Pra)**

Los valores presentados en el Cuadro 9 para la porosidad total (Pt) indican que hubo diferencias significativas entre tratamientos, al igual que para la porosidad de aireación (Pai), no así para la porosidad de retención de agua (Rh), en la cual no hubo diferencia significativa. Para Pt se notó que conforme aumentó la Da la porosidad disminuyó, lo cual concuerda con lo reportado en la literatura (Burés, 1997; Anicua 2008). Los sustratos con partículas  $\leq 10$  mm de diámetro tuvieron Pt mayores respecto a los de partículas  $\geq 10$  mm de diámetro. Al respecto Burés (1997) menciona que en una mezcla al aumentar la proporción de partículas mayores la porosidad decrece debido a que el volumen que estaría lleno de partículas pequeñas, con sus poros externos, se llena de material sólido.

Los valores de Pai (Cuadro 9) tuvieron un comportamiento similar al del Pt, en la que se reporta que el dato más alto se obtuvo en el tratamiento que contenía rangos de tamaños de partículas de 3-5 mm y el más alto se encontró en el tezontle sin cribar. Anicua (2008) reporta que del total de poros existentes en un sustrato el agua ocupa los más pequeños y el aire los más grandes por lo que se esperaría que en los sustratos con diámetro de partículas mayores contengan mayor porcentaje de aireación, contrario a lo ocurrido en este experimento. Este mismo autor menciona que cualquier acción que reduzca el tamaño de los poros más grandes disminuirá la proporción de aire en el medio. Lo que pudo haber ocurrido en este trabajo debido a la posible compactación que sufrieron los constituyentes del sustrato, reduciendo así el tamaño de los poros más grandes.

En cuanto a la Pra el sustrato que contenía tezontle sin cribar fue el que alcanzó el valor más alto con 37.28% y el más bajo fue de 28.27% correspondiente al sustrato con 3-5

mm de diámetro de tezontle. Esta diferencia se debió a que el tezontle sin cribar contenía partículas más pequeñas a las evaluadas. Al respecto Vargas *et al.* (2008) y Ansorena (1994) mencionan que a partir de la fracción de 0.50-0.71 mm y menores, se manifiesta un incremento significativo en la capacidad de retención de humedad (Rh), con valor máximo en la fracción de 0.25-0.50 mm y Anicua (2008) menciona que el tamaño de los poros condicionan la aireación y la retención de agua en el sustrato.

### **5.2.3. Materia orgánica y conductividad hidráulica**

En el contenido de materia orgánica no se encontró diferencias significativas entre tratamientos. Se observó el valor más alto en el tratamiento T2 y el más bajo en T3 (Cuadro 9), las diferencias que se aprecian entre los tres primeros tratamientos pueden ser atribuidas a las reacciones físicas y bioquímicas en el sustrato puestos que fueron expuestos a un primer ciclo de cultivo. En cuanto a la conductividad hidráulica se encontraron diferencias significativas (Cuadro 9), siendo diferente el T4 que no había sido sometido un primer ciclo de cultivo, mientras que entre los tres primeros tratamientos (T1, T2, T3) utilizados para un primer ciclo de cultivo no existió diferencia significativa. Para el tratamiento T4 se reporta  $4.97 \text{ cm min}^{-1}$  de Ch, mientras que en los tratamientos T1, T2 y T3 se reportan valores por encima de  $6 \text{ cm min}^{-1}$  (Cuadro 9), por lo que se puede establecer que el reutilizar esta mezcla aumenta la conductividad hidráulica.

### **5.2.3. Curvas de retención de agua**

En la Figura 3 y Cuadro 10 se reporta el comportamiento para la retención de agua, en donde se observa que los valores y comportamiento difiere de acuerdo al tamaño de las partículas. Anicua (2008) reporta un comportamiento similar en partículas  $<10 \text{ mm}$  de

diámetro de tezontle. Los valores más altos para agua no disponible (AND) se obtuvieron en los sustratos T1, T3 Y T4 (33, 29 y 28%) y la menor se dio en el sustrato T2 (20%) (Cuadro 10). Este comportamiento influyó en los valores para agua fácilmente disponible (AFD) en los sustratos con partículas específicas (T1 y T3), en donde se aprecia que valores de AND mayores al 20% contenían menos del 10% de AFD, no así para el sustrato sin cribar T4 en el que se observó un mayor porcentaje de AFD (18%) con un valor de AND por encima del 20%, por lo que este tratamiento tuvo una valor más alto de AFD que los tratamientos T1 y T3, pero menor con respecto a T2 (Cuadro 10 y Figura 3).

El comportamiento de T4 pudo ser atribuido a la diversidad de tamaños de partículas que lo conforma, ya que este no tenía un tamaño de partícula específico puesto que no se cribó. Al respecto Anicua (2008) menciona que el tipo y distancia de los poros en partículas pequeñas proporcionan una mejor percolación y disponibilidad de agua al presentarse un arreglo diferente entre partículas.

Cuadro 10. Valores de los componentes para la construcción de las curvas de retención de humedad para cada tratamiento.

Tratamiento	Sólidos	AND	AFD	AR	ADD
	-----%-----				
T1	31.69	33	7	4	8.9
T2	31.06	20	27	0	11
T3	36.71	29	3.1	0.06	11.3
T4	37.68	28	18	2	10.9

AND: agua no disponible; AFD: agua fácilmente disponible; AR: agua de reserva; ADD: agua difícilmente disponible.

El sustrato T2 presentó un valor mayor AFD (27%), pero menor de agua de reserva (AR) (0%) con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 10); este comportamiento puede ser atribuido a su contenido de materia orgánica puesto que fue la que mayor contenido reportó (2.9%) (Cuadro 9). Además, su porcentaje de ADD se encuentra entre los valores más altos

(11%) ya que al tener mayor contenido de materia orgánica es susceptible a formar poros pequeños. Ansorena (1994) menciona que aunque la retención de agua de un sustrato sea elevada puede ocurrir que se encuentre adsorbida en los microporos de pequeño tamaño, con una fuerza superior a la succión que la planta es capaz de ejercer, lo que se pudo observar en este trabajo.

Este mismo autor reporta que en condiciones de crecimiento óptimo es necesario que el sustrato o mezcla posea simultáneamente entre 20y 30% de AND y AFD, con solo un 4 a 10% de agua de reserva (AR). En los resultados obtenidos (Cuadro 10) el sustrato T2 es el que más se asemeja a los datos reportados con 20 y 27% AND y AFD y 0% de AR, por lo que era de esperarse que se encontrara entre los dos tratamientos que reportan una mayor altura de planta (Cuadro 12). Excepto T2, el tratamiento T4 comparado con los demás tratamientos es otro de los sustratos en donde se observa valores (28%, 18% y 2% de AND, AFD y AR) cercanos a los reportados por Ansorena (1994). Aunque este sustrato se acerca a los valores óptimos reportados por Ansorena (1994) para un buen desarrollo de la planta, contrariamente fue donde se observaron los valores más bajos para altura de la planta (Cuadro 12). Esto debido a que su conductividad hidráulica fue menor con respecto a los demás sustratos ( $4.97 \text{ cm min}^{-1}$ ). Al respecto, Burés (1997) menciona que es muy importante que el flujo de agua hacia las raíces de la plantas sea elevado con el fin de reponer el agua perdida por transpiración.

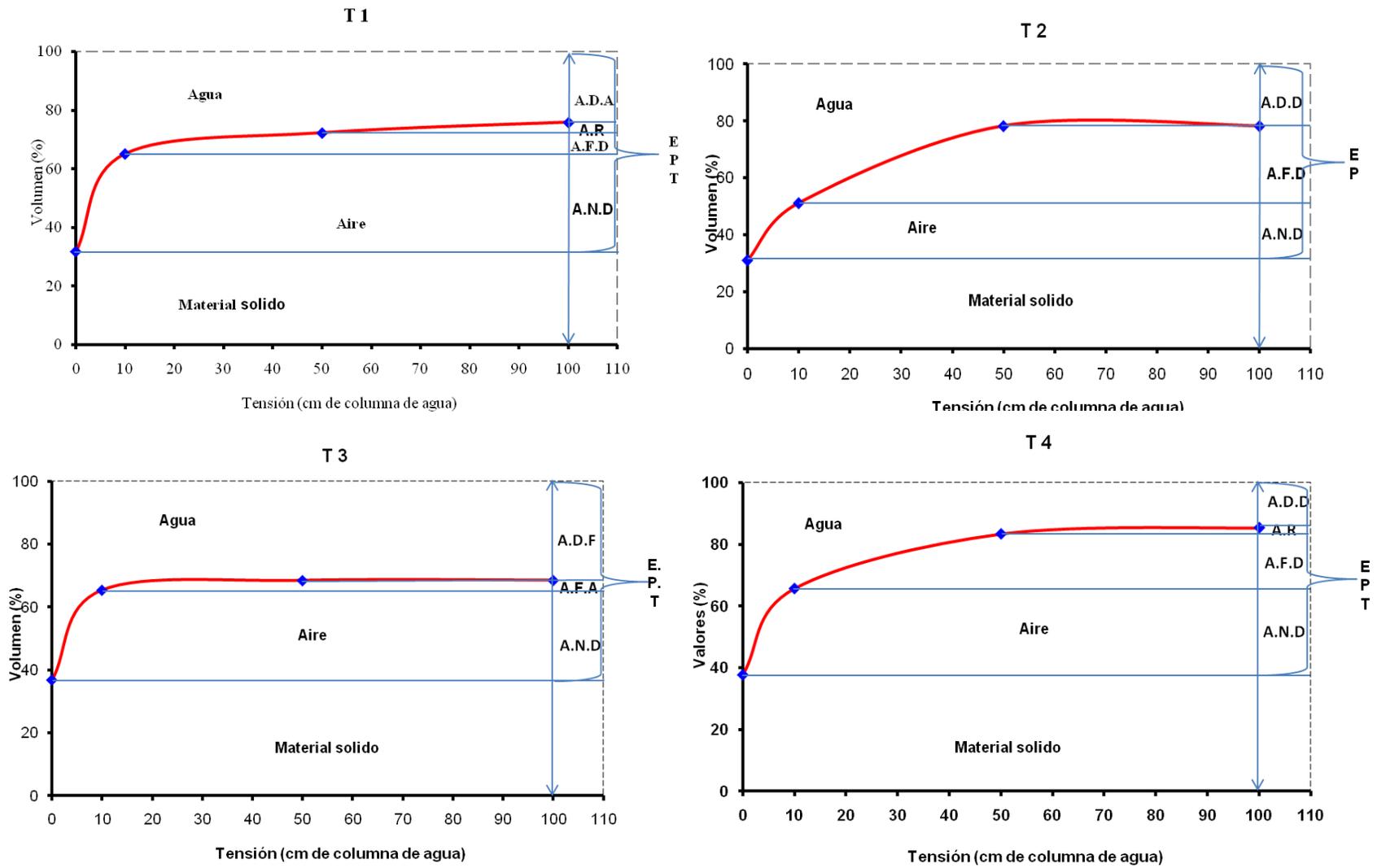


Figura 3. Curvas de retención de humedad para los distintos tamaños de tezontle mezclado con fibra de coco.

### 5.3. Altura y diámetro del tallo

Los valores finales obtenidos para la altura y el diámetro del tallo de las plantas se reportan en el Cuadro 11; hubo diferencias significativas entre tratamientos con respecto a la variable altura. La mayor altura de planta fue de 98.10 cm la que se obtuvo con el tratamiento S4T1 y la menor fue de 81.22 cm con el tratamiento S2T4.

Cuadro 11. Altura de planta y diámetro de tallo a los 100 días después del trasplante para cada combinación de tratamiento en el cultivo de chile habanero. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (cm)
S4T1	98.10 a	1.69 a
S1T1	96.88 a	1.70 a
S2T1	96.77 a b	1.60 a
S2T2	96.00 a b	1.57 a
S3T3	95.99 a b	1.72 a
S3T1	92.22 a b c	1.72 a
S4T2	91.88 a b c	1.69 a
S1T2	90.44 a b c	1.68 a
S4T3	90.10 a b c	1.56 a
S3T2	87.77 a b c	1.58 a
S2T3	87.33 a b c	1.61 a
S3T4	85.72 a b c	1.57 a
S1T3	83.11 b c	1.58 a
S1T4	82.99 b c	1.56 a
S4T4	82.88 b c	1.54 a
S2T4	81.22 c	1.52 a

Relaciones (%)  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  (S1: 0/100; S2: 10/90; S3: 20/80; S4: 30/70); Tamaños de partículas (mm) de tezontle (T1: 3-5; T2: 5-10; T3:10-20; T4: sin cribar).

Cuadro 12. Altura y diámetro del tallo (cm) del chile habanero a los 100 días después del trasplante para cada factor evaluado de forma independiente. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

	Solución			Sustrato	
	Altura	Diámetro		Altura	Diámetro
S1 (0/100)	88.358 a	1.63250 a	T1 (3-5)	95.998 a	1.68000 a
S2 (10/90)	90.332 a	1.58167 a	T2 (5-10)	91.525 a b	1.63500 a b
S3 (20/80)	90.428 a	1.64833 a	T3 (10-20)	89.136 b	1.62167 a b
S4 (30/70)	90.747 a	1.62333 a	T4(sin cribar)	83.206 c	1.54917 b

La variación en la altura de las plantas y diámetro se debió a la influencia de la composición granulométrica de los sustratos que a las diferentes relaciones amonio/nitrato aplicadas (Cuadro 12), ya que al analizar los sustratos y soluciones de manera independiente, los análisis estadísticos mostraron que hubo diferencias significativas entre los sustratos siendo el mejor tratamiento el T1 y el peor el T4 (Cuadro 12), mientras que entre las soluciones no se encontraron diferencias significativas; no obstante, la mayor altura se alcanzó con la relación 0/100 que corresponde al tratamiento S4T1 (Cuadro 12). Con respecto al efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  González *et al.* (2009) reportan que la mayor altura en plantas de eneldo y cebollín se obtuvo con una relación 0/100 % lo que concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo.

En cuanto al diámetro del tallo estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos tal como se reporta en el Cuadro 11; sin embargo en los tratamiento S3T1 y S3T3 se reportan los valores más altos con 1.72 cm y el menor fue de 1.52 cm correspondiente al tratamiento S2T4. Estas variaciones son atribuidas al efecto del sustrato, ya que al observar los datos reportados en el Cuadro 12 podemos apreciar que el sustrato de manera independiente a las diferentes relaciones amonio/nitrato si presento diferencias significativas y por el contrario las diferentes relaciones amonio/nitrato independientemente del sustrato no presento diferencias significativas, por lo que se puede establecer que la combinación de estos factores influyó de forma negativa en el diámetro del tallo.

#### 5.4. Rendimiento y características de calidad del fruto (peso, longitud y diámetro)

En cuanto al rendimiento y calidad del fruto (peso, longitud y diámetro) los valores obtenidos se reportan en el Cuadro 13. En el análisis estadístico realizado a todos los tratamientos para esas variables se encontraron diferencias significativas con excepción del diámetro del fruto.

Los tratamiento S2T3, S4T2, S3T2, S4T3 y S3T3 fueron estadísticamente iguales con los valores más altos (rendimiento 100.73 -90.3 g planta<sup>-1</sup>, peso 6.78- 5.8 g fruto<sup>-1</sup>, longitud 4.16-3.66 cm y diámetro 2.70-2.56 cm). Los valores más bajos (rendimiento 44.40-25.50 g planta<sup>-1</sup>, peso 5.63-4.54 g fruto<sup>-1</sup>, longitud 3.7-3.0 cm y diámetro 2.6-2.3 cm) correspondieron a los tratamientos S1T4, S4T1, S4T4, S2T4, S2T1, los cuales son estadísticamente iguales entre sí. De este comportamiento se puede establecer que el sustrato jugó un papel importante en cuanto a rendimiento y características de calidad del fruto, puesto que las mezclas de sustratos con partículas 5-10 (T2) y 10-20 (T3) mm de tezontle fueron las que obtuvieron los mejores resultados, esto puede atribuirse a sus características físicas más cercanas a las idóneas para el desarrollo de las plantas (Figura 7). Y por el contrario las mezclas que contenían 3-5 mm de tezontle (T1) y tezontle sin cribar (T4) mostraron los peores resultados.

En los Cuadros 14 y 15 se reportan los efectos, por separado, de los factores solución nutritiva y sustrato; para el caso del factor sustrato las dos mejores mezclas fueron T2 y T3 (Cuadro 15) mismas que fueron reportadas como mejores en combinación con las diferentes relaciones amonio/nitrato, cuyas características físicas (Cuadro 9) estuvieron más próximas a las reportadas por Ansorena (1994), Burés (1997), Bordado (2005) y Handreck y Black (1984) para sustratos usados en la agricultura (Da de 0.7- 0.1, 60-80% de Pt, 10-20% de Pai y 40-60 % Pra).

Cuadro 13. Promedio de tres cosechas para rendimiento y características de calidad en frutos para el cultivo de chile habanero. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha$ ,= 0.05).

Tratamiento	Rendimiento (g/planta)	P.F. (g/fruto <sup>1</sup> )	L.F. (cm)	D.F.(cm)
S2T3	100.73 a	6.78 a	4.16 a	2.70 a
S4T2	99.40 a	5.83 ab	3.66 ab	2.63 a
S3T2	94.400a	6.16 ab	3.70 b	2.66 a
S4T3	91.83 a	5.69 ab	3.70 ab	2.56 a
S3T3	90.30a	6.51 ab	4.00 a	2.63 a
S3T1	76.45ab	5.67 ab	3.70ab	2.53 a
S1T1	76.15 abc	5.86 ab	3.60 ab	2.53 a
S1T2	56.80 bcd	5.55 ab	3.63 ab	2.46 a
S1T3	54.03 bcde	5.25 ab	3.43 ab	2.43 a
S2T2	51.10 cde	5.29 ab	3.40 ab	2.43 a
S3T4	48.65 de	5.39 ab	3.56 ab	2.46 a
S2T1	44.40 def	5.63 ab	3.73 ab	2.53 a
S2T4	34.00 def	5.19 ab	3.63 ab	2.33 a
S4T4	32.65 def	4.54 b	3.00 b	2.30 a
S4T1	31.50 ef	5.13 ab	3.50 ab	2.66 a
S1T4	25.50 f	4.63 b	3.33 b	2.30 a

P.F.: peso del fruto; L.F.: longitud del fruto; D.F.: diámetro del fruto

En cuanto a las soluciones nutritivas el mejor tratamiento para las variables en cuestión fue la relación amonio/nitrato de 20/80% (S3) (Cuadro 14). Al respecto Lemaire (2005) indica que para que una planta desarrolle de forma adecuada, la proporción de nitrógeno amoniacal con respecto al nitrógeno nítrico puede llegar hasta un 20% en el medio y Sandoval *et al.* (1994), reportaron que una proporción  $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$  menor a igual al 50% incrementa la producción de grano y materia seca en el cultivo de trigo; estos datos coinciden con lo reportado en este experimento. El tratamiento con una relación amonio/nitrato 0/100 (S1), solamente N-nítrico, fue en el que se obtuvieron los valores más bajos.

Cuadro 14. Rendimiento promedio de tres cosechas y características de calidad del fruto en chile habanero para las diferentes relaciones nitrato/amonio. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha= 0.05$ ).

	Rendimiento (g/planta)	P.F. (g/fruto)	L.F. (cm)	D.F.(cm)
S1(0/100)	53.121 c	5.32 a	3.50 a	2.43 a
S2(10/90)	57.558 cb	5.72 a	3.73 a	2.50 a
S3(20/80)	77.450 a	5.93 a	3.74 a	2.57 a
S4(30/70)	63.846 b	5.30 a	3.46 a	2.54 a

P.F.: Peso del fruto; L.F.: Longitud del fruto; D.F.: Diámetro del fruto

Los datos reportados en los Cuadros 14 y 15 muestran que el mejor tratamiento para el factor sustrato fue T3 y mientras que para el factor relación amonio/nitrato la mejor solución nutritiva fue la S3, por lo que se esperaría que al combinarse estos dos factores (S3T3) se obtuviese los mejores resultados. Como se puede apreciar en el Cuadro 13, esta combinación o tratamiento aunque se encuentra entre los que mejor resultado mostraron en cuanto a rendimiento y características de calidad en fruto, no fue la que presentó los mejores resultados para las variables evaluadas. Por lo que también se puede establecer que la combinación de estos dos factores puede influir de manera negativa o positiva en el rendimiento, número de fruto, peso del fruto, longitud del fruto y diámetro del fruto. De igual forma se puede establecer que las diferentes relaciones amonio/nitrato influyeron en las diferencias observadas en los tratamientos tal como se aprecia en el Cuadro 14.

Cuadro 15. Rendimiento promedio de tres cosechas y características de calidad del fruto en chile habanero para los diferentes diámetros de tezontle. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha= 0.05$ ).

	Rend. (g/planta)	P.F. (g/fruto)	L.F (cm)	D.F(cm)
T1(3-5mm)	57.12 b	5.57 ab	3.63 ab	2.56 a
T2(5-10mm)	75.42 a	5.71 a	3.60 ab	2.55 a
T3(10-20mm)	84.22 a	6.06 a	3.82a	2.58 a
T4(sin cribar)	35.20 c	4.94 b	3.38 b	2.35 b

P.F.: Peso del fruto; L.F.: Longitud del fruto; D.F.: Diámetro del fruto

En el Figura 4 se presenta el rendimiento acumulado para tres cosechas de todos los tratamientos, donde el valor más alto se tuvo para el tratamiento S2T3 (302.1 g planta<sup>-1</sup>) y el más bajo en el tratamiento S1T4 (76.5 g planta<sup>-1</sup>).

Es necesario señalar que debido a un factor climatológico (helada) fuera de nuestras posibilidades de control, solo se realizaron 3 cosechas de 6 previstas originalmente, razón por la cual no se tiene el dato del rendimiento total del ciclo de cultivo para poder compararlo con los rendimientos reportados en la literatura (Trujillo, 2005).

En el Cuadro 13 se reportan el valor promedio de tres cosechas de cada tratamiento analizados estadísticamente en la que se observa que existen diferencias significativas entre tratamientos.

El incremento de los rendimientos reportados anteriormente puede deberse, en parte, a la mayor actividad de algunas enzimas al suministrar conjuntamente el  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ . Gallegos (1998) reporta una mayor actividad de las enzimas nitrato reductasa y glutamino sintetasa, en cultivo de nopales tratados con solución que contiene ambas formas de nitrógeno y Sandoval (1991), menciona que el incremento de producción y materia seca en el cultivo de trigo al emplear  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en conjunto se debe en parte al incremento de la actividad de la enzima PEPCasa, lo cual implica que existe una mayor reutilización del  $\text{CO}_2$  liberado a nivel de raíz en el proceso respiratorio y también al incremento de la actividad GS que a su vez se debe a una mayor y más rápida asimilación de N-  $\text{NH}_4^+$ , siempre y cuando el amonio absorbido no se acumule en la raíz.

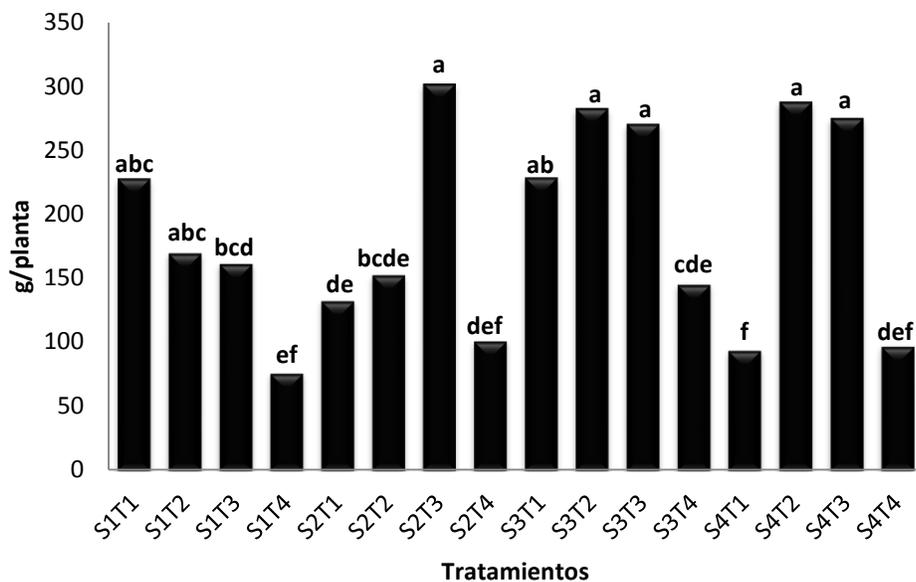


Figura 4. Rendimiento acumulado de tres cosechas en el cultivo de chile habanero para cada combinación de tratamientos.

En cuanto a la longitud y diámetro del fruto todos los tratamientos quedaron dentro de los valores reportados en la literatura, 2 a 6 cm para la longitud y 2 a 4 cm de para diámetro (Ramírez 2003).

El peso del fruto es determinante para la clasificación de los frutos, al respecto Piña (1984) citado por Ramírez (2003), reporta que frutos >10 g de peso son considerados de primera calidad, de 7.5-10 g segunda calidad y <6 g de tercera calidad. En la figura 5 podemos observar que el tratamiento S1T4 fue el que presentó un mayor número de frutos de tercera calidad (98.1 %) y el tratamiento S2T3 el menor número de frutos de tercera (73%), el mayor número de frutos de segunda (22.2%) y primera (4.8%).

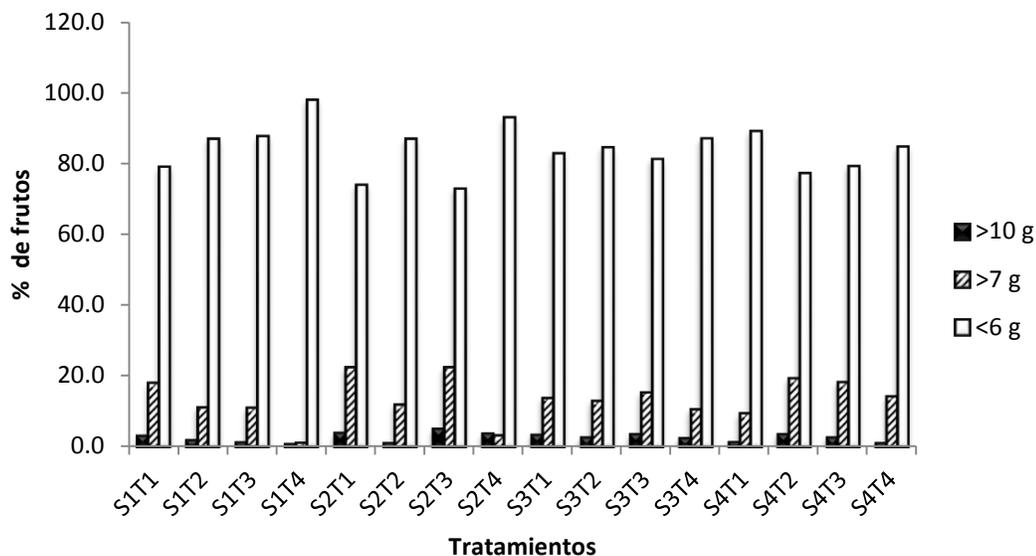


Figura 5. Clasificación de los frutos de chile habanero de acuerdo a su peso de tres cosechas.

### 5.5. Concentración de capsaicina en frutos

En la Figura 6 se puede apreciar que existen diferencias significativas en la concentración de capsaicina en los frutos de chile habanero al ser nutridas con diferentes porcentajes de amonio, aplicados a la solución nutritiva. En esta misma figura se aprecia que los frutos cosechados, en plantas a las que no se les suministró amonio, fueron las que presentaron mayor concentración de capsaicina en promedio. Además, en los frutos de plantas nutridas con amonio la concentración de capsaicina disminuyó conforme aumentó el porcentaje de amonio en la solución nutritiva. Este comportamiento se presentó hasta con un 20% de amonio, puesto que con un 30% ya no siguió la misma tendencia, sin embargo los valores obtenidos fueron inferiores a los de los frutos de plantas con 0 % de amonio.

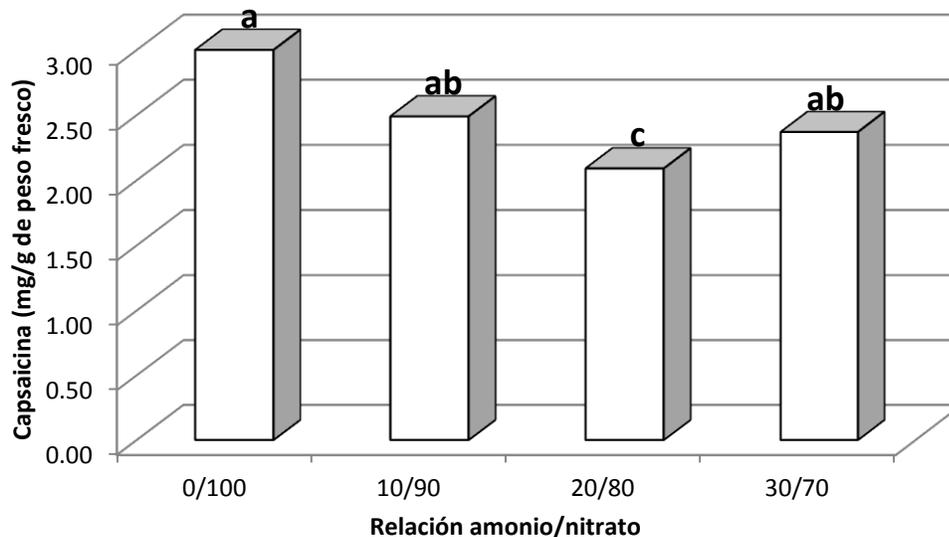


Figura 6. Efecto de la relación amonio/nitrato en la concentración promedio de capsaicina en frutos de chile habanero de tres cosechas. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha= 0.05$ ).

Se realizaron análisis estadísticos entre cada cosecha en la que se encontró que a excepción de la cosecha dos, hubo diferencias significativas entre los tratamientos de cada cosecha (Figura 7). En la cosecha dos aunque estadísticamente no se encontró diferencia significativa entre tratamientos se tienen valores diferentes para cada tratamiento. De manera general, y al igual que en la Figura 6, en las tres cosechas se observa que la concentración de capsaicina disminuyó conforme aumentó la concentración de nitrógeno en forma de amonio y también hubo una ligera disminución entre la cosecha uno a la dos y un ligero aumento de la dos a la tres. Por lo que se puede establecer que la concentración de capsaicina en los frutos es afectada de manera negativa por un aumento en la relación amonio/nitrato y que existen variaciones negativas y positivas en la concentración de capsaicina entre una cosecha a otra, puesto que de la cosecha uno a la dos se aprecia una ligera disminución, mientras que de la cosecha dos a la tres hubo un ligero incremento. Para las tres cosechas la relación 0/100

(amonio/nitrato) fue la que presentó una mayor concentración y la relación 20/80 la menor, variando de una cosecha a otra (figura 7).

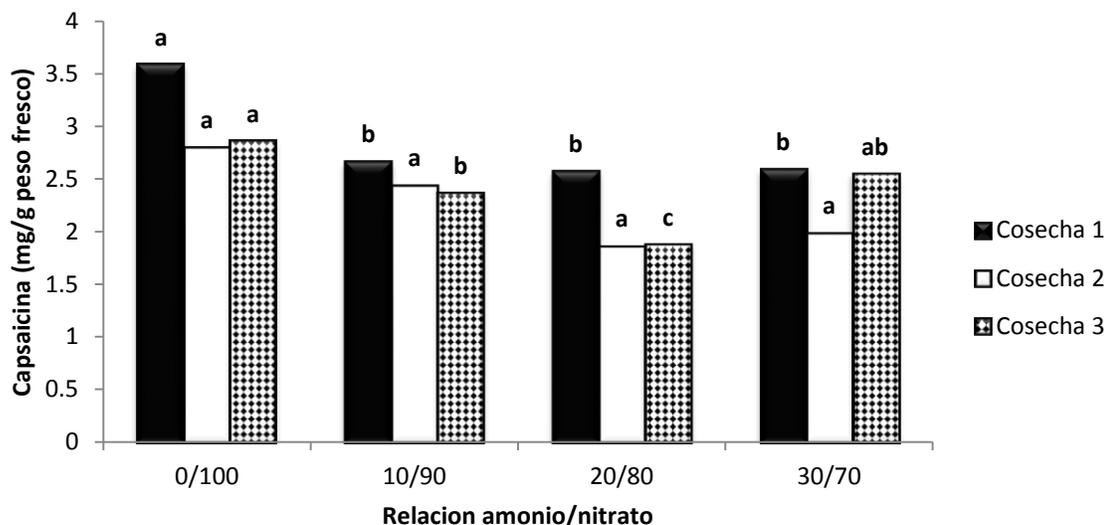


Figura 7. Efecto de la relación amonio/nitrato en la concentración de capsaicina en frutos de chile habanero para tres cosechas. Barra con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

La concentración más alta de capsaicina fue de 3.58 mg/g de peso fresco y se encontró en la cosecha uno con una relación amonio/nitrato de 0/100 y la más baja fue de 1.86 en la segunda cosecha y con una relación amonio/nitrato de 20/80 (figura 7). El rango en porcentaje del contenido de capsaicina en los chiles reportado en la literatura, varía de 0.02 a 1.49 % en base a su peso fresco, que al convertirlos en mg/g de peso fresco se obtiene de 0.2 a 14.9 mg/g de peso fresco (balbaa *et al.*, 1968), por lo que los valores obtenidos en este experimento (1.86 a 3.58 mg/g de peso fresco) y que se puede apreciar en la figura 7, se encuentran dentro del rango de datos ya mencionados para los frutos de *Capsicum* en general.

Para el caso particular del chile habanero de la península de Yucatán dependiendo del estado de madurez el contenido de capsaicina en el fruto es de 6.5 mg/g peso seco (equivalente a 104,650 Unidades Scoville) cuando la fruta se encuentra en estado verde, y superior a los

12.5 mg/g peso seco (equivalente 201,000 Unidades Scoville) cuando la fruta se encuentra en su estado de maduración completa, es decir cuando ha desarrollado un color naranja o rojo en su superficie (epidermis) (DOF, 2010).

En la Figura 7 se puede apreciar que el valor más bajo en la concentración de capsaicina para este trabajo fue de 1.86 mg/g de peso fresco y el más alto fue de 3.58 mg/ g de peso fresco, por lo que estos valores se encuentra fuera del rango de contenido de capsaicina que se reportan para el estado de Yucatán, lo que podría atribuirse al efecto de la temperatura, puesto que la media durante todo el ciclo fue de 15 °C, la máxima y mínima fue de 22°C y 7.4°C respectivamente. Al respecto Nuez *et al.* (1996) mencionan que la síntesis de capsaicina es mayor a temperaturas elevadas (30 °C) que a temperaturas de 21 – 24 °C, Vázquez *et al.* (2007) mencionaron que los factores ambientales tienen un efecto importante sobre la acumulación de capsaicinode y Harvell y Bosland (1997) reportan que cuando se cultivan chiles simultáneamente en condiciones ambientales diferentes pueden presentarse variaciones de hasta 8 veces en el contenido total de capsaicina en el fruto.

Los niveles de capsaicina además de las condiciones climatológicas, también dependen de la variación de la especie y el origen geográfico (Balbaa *et al.*, 1968), estos otros dos factores también pudieron influir en el bajo contenido de la capsaicina debido a que se utilizaron semillas criollas del estado de Yucatán.

## VI. CONCLUSIONES

Las diferentes relaciones amonio/nitrato en combinación con diferentes tamaños de partículas de tezontle afectaron el comportamiento de las plantas de chile habanero.

La relación amonio/nitrato 10/90 %, en combinación con la mezcla de sustrato, 75% tezontle con granulometría de 10-20 mm y 25 % fibra de coco, presentó los resultados más altos para rendimiento y características de calidad en frutos y los más bajos correspondieron a la relación amonio/nitrato 0/100 % en combinación con la mezcla de sustrato 75% tezontle sin cribar y 25% fibra de coco.

La mayor altura de planta (98.10 cm) se obtuvo con el tratamiento 0/100 amonio/nitrato en combinación con la mezcla 75% tezontle con granulometría de 3-5 mm +25% fibra de coco y la menor fue de 81.22 cm con el tratamiento 10/90 % amonio/nitrato combinado con la mezcla 75% tezontle sin cribar +25% fibra de coco.

El sustrato tuvo un efecto importante sobre el rendimiento y calidad de los frutos, la mezcla de sustrato 75% tezontle con granulometría de 10-20 mm y 25 % fibra de coco fue la que dio los mejores resultados de forma combinada e independiente de la relación amonio/nitrato.

La relación amonio/nitrato 20/80% respectivamente, fue la que dio mejores resultados en rendimiento y calidad de los frutos de forma independiente al sustrato.

En la clasificación de los frutos por su peso el tratamiento S1T4 fue el que presentó un mayor número de frutos de tercera calidad (98.1 %) y el menor número de frutos de

primera, mientras que el tratamiento S2T3 presentó el menor número de frutos de tercera (73%) y mayor número de primera.

El suministro de nitrógeno en forma de amonio en proporciones crecientes afectó de forma negativa el contenido de capsaicina en frutos chile habanero. El contenido de capsaicina en el fruto de chile habanero presentó variaciones entre una cosecha y otra, con una tendencia a disminuir en cosechas subsecuentes.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M. P. F. Martínez, M.D. Martínez y J. Martínez. 1993.** Evaluación agronómica de los sustratos de cultivos. *Acta de Horticulturae* 11: 141-154.
- Aceves, N. A. L., F. L. Juárez, J.L. Palma, R.L. López, B. H. Rivera, J.R. Rincón, A.C. Morales, R.A. Hernández, A.S. Martínez. 2008.** Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*), INIFAP, SAGARPA, Colegio de Postgraduados, DEIDRUS-TAB, Secretaria de Desarrollo Forestal y Pesca. Pág. 1.
- Alcántar, G. G. y L. I. Trejo T. 2007.** Nutrición de cultivos. Mundi-Prensa. Colegio de Postgraduados, México. 541 p.
- Anicua, S. R. 2008.** Caracterización física y micromorfología de materiales orgánicos e inorgánicos para la generación de mezclas de sustratos en la producción de *Lisianthus (Eustoma grandiflorum)*. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados Montecillo, Texcoco, México. 198 p.
- Ansorena, M. J. 1994.** Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Azofeifa, A. Y M. A. Moreira. 2008.** Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. Hot) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(1): 19-29.
- Baixauli, S. C. y J. M. Aguilar O. 2002.** Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Generalitat Valenciana. Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, Esp. Pp. 110.
- Balbaa, S. I., M.S. Karawya y A. N. Girgis. 1968.** The capsaicin content of *Capsicum* fruits at different stages of maturity. *Lloydia* 31: 272-274.

- Blac, C. A., D. D. Evans, I. E. Evslinger, F. E. Clerk and J. L. White. 1965.** Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties. American Society Of Agronomy Madison, WI, USA.
- Bordado, J. L. 2005.** Hidroponía. Albatros CACI. Buenos Aires. 190 p.
- Borges, G. L. 2006.** Predicción de potasio por las raíces de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Tesis Doctorado. Centro de Investigación científica de Yucatán (CICY). Mérida, Yucatán. 8p.
- Brizuela, A. P., G. G. Alcántar, P. G. Sánchez, L. C. Tijerina, J. Z. R. Castellanos y R. T. Maldonado. 2005.** Nitratos en soluciones nutritivas en el extracto celular del pecíolo de chile. Terra 23 : 469-476.
- Bugarín, M. R., G. A. G. Baca, J. H. Martínez, J. L. T. Tirado y A. G. Martínez. 1998.** Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. 1. Crecimiento y floración. Terra 16 : 113-124.
- Burés, S. 1997.** Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S. L., Madrid, España. 341p.
- Cabrera, R. I. 1999.** Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo-Serie Horticultura 5:5-11.
- Cadahia, L. C. 2005.** Fertirrigación cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid, España. 681 p.
- Castilla, P. N. 2004.** Invernaderos de plástico: tecnología y manejo. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- De Boodt, M. O. Verdonck, and I. Cappaert. 1974.** Method for measuring the water release curve of organic substrate. Acta Horticulture 37: 2054-2062.
- Degiovanni, B. V., C. P. R. Martínez, y F. O. Motta. 2010.** Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia. Tomo 1. Capítulos 1-24. 488 p.

- DOF. 2010.** Diario oficial de la federación: Declaratoria general de la protección de la denominación de origen del chile habanero de la península de Yucatán. [En línea] Disponible:[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5145315&fecha=04/06/2010](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5145315&fecha=04/06/2010). (Revisado 20 de marzo de 2011).
- Evans, L. T. 1993.** Crop Evolution, Adaptation and Yield. Cambridge, University Press. Great Britain. 71 p.
- FAO. 2002.** El cultivo protegido en clima Mediterráneo. Roma. 323 p.
- FAOSTAT. 2011.** Food and agriculture organization of the united nations. FAO. [En línea] Disponible: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anchor>. (Revisado 20 de marzo del 2011).
- Gallegos, V. C. 1998.** Absorción y asimilación de nitrato amonio en *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. en condiciones de hidroponía. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. México D.F. 759 p.
- González, G. J. L., M. N. R. Mendoza, P. G. Sánchez y E. A. G. Acuña. 2009.** Relación amonio/ nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. Agricultura Técnica en México 35: 5-11.
- González, E.T., P.L. Gutiérrez y F.M. Contreras. 2006.** [En línea] Disponible: El chile habanero de Yucatán. Ciencia y Desarrollo. El conocimiento a tu alcance. <http://www.conacyt.mx/comunicacion/revista/195/Articulos/Chilehabanero/Habanero00.html>. (Revisado 20 de marzo de 2011).
- Handreck, K. A. And N. Black. 1994.** Growing media for ornamental plants and turf. New South Wales Universty Press. Kensington, Australia.
- Harvell, K. P. y P. W. Bosland, 1997.** The environment produces a significant effect on pungency of chiles. HortiSciencie. 32: 1292-1297.
- Herrera, R. F. J. 2001.** El proceso de industrialización del chile. Seminario de Chile Habanero. Memorias. Fundación produce Yucatán A. C., SAGARPA, INIFAB. Mérida Yucatán, 68-73 p.

- Izco, J. 2004.** Botánica. Mc. Graw Hill – Interamericana. México. 508p.
- Laborde, C. J. y O. Pozo, 1984.** Presente y Pasado del chile en México. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola (INIA). México. 80 p.
- Lara, H. A. 1999.** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en Hidroponía. Terra17: 221-229.
- Latournerie, M. L., J. L. Chávez, M. Pérez, C. F. Hernández, R. Martínez, L. M. Arias y G. Castañón. 2001.** Exploración de la diversidad morfológica de chiles regionales en Yaxcabá, Yucatán, México. Agonomía Mesoamericana. 12 : 41-48.
- Latournerie, M. L., J. L. Chávez, M. Pérez, G. Castaño, S. A. Rodríguez, L.M. Arias, y P. Ramírez. 2002.** Valoración *in situ* de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annum* L. y *Capsicum Chinense* Jacq.) en Yaxcaba, Yucatán. Fitotec. Mex. 25 : 25-33.
- Lemaire, F. 2005.** Cultivos en macetas u contenedores; principios agronómicos y aplicaciones. Mundi-Prensa. Madrid, España. 210 p.
- López, P. G., A. F. Canto y N. B. Santana. 2009.** El reto biotecnológico del chile habanero. Ciencia 60: 30-35.
- López, R. G. O. 2003.** Chilli: la especia del nuevo mundo. Ciencias 69: 66-75.
- Martínez, G.G.A., Y D. H. Ortiz, G. Urrestarazu, M. Del C. Salas San J., C. T. Escamirosa. 2009.** La rotación de los cultivos y las propiedades de la cascara de almendra como sustrato. Fitotecnia Mexicana 32: 135-142.
- Moran, B. S. H., V. H. R. Aguilar, T. T. Corona, F. G. Castillo, R. M. H. Soto y R. S. Chávez. 2008.** Capsaicinoides en chiles nativos de puebla, México. Agrociencia 42: 807-816.
- Moreno, R. A. 2007.** Elementos nutritivos, asimilación, funciones, toxicidad e indisponibilidad en los suelos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. Libros Red. 104 p.

- Navarro, G. G. y S. B. Navarro. 2003.** Química Agrícola. Mundi-Prensa. Madrid, España. 487 p.
- Noh, M. J., L. G. Borges y M. F. Soria. 2010.** Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Tropical and Subtropical Agroecosystems 12: 219-228.
- Noguera, P., M. Abad, R. Puchades, A. Maquiera and V. Noguera. 2003.** Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. Communications in Soil Science and Plant Analysis 34: 593-605.
- Nuez, F. 2001.** El cultivo del tomate. Mundi-Prensa. , MadridEspaña. 793 p.
- Nuez, F., Gil O. R. y J. Costa.1996.** El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Mundi-Prensa. México. 20-360 p.
- Nuez, F., O. R. Gil y J. Costa. 2003** El cultivo de pimientos, Chiles y Ajíes. Mundi-Prensa. España. 15 p.
- Ochoa, A. N. 2001.** Usos y propiedades del chile habanero. Seminario de chile habanero. Memorias. Fundación produce Yucatán. SAGARPA. INIFAP. Mérida Yucatán.2-5 p.
- Ochoa, A.N. 2005.** Usos y propiedades del chile habanero. *In* H.P. Torres, C.C. Franco (eds). Seminario de chile habanero. Fundación Produce Yucatán, A.C. Memoria. México. 2p.
- Ordaz, C. V. M. 2010.** [En línea] Caracterización Física de sustratos. Primer curso nacional de sustratos. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México <http://www.cm.colpos.mx/montecillo/images/SUSTRATOS/02.pdf> (Revisado 17 de julio del 2011).
- Pereyra, C. M. 2001.** [En línea] Disponible: Asimilación de nitrógeno en plantas. Facultad de agronomía Universidad de La Pampa. <http://www.agro.unlpam.edu.ar/catedras-pdf/16Asimilaci.pdf>. (Revisado 20 de marzo del 2011).
- Ramírez, L. E. 2003.** Efecto de reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile habanero en campo e invernadero. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Campeche, México. 137 p.

- Resh, H. M. 2006.** Cultivos hidropónicos. Mundi-prensa. Madrid España. 558 p.
- Rincones, C. C. I. 2009.** Plan rector. Sistema Producto Chile de Yucatán. Secretaria de Fomento Agropecuario y Pesquero. SAGARPA. Comité Estatal Sistema Producto Chile del Estado de Yucatán A. C. Mérida Yucatán. 76 p.
- Rios, M. V. M. 1969.** Capsaicina en frutos del genero *Capsicum*. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México D.F.
- Roaro, A. E. 1982.** Influencia del potasio en la producción de capsaicina en el cultivo hidropónico de *Capsicum annumm*. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México D.F.
- Ruano, M. R. J. 2008.** Viveros forestales. Segunda edición. Mundi-Prensa. Madrid España. 286 p.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994.** Fisiología Vegetal. Iberoamericana. México D.F. 759
- Sandoval, V. M. 1991.** Efectos de diferentes relaciones amonio/nitrato sobre el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L. c.v salamanca S-75). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 123 p.
- Sandoval, V. M., G.G. Alcántar y T.J.L. Tirado. 1994.** Producción y distribución de materia seca en plantas de trigo por efecto de diferentes relaciones amonio/ nitrato. Terra. 14: 408- 413.
- San Martín, H.C. 2011.** Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en diferentes granulometrías de “tezontle”. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados México. 102 p.
- SIAP. 2011.** Chile habanero de la península de Yucatán. SAGARPA. [En línea] Disponible:[http://siap.sagarpa.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=306:chile-habanero-de-la-peninsula-de-yucatan&catid=72:infogramas&Itemid=422](http://siap.sagarpa.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=306:chile-habanero-de-la-peninsula-de-yucatan&catid=72:infogramas&Itemid=422). (Revisado 20 de marzo del 2011).

- Soria, F. M., S. J. Tun, R. A. Trejo, y S. R. Terán. 2000.** Tecnología para la producción de hortalizas a cielo abierto en la Península de Yucatán. Centro de investigación y graduados agropecuarios. Instituto Tecnológico Agropecuario No.2. México. 108 – 160
- Steiner, A. A. 1968.** Soils culture. In: proceeding of the 6th colloquium of the international Potash institute. Florence. Italy. 324 – 341 p.
- Steiner, A. A. 1984.** The universal nutrient solution. In: proceeding 6th international congress on soilless culture. Wageningen the Netherlands. 653- 650 p.
- Thompson, L. M. y F. R. Troeh. 2002.** Los suelos y su fertilidad. Reverte. España. 649 p.
- Trujillo, A. J. 2001.** Descripción varietal del chile habanero (*Capsicum chinense* J.). Seminario de Chile Habanero. Memorias. Fundación produce Yucatán, SAGARPA, INIFAB. Mérida Yucatán. 10-16 p.
- Trujillo, A. J. 2005.** Descripción varietal del chile habanero (*Capsicum chinense* J.). In H.P. Torres, C.C. Franco (eds). Seminario de chile habanero. Fundación Produce Yucatán, A.C. Memoria. México.14-19 p.
- Tun, D. J. 2001.** Chile habanero. Características y tecnología de producción. INIFAP. Yucatán, México. 3-20 p.
- Urrestarazu, G. M. 2004.** Manual de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa. Universidad de Almería España. 112 p.
- Vargas, T. T. 2007.** Caracterización física, química y biológica de polvo de coco y tezontle como sustratos. Tesis de Maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 93 p.
- Vargas, T. P., J. R. Castellanos, R. J. Muñoz, P. G. Sánchez, L. C. Tijerina, R. R. López, C. M. Sánchez, J. A. Ojodeagua, 2008.** Efecto del tamaño de partícula sobre lagunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato. México. Agricultura Técnica en México. 34 : 323-331.
- Vázquez, F. F., M. L. H. Miranda, M. G. Monforte, G. C. Gutiérrez, C. G. Velázquez y Y. P. Nieto. 2007.** La biosíntesis de Capsaicinoides, el principio picante del chile. Fitotecnia Mexicana. 30: 353-360.

**Villalobos, R. E. 2001.** Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Universidad de Costa Rica (ed.). San José, Costa Rica. 227 p.

**Taiz, L. y E. Zeiger. 2007.** Fisiología vegetal. Tercera edición. Universidad Jaume. New Jersey. 1338 p.