

2010

Efecto de la relación amonio/fosfato sobre la pungencia del fruto de chile habanero
Capsicum chinense Jacq. bajo ambiente controlado.

Carlos A. Müller Rico



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Especialidad en Ingeniería de Invernaderos

Efecto de la relación amonio/fosfato sobre la pungencia del fruto de chile habanero *Capsicum chinense* Jacq. bajo ambiente controlado

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de la

Especialidad en Ingeniería de Invernaderos

Presenta

Carlos Arturo Müller Rico

Santiago de Querétaro, Querétaro, Agosto 2010



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Especialidad en Ingeniería de Invernaderos

Efecto de la relación amonio/fosfato sobre la pungencia del fruto de chile habanero
(*Capsicum chinense* Jacq.) bajo ambiente controlado

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de la
Especialidad en Ingeniería de Invernaderos

Presenta:

Carlos Arturo Müller Rico

Dirigido por:

Ing. Esp. Adán Mercado Luna

SINODALES

Ing. Esp. Adán Mercado Luna
Presidente

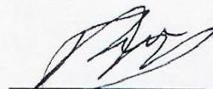
Dr. Irineo Torres Pacheco
Secretario

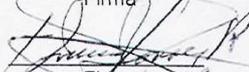
Dr. Ramón Guevara González
Vocal

Dr. Genaro M. Soto Zarazúa
Suplente

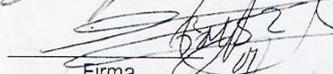
Dr. Gilberto Herrera Ruiz
Suplente

Dr. Gilberto Herrera Ruiz
Director de la Facultad

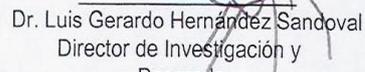

Firma


Firma


Firma


Firma


Firma


Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Agosto, 2010
México

RESUMEN

En este trabajo se evaluó el efecto de diferentes concentraciones de amonio (NH_4^+) y fosfato (H_2PO_4^-) sobre los niveles de pungencia en frutos de chile habanero rojo (*Capsicum chinense* Jacq.). La solución nutritiva base fue la de Steiner. El material vegetal fue criollo cultivado bajo condiciones de invernadero. Se estableció un diseño de bloques al azar abierto teniendo como unidad experimental cinco plantas. Se probaron ocho tratamientos (T) diferentes variando solamente los meq/L^{-1} de amonio y fosfato en la solución: $T_1= 2/1$; $T_2= 2/1.5$; $T_3= 4/1$; $T_4= 4/1.5$; $T_5=2/0.5$; $T_6= 0/1$ (testigo); $T_7= 4/2$ y $T_8= 6/1.5$ meq/L^{-1} de NH_4^+ y H_2PO_4 respectivamente. Se hicieron cuatro repeticiones por tratamiento. Se evaluaron las siguientes variables: altura de planta y diámetro en la base del tallo, número de frutos y peso de frutos en cada tratamiento; y la cantidad de capsaicina (mg/g) para determinar si se incrementaba o reducía la pungencia de frutos. Los resultados indicaron que no existe una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para ninguna de las variables evaluadas. En cuanto a la altura y diámetro de las plantas, se registraron valores promedio de 89.3 cm y 21.12 mm en cada caso. En cantidad y peso de frutos, el T_6 fue el de mayor número de frutos con 133, mientras que el T_3 sólo 57. Por su parte el T_2 mostró ser el de frutos con mayor calibre (11 %), y el T_3 el de menor calibre (61%). El contenido de capsaicina fue determinado por cromatografía líquida de alta presión (HPLC). Los resultados no fueron estadísticamente diferentes, aunque se tiene una variación en el contenido de capsaicina de 12.97 mg/g en el T_2 hasta de 42.11 mg/g en el tratamiento cuatro. Se puede concluir que la concentración de amonio y fosfato en la solución nutritiva, estadísticamente, no es determinante el calibre y la pungencia de los frutos de chile habanero.

(Palabras clave: habanero, pungencia, amonio, fosfato, invernadero).

SUMMARY

Different concentrations of ammonium (NH_4^+) and phosphate (H_2PO_4^-) were evaluated on pungency levels of red habanero pepper fruits (*Capsicum chinense* Jacq.) Steiner's solution was used to establish nutritional treatments. Plant material was a wild type, grown under greenhouse conditions. A randomized open blocks arrangement was made with experimental unit of five plants. Eight nutritional solutions (T) were tested varying only meq/L^{-1} of ammonium and phosphate: $T_1 = 2/1$; $T_2 = 2/1.5$; $T_3 = 4/1$; $T_4 = 4/1.5$; $T_5 = 2/0.5$; $T_6 = 0/1$ (control); $T_7 = 4/2$ and $T_8 = 6/1.5$ meq/L^{-1} of NH_4^+ and H_2PO_4^- respectively. Four replicates per treatment were made. Variables of plant height, diameter at base of the stem, fruit number and weight of fruits in each treatment were evaluated, as well as the amount of capsaicin (mg/g) to determine whether increased or reduced fruit pungency. The results indicate that no significant difference ($P \leq 0.05$) for any of the variables evaluated. For plant height and diameter, mean values of 89.3 cm and 21.12 mm were obtained. Fruit quantity and weight had best results in T_6 with 133, meanwhile T_3 only 57. For its part, T_2 had the most fruit size (11%), and T_3 the most percentage of smaller ones (61%). Capsaicin quantification was determined by high pressure liquid chromatography (HPLC). Again, the results were not statistically different, although there is variation in capsaicin content, for example T_2 had values of 12.97 mg/g of capsaicin meanwhile T_4 up to 42.11 mg/g . It can be concluded that the concentration of ammonium and phosphate in the nutrient solution statistically does not affect fruit size and pungency of fruits given by capsaicin content.

(Key words: Habanero pepper, pungency, ammonium, phosphate, greenhouse).

*A mis padres
Porque siempre inculcaron en mí esa curiosidad por aprender y por el gran apoyo que
me han dado.*

*A mi abuela
Por su atención y cariño dados a lo largo de mis estudios*

AGRADECIMIENTOS

A Laura, por estar siempre a mi lado, por contar con su ayuda y apoyo en todo momento.

A mi hermano Pablo, por toda su asesoría y ayuda que me dio en el trabajo de laboratorio.

A mis compañeros de la Especialidad, Lupita, Paty, Nancy, Flor, Mariela, Adolph, Luciano, Jerry y Alan por sus consejos, ayuda y compartir todo este tiempo juntos.

A mi asesor el Ing. Adán Mercado Luna por su paciencia y dedicación a la atención de este trabajo en que aprendimos muchas cosas.

Al Dr. Irineo Torres Pacheco por su picardía, apoyo y constante empuje para no perder los ánimos y salir adelante.

A los maestros de la especialidad por adentrarme a un área llena de incógnitas y posibilidades que nos ofrecen los invernaderos.

A la Dra. Ma. Estela Vázquez y el Dr. Edmundo Mercado Silva por la confianza que me dieron y permitirme trabajar en su laboratorio.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, por haber apoyado mis estudios de la especialidad.

INDICE

	Página
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice.....	v
Índice de cuadros.....	viii
Índice de figuras.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Importancia económica del cultivo.....	2
2.1.1. Producción mundial.....	3
2.1.2. Producción nacional.....	3
2.1.3. Valor nutrimental del chile habanero.....	4
2.2. Origen del chile habanero.....	6
2.3. Taxonomía y botánica.....	6
2.3.1. Variedades de chile habanero.....	9
2.4. Aspectos agrícolas del cultivo.....	10
2.4.1. Requerimientos.....	10
2.4.2. Época de siembra.....	12
2.4.3. Producción de plántula.....	13
2.4.4. Trasplante.....	14
2.4.5. Interacción planta-patógeno-ambiente en el proceso de las enfermedades	17
2.4.6. Plagas que afectan al chile habanero.....	19
2.4.7. Enfermedades del chile habanero.....	24
2.4.8. La nutrición en la adquisición de enfermedades.....	30
2.4.9. Cosecha del fruto.....	32
2.4.10. Usos del chile habanero.....	33

2.5. Pungencia.....	33
2.5.4. Factores involucrados en la expresión de la pungencia.....	34
2.6. Capsaicinoides.....	37
2.6.1. Metabolismo de los capsaicinoides.....	37
2.6.2. Localización de las enzimas de la síntesis de capsaicinoides.....	38
2.6.3. Factores involucrados en la producción de CAP's.....	40
2.6.3.1. Regulación genética.....	40
2.6.3.2. Regulación por factores ambientales y desarrollo.....	40
2.6.3.3. Regulación por nutrición.....	42
2.6.4. Usos de los capsaicinoides	45
2.6.5. Medición del picor.....	45
2.6.6. Extracción industrial CAP's.....	47
III. OBJETIVOS.....	49
3.1. Objetivo general.....	49
3.2. Objetivos particulares.....	49
IV. HIPÓTESIS.....	50
V. METODOLOGÍA.....	51
5.1. Generales.....	51
5.1.1. Localización del sitio experimental.....	51
5.1.2. Descripción del invernadero.....	52
5.1.3. Sistema de riego.....	52
5.2. Manejo del cultivo.....	54
5.2.1. Selección y adquisición del material vegetal	54
5.2.2. Siembra.....	54
5.2.3. Producción de plántula	56
5.2.4. Establecimiento del cultivo	57
5.3. Diseño experimental	58
5.4. Preparación y dosificación de tratamientos.....	59
5.5. Monitoreo de las condiciones ambientales.....	60
5.6. Manejo del cultivo.....	60
5.7. Manejo Fitosanitario.....	62

5.8. Variables agronómicas evaluadas.....	64
5.9. Trabajo de laboratorio.....	64
5.9.1. Extracción de capsaicinoides.....	64
5.9.2. Cuantificación de capsaicinoides.....	66
5.10. Análisis estadístico.....	67
VI. RESULTADOS.....	68
6.1. Germinación de semilla.....	68
6.2. Obtención de plántula.....	68
6.3. Trasplante del cultivo.....	69
6.4. Crecimiento del cultivo.....	69
6.5. Cosecha de frutos.....	72
VII. CONCLUSIONES.....	75
VIII. LITERATURA CITADA.....	76

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Aportes nutricionales de chile habanero por 100 g de fruto crudo.	5
2.2	Requerimiento diario de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O, para el cultivo de chile habanero	16
2.3	Efecto de la concentración en ppm de los elementos minerales sobre las enfermedades.	31
5.1	Diferentes concentraciones de amonio y fosfato probadas en el cultivo de chile habanero	58
5.2	meq/L ⁻¹ a los que fueron establecidos los tratamientos nutricionales	59
5.3	Cantidad de fertilizante utilizada para cada tratamiento	60
5.4	Productos químicos utilizados para el combate de la enfermedad bacteriana. Aplicaciones hechas con un intervalo de diez días	63
6.1	Contenido de capsaicina en frutos de chile habanero cuantificado mediante HPLC en cada uno de los tratamientos nutricionales	74

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Incremento en la producción de chile habanero en el estado de Yucatán	4
2.2	Lámina de planta de chile habanero <i>Capsicum chinens</i> .	8
2.3	Requerimiento diario de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O, para el cultivo de chile habanero	16
2.4	Interacciones que determinan la severidad de enfermedades de plantas	17
2.5	Partes que componen al fruto de chile	38
2.6	Ruta propuesta para la biosíntesis de los capsaicinoides en el género <i>Capsicum</i> .	39
5.1	Localización del sitio de estudio, Campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería	51
5.2	a) Aspecto del invernadero donde se llevó a cabo el establecimiento del cultivo de chile habanero. b) Malla sombra colocada en el invernadero	52
5.3	a) Cabezales de riego instalados, tinacos de 1,100 L de capacidad con bombas de 1 hp. b) Instalación de la cintilla de riego para los diferentes tratamientos nutricionales del cultivo	53
5.4	a) Panel general del control de automatización del riego b) Pico-controlador utilizado para automatizar los riegos del cultivo.	53
5.5	Semillas de chile habanero, ecotipo rojo no mejorado, utilizadas en el experimento	54
5.6	a) Charolas de poliestireno de 200 cavidades usadas para la siembra de semilla. b) Sustrato inerte de turba utilizado.	54
5.7	a) Siembra de semilla de chile habanero en charolas de germinación con sustrato de turba b) Recubrimiento de vermiculita a las semillas de habanero	55
5.8	a) Vista exterior del cuarto de germinación utilizado. b) Colocación de charolas sembradas en el interior del cuarto de germinación, cubiertas con plástico negro.	55

5.9	Invernadero de crecimiento de plántula	56
5.10	a) Plántulas de chile habanero. b) Etapa de crecimiento de la plántula lista para ser trasplantada al invernadero	57
5.11	a) Contenedores definitivos donde se trasplantaron plántulas de chile habanero. b) Disposición del invernadero ya trasplantado	57
5.12	a) Esquema de la distribución de los tratamientos en el invernadero. b) Representación física del arreglo den el invernadero	59
5.13	Tutorado en espaldera elaborado en el cultivo de chile habanero. Los soportes de rafia fueron colocados a 50 y 80 cm de altura	61
5.14	Poda de hojas en la parte basal antes de la primera bifurcación del tallo	61
5.15	Polinización de plantas de chile habanero con pistola de aire	62
5.16	Trampas acromáticas amarillas de 20x30 cm para el control de plagas colocadas en el invernadero	62
5.17	Síntomas observados de <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i> observados en las hojas del cultivo de chile habanero.	63
5.18	Proceso de extracción de capsaicina. a) Molienda de chile habanero seco en con molino eléctrico. b) 0.5 g de chile + 5 ml de acetonitrilo en baño de agua a 60 °C por 1 hora.	65
5.19	Cromatógrafo HPLC Waters 510 con arreglo de diodos utilizado para identificar y cuantificar capsaicina de las muestras de chile habanero	66
5.20	Curva estándar de capsaicina a una longitud de onda de 202 nm	67
6.1	Germinación de plántula de chile habanero.	68
6.2	Plántula lista de chile habanero para ser trasplantada.	68
6.3	Trasplante a invernadero de plántula a contenedores definitivos.	69
6.4	Cultivo de chile habanero establecido en etapa de producción.	70
6.5	Condiciones climáticas generales presentadas a lo largo del cultivo. a) Temperatura registrada, con variaciones de 10.1 °C hasta 45.4 °C. b) HR registrada con cambios de 20.7% a 97.1% de humedad en el invernadero	70
6.6	Altura de planta de chile habanero en los diferentes tratamientos	71

6.7	Diámetro en la base del tallo de planta de chile habanero en los diferentes tratamientos	71
6.8	Peso total (izq) y número de frutos (der) cosechados por tratamiento	72
6.9	Clasificación de frutos frescos de chile habanero por peso para cada tratamiento	73

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de hoy en día de alimento para la creciente población a nivel mundial demanda que los productores obtengan mayores rendimientos de frutos de sus cultivos. Además, la tendencia de alimentos con mejores propiedades nutritivas ha generado una amplia investigación en este ámbito para lograr aprovechar las cualidades organolépticas naturales de productos como las hortalizas. Hacer que dichas propiedades puedan tener una mayor expresión en el desarrollo del fruto, es un paso más para cubrir las demandas de la población de necesidad en cantidad y calidad de alimento (Pelayo, 2003).

Ante estos datos, el presente trabajo busca la producción de chile habanero bajo condiciones de invernadero con el fin de obtener un cultivo que exprese en mayor medida el contenido de capsaicina en el fruto, dado por el efecto de la nutrición, sin perder rendimiento de la cosecha; esto con el fin de documentar un método productivo de chile habanero que le dé un valor agregado al fruto. Ya que si llegara a ocurrir que la competencia aumente, no se logren las ventas, o que los precios caigan en el mercado por una sobrepoblación como materia prima, se tenga la opción de procesar el producto para abarcar un área más del mercado como material secundario de la industria alimenticia y farmacéutica, contribuyendo así a la investigación de aprovechar las cualidades naturales que tienen las plantas, en este caso de chile habanero, y lograr dos cosas: la primera, abastecer a una creciente población de alimento, y la segunda, aprovechar las bondades de los productos consumidos con mejores propiedades para una mejor dieta y salud de la población.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia económica del cultivo

Todos los chiles cultivados del mundo pertenecen al género *Capsicum*. Su producción y consumo en la última década se ha incrementado tanto en el mercado nacional como internacional gracias a su uso como producto en fresco, en seco y procesado, mayormente como condimento, en la fabricación de salsas. En particular, el chile habanero, ha adquirido una importancia considerable debido a la gran diversidad que presenta y a los niveles de pungencia de sus frutos, lo que lo hace muy codiciado en muchos países del mundo (Ruíz *et al.*, 2005).

En México, el chile es el ingrediente más singular y característico de su cocina, no sólo se cultiva por todo el país, sino que en muchas regiones se han desarrollado variedades propias de esa área y de su cocina local. La superficie sembrada fluctúa alrededor de 170 mil hectáreas, distribuidas en la mayoría de las entidades federativas del país, en donde destacan por el área sembrada y volumen de producción, los estados de Zacatecas, Chihuahua, Sinaloa, San Luis Potosí y Guanajuato (Calixto, 2009).

En cuanto a chile habanero, en nuestro país los estados productores son Baja California Sur, San Luis Potosí, Chiapas, Sonora, Tabasco y Veracruz. Sin embargo, más del 50% de la producción destinada a los mercados nacional e internacional proviene de la Península de Yucatán, que abarca los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán. De ahí que productores y autoridades de Yucatán en 2006 promovieran ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) la denominación de origen con lo que únicamente el chile habanero y sus derivados (como son las salsas) producidos en región ostenten la denominación “chile habanero de Yucatán”, obtenida en el 2008.

El chile habanero es un cultivo de gran importancia económica para los productores de hortalizas del estado de Yucatán, ocupando el segundo lugar después del cultivo del jitomate. La mayor superficie de cultivo se encuentra en la parte norte del

estado y contribuye en más del 90% del volumen de producción estatal, que en su mayor parte se comercializa y se consume en fresco y sólo una pequeña parte se utiliza en la industria como materia prima para la elaboración de salsas picantes (Tun, 2001).

2.1.1. Producción mundial

La importancia económica de este género ha sido mundialmente reconocida pues se cultiva tanto en la zona tropical, como en los países de la zona templada. Es muy apreciado en el mundo, lo cual se demuestra con su creciente demanda en Estados Unidos, Japón, China, Tailandia, Inglaterra, Canadá, Cuba y Panamá. Los únicos países exportadores son Belice y México. Sin embargo, el desarrollo del cultivo del chile habanero no se ha consolidado, y no existen estadísticas oficiales de su producción, pues está considerado en el ambiguo rubro de “otros chiles”.

En el mercado de exportación se registra una creciente demanda de chile habanero, ya sea en fresco o industrializado, lo cual también se debe a los nuevos y novedosos usos de la capsaicina. Una oportunidad para su desarrollo es que no existen restricciones fitosanitarias para la exportación de este chile; además, los productores están recibiendo apoyos gubernamentales.

Dentro de las principales debilidades se tiene la atomización de las parcelas productivas, la escasa o nula organización e integración a la comercialización e industrialización de productores, cuyo nivel tecnológico es muy bajo y las condiciones edáficas no son muy buenas. El nulo desarrollo de la tecnología poscosecha, el elevado intermediarismo y las deficiencias en la comercialización también se consideran importantes debilidades de este sistema (Imagen Agropecuaria, 2007).

2.1.2 Producción nacional

La producción de chile habanero en México se ubica en los estados de Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Tabasco, Chiapas, Veracruz, Zacatecas, Coahuila, Aguascalientes, Jalisco y Michoacán. Los rendimientos son muy variables, y destacan Jalisco y Campeche, con 30 y 40-50 toneladas por hectárea (ton/ha), respectivamente;

sin embargo, en Yucatán los rendimientos no rebasan las 10 ton/ha (Imagen Agropecuaria, 2007).

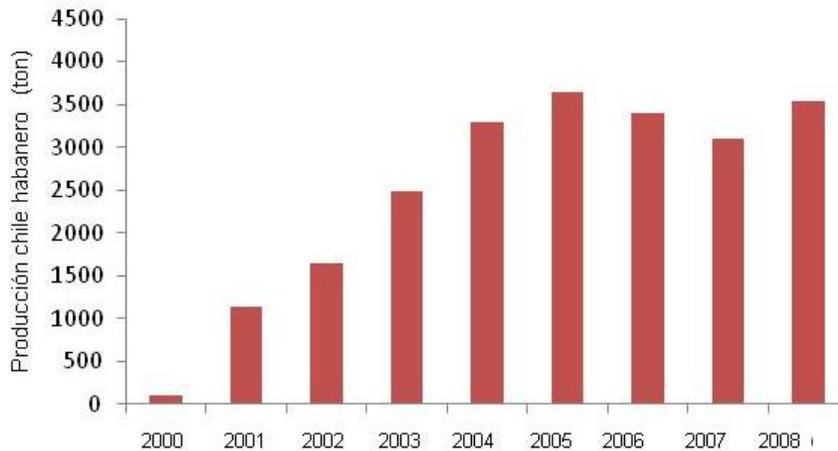


Figura 2.1. Incremento en la producción de chile habanero en el estado de Yucatán (Campoyucatán, 2008).

El cultivo de chile habanero ha tenido un incremento en la superficie de cultivo cosechada en el estado de Yucatán, pasando de 94 ton en el año 2000, a 3,538 en el 2008 (Figura 2.1). Este aumento en su demanda ha sido debido a sus características de sabor, aroma típico, elevado picor (pungencia) y llamativo color; las cuales han servido para la fabricación de botanas, sopas, salsas, aderezos, bebidas, sazónadores, confitería, lácteos y del mar, entre otros productos nacionales y de exportación (Gómez, 2009).

2.1.3. Valor nutrimental del chile habanero

El contenido nutrimental del chile es alto, entre sus propiedades destaca su alto contenido de ácido ascórbico (vitamina C), valor que incluso es superior al de los cítricos. Los chiles picantes presentan un valor casi 10 veces más alto de vitamina A que los chiles dulces. Poseen minerales, entre los que abundan el calcio, potasio y el magnesio, y muy bajo sodio. En algunas variedades el color rojo de los chiles es debido a la presencia de un pigmento denominado licopeno que es un fuerte antioxidante. En la placenta y septas, se ubican unas glándulas o receptáculos ricos en alcaloides

(capsaicinoides), entre los que prevalece la capsaicina, que determinan el grado de pungencia, o picor, del fruto. Se presentan los elementos que componen al chile habanero en su importancia nutricional (Cuadro 2.1). Además de su importancia como alimento, los chiles tienen un potencial nutracéutico. Esto debido a las grandes cantidades fitoquímicos con beneficios a la salud humana. Entre los compuestos aprovechados están los carotenoides, flavonoides, ácido ascórbico, compuestos fenólicos y los capsaicinoides de naturaleza pungente.

El consumo de chiles picantes generalmente es bajo (1 a 4 g per cápita), mientras que el chile dulce se consume en mayores cantidades (> 20 g per cápita), por lo que constituye una fuente alimenticia potencialmente importante para el mejoramiento nutricional (Tun, 2001). El 25% de la población humana ingiere chiles picantes diariamente, los cuales contienen capsaicina. Por ello es importante conocer si tiene un efecto farmacológico más allá del sabor de nuestra dieta (Appendino *et al.*, 2005).

Cuadro 2.1. Aportes nutricionales de chile habanero por 100 g de fruto crudo (Muñoz y Ledesma, 2002).

Elemento	Contenido
Energía	37 kcal
Unidades de agua	91 %
Carbohidratos	5.30 g
Proteína	2.20 g
Lípidos Totales	0.80 g
Fibra dietética	1.60 g
Calcio	18.00 mg
Hierro	2.40 mg
Potasio	340 mg
Sodio	7.00 mg
Magnesio	25.00 mg
Zinc	0.30 mg
Vitamina A	29.50 µg
Tiamina	0.11 mg
Niacina	0.70 mg
Ácido ascórbico	94 mg
Riboflavina	0.16 mg
Piridoxina	0.28 mg
Ácido fólico	23.00 µg

2.2. Origen del chile habanero

El chile habanero, *Capsicum chinense*, es originario de América del Sur, específicamente a Bolivia, Perú, las tierras bajas de la cuenca del Amazonas (sureste de Brasil). Su distribución a otros lugares comenzó hacia la cuenca del Orinoco (ubicada actualmente en los territorios de Colombia y Venezuela), Guyana, Surinam, la Guyana Francesa y las Antillas del Caribe. De ahí se introdujo en África y sureste de Asia por los portugueses en la época colonial. Es una especie localizada en las tierras bajas de los trópicos, aunque existen variedades adaptadas a condiciones de altitudes de hasta 2,500 msnm, en los Andes, desde Bolivia hasta Colombia; en México y América Central, aunque dicha adaptación pudo ocurrir en la época postcolombina (Tun, 2001).

2.3. Taxonomía y botánica

El género *Capsicum* fue descrito por primera vez por el taxónomo y botánico José Pitton antes del año 1700. El origen de la palabra *Capsicum* es desconocido. Algunos autores mencionan que proviene del latín *casicon* o *cápsula*, porque en pequeñas cajas guardaban las semillas del chile. Otros proponen que el término proviene de *kaptein* o *kapto*, que significa algo para morder. No parece haber la menor duda de que el chile es originario de América, algunos botánicos afirman que es originario de Sudamérica. Datos arqueológicos revelan que con una antigüedad de siete mil años antes de Jesucristo, en Tehuacán, México, se encontraron restos de este fruto (Guzmán, 2007).

La clasificación taxonómica del cultivo de chile puede establecerse fácilmente hasta el nivel de género, pero debido a su gran diversidad, la diferenciación a nivel de especie y variedad es complicada. La comunicación internacional sobre la colección y evaluación de *Capsicum* no se ha podido extender por la falta de una taxonomía estable y una nomenclatura convencional para las especies domesticadas. Frecuentemente se utiliza el mismo nombre científico para referirse a diferentes especies. El "International Board for Plant Genetic Resources" (IBPGR) por medio del

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), ha hecho posible el reconocimiento de cinco especies domesticadas: *C. baccatum* y *C. pubescens* son identificadas fácilmente, pero *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. annum* son similares y sólo pueden distinguirse por una combinación de características de la flor y del fruto.

Para el chile habanero, la clasificación taxonómica acorde a Missouri Botanical Garden (MOBOT) (2010) es:

Clase Equisetopsida C. Agardh

Subclase Magnoliidae Novák ex Takht.

Superorden Asterales Takht.

Orden Solanales Juss. ex Bercht & J. Presl.

Familia Solanaceae Juss.

Género *Capsicum* L.

Especie *C. chinense* Jacq.

El chile habanero (Figura 2.2) es una planta de ciclo anual, pudiendo alcanzar hasta 12 meses de vida, dependiendo del manejo agronómico. Su altura es variable, pero en los cultivares comerciales puede oscilar entre 75 y 120 cm.

Semilla. Las semillas son lisas, ovaladas y pequeñas (2.5 a 3.5 mm); tienen testa de color café claro a café oscuro y su período de germinación varía entre ocho a quince días.

Raíz. Tiene raíz pivotante y un sistema radicular bien desarrollado, cuyo tamaño depende de la edad de la planta, las características del suelo y las prácticas de manejo que se le proporcionen; pueden alcanzar longitudes mayores a los 2 m.

Tallo. El tallo es grueso, erecto, glabro y robusto, y generalmente tiene tendencia a formar tres tallos en la primera ramificación, que ocurre entre la décima y duodécima hoja verdadera, para después continuar bifurcándose, con un crecimiento semi-indeterminado; después de la primera trifurcación muy raramente las tres ramas alcanzan el mismo desarrollo.

Hoja. Las hojas son simples, lisas; alternas y de forma lanceolada, de tamaño variable lo mismo que su color, el cual puede presentar diferentes tonos de verde dependiendo de la variedad. Pueden ser glabras o pubescentes; el grado de pubescencia también depende de la variedad. Con una nutrición adecuada se pueden alcanzar hojas con un tamaño superior a los 15 cm de longitud y anchura.

Flor. Las flores son de color blanco; su tamaño varía entre 1.5 a 2.5 cm de diámetro de la corola. Estos órganos surgen en cada ramificación y se pueden presentar racimos de hasta seis flores, dando lugar a un promedio de tres frutos. El número de pétalos y sépalos también es variable (de cinco a siete) aún dentro de la misma especie, lo mismo que la longitud del pedúnculo floral.

Fruto. Los frutos se clasifican como una baya poco carnosa. Son huecos y tienen entre tres y cuatro lóculos; las semillas se alojan en la placenta que es de color blancuzco y seco, no están envueltas por mucosa, y las membranas de los lóculos generalmente no se prolongan hasta el centro. Suelen ser de tamaño y forma variables. El color en tiempo de maduración puede ser amarillo, rojo, anaranjado o café, y su sabor siempre es muy picante, característico de este chile, aunque el grado de pungencia depende de la variedad.



Figura 2.2. Lámina de planta de chile habanero *Capsicum chinense* (Andrews, 1995).

2.3.1. Variedades de chile habanero

El chile habanero es el único cultivar de la especie *Capsicum chinense* Jacq. acorde a González-Salán (sin publicar). Sin embargo, existen diversos tipos de chile habanero, los cuales se diferencian por el color del fruto cuando madura. Los frutos varían en color: amarillo, naranja, rosado, rojo, marrón y café. Para el consumo en fresco nacional es más adquirido el de color naranja, es el preferido por los consumidores y para la industria se utiliza este mismo color y el amarillo. En el mercado extranjero existe preferencia por el fruto rojo por su mayor tamaño y pungencia; el de color café, conocido como “cubano”, tiene buen tamaño y mayor pungencia, pero no tiene demanda en el mercado (Tun, 2001).

Las variedades más conocidas de chile habanero a nivel mundial son West Indian Red, Caribbean Red y Orange Habanero (IICA, 1999). Las principales características de su fruto son:

Orange Habanero: Es el de mayor popularidad, es menor en tamaño que West Indian Red, con superficie lisa, más alargado que Caribbean Red, color verde con maduración anaranjada intenso.

West Indian Red: Superficie irregular (ondulaciones), algunas frutos asemejan la forma de un gorro escocés. Cuando madura tiene un color rojo brillante.

Caribbean Red: Relativamente menor en tamaño, con superficie más lisa, con forma semialargada, color verde con maduración carmesí-rojo.

Existen otras variedades que están siendo probadas por fundaciones e instituciones para su incorporación al mercado. Como ejemplo están las variedades Kukulcán, Chichen Itzá y Jaguar. Estas tres variedades de chile habanero validadas presentan un buen desarrollo vegetativo y calidad de fruto; siendo el porcentaje de primera calidad de 88.81% para Jaguar, seguida de Kukulcán con 78.44% y Chichén Itzá con 75.23% (FPS, 2010).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha llevado a cabo un importante trabajo en apoyo a la producción de esta especie en el sureste nacional, con el desarrollo de nuevas variedades a través del mejoramiento genético, lo cual contribuyó a lograr la denominación de origen de esta especie agrícola en el año 2008 (ASERCA, 2008).

La variedad *Mayapán*, desarrollada en el INIFAP, fue obtenida por medio de la selección y evaluación de las variedades criollas. Esta ofrece mayor rendimiento, el cual es superior a las 35 toneladas por hectárea, y es más resistente a plagas y enfermedades. De igual modo, presenta características propias de picor, sabor, tamaño, olor y forma (Gómez, 2009).

En la actualidad en diversos países se han obtenido híbridos con diversas cruces por polinizadores, de las cuales se han derivado chiles menos picantes por efecto de los genotipos contrastantes.

2.4. Aspectos agrícolas del cultivo

2.4.1. Requerimientos

El conocimiento de los requerimientos agroclimáticos del cultivo de chile habanero, permitirán ubicarlo geográficamente en los sitios más adecuados para su desarrollo y productividad. Con este conocimiento se podrán predecir sus estados fenológicos y programar las labores de cultivo de forma más eficiente.

Los factores climáticos que limitan la adaptación, desarrollo y productividad del chile habanero son la precipitación y temperatura, siendo la primera la más determinante, pero a la vez la más fácil de resolver con la aplicación de riego. Ante esto, dicho factor no es limitativo y no se considerará al determinar el potencial productivo. Los requerimientos para esta especie, acorde a Tun (2001) son:

Agua. Este cultivo demanda una cantidad de agua relativamente alta, de 550 a 700 mm por planta por día; sobre todo durante las etapas de floración, fructificación y llenado de fruto. Humedad del suelo entre el 80 y el 90% de humedad aprovechable. Si el agua es

insuficiente a la planta, produciéndose un estrés, los botones florales y frutos inmaduros son abortados. Aunque también, esto genera que los frutos presenten un mayor picor o pungencia.

Suelo. El suelo es el principal factor limitativo para la producción de chile habanero. El chile habanero se produce mejor en suelos con buen drenaje y adecuada fertilidad; aunque es poco exigente, la práctica de fertilización y abonado permite la obtención de buenos rendimientos, reduciendo el impacto de la condición natural del suelo. Son de buen potencial los suelos luvisoles; mientras las rendzinas y cambisoles tienen un potencial medio, pero pueden obtenerse altos rendimientos a pesar de su pedregosidad y poca profundidad mediante ciertas prácticas de manejo. Los suelos considerados de bajo potencial productivo son los litosoles, vertisoles y regosoles; sin embargo, es factible obtener resultados favorables mediante la aplicación de diversas prácticas de manejo del suelo y del agua. En litosoles y regosoles se recomienda el empleo de abonos orgánicos y fertirrigación; en los vertisoles es necesario realizar prácticas de manejo del agua excedente para su cultivo. Se consideran superficies no aptas las formadas por los suelos gleysoles y solonchaks debido a que sus características no permiten el desarrollo adecuado de las plantas. En resumen, el habanero requiere suelos de textura media a fina con profundidad entre 40 y 50 cm, y pH entre 6.0 y 6.5, aunque se adapta bien a suelos calcáreos con pH ligeramente mayor a 7.0.

Pendiente. La pendiente del terreno no es un factor limitante, ya que el cultivo puede establecerse en pendientes de hasta el 15%, siempre y cuando ésta no limite la eficiencia del sistema de riego; sin embargo, se prefieren las zonas planas para evitar problemas de orden práctico en el manejo de los frutos después de cosecha. Las pendientes de entre 1 a 5% son óptimas para el cultivo; las que varían entre 5 y 10 % son de medio potencial y las que se encuentran entre 10 y 15% son de bajo potencial productivo. Las mayores a 15% no son aptas para este cultivo.

Temperatura. Se desarrolla mejor en regiones con temperatura promedio superior a los 24 °C, poca variación entre las temperaturas diurna y nocturna. La temperatura media óptima requerida para el desarrollo del chile habanero varía entre 25 y 27 °C; la mínima

tolerada es de 15 °C y la máxima de 32 °C. Las temperaturas inferiores a la mínima detienen el crecimiento de la planta y causan malformación del fruto y caída de flores; las superiores a la máxima provocan una mala polinización y caída de las flores por quemadura y/o aborto. Las temperaturas que se encuentran entre 22 y 25 °C son de mediano potencial y las mayores de 27 °C son de bajo potencial productivo. Temperaturas menores a 22 °C se consideran no aptas para esta especie. En zonas tropicales, la temperatura media anual fluctúa entre los 24 y 28 °C, razón por el cual este factor no presenta limitaciones en dichas áreas para el cultivo.

Altitud. Esta especie se cultiva en altitudes inferiores a los 1,000 msnm, aunque se tienen reportes de especies modificadas genéticamente con adaptación a lugares de mayor altitud, hasta de 2,500.

En áreas de cultivo con las condiciones de buen potencial y se aplique la tecnología adecuada, se pueden obtener rendimientos superiores a 20 ton/ha, con frutos de buena calidad, tanto para el mercado nacional, como para la exportación (Tun, 2001).

2.4.2. Época de siembra

El cultivo de *C. chinense* puede sembrarse durante todo el año en sus regiones de origen tropicales, siempre y cuando se le proporcione el riego adecuado, de lo contrario la producción puede reducirse, ya que las lluvias no proporcionan la cantidad de agua necesaria para el cultivo. Sin embargo, los mayores rendimientos se obtienen durante la época de lluvias, debido a las condiciones de temperatura, luminosidad y humedad que se presentan.

La disminución de las temperaturas en el período de diciembre a febrero reduce el desarrollo de las plantas de habanero que se encuentran en etapa de plántula o están recién trasplantadas, razón que debe tomarse en cuenta en el momento de planear la siembra, para proporcionar el manejo adecuado y evitar los efectos adversos de la temperatura sobre el crecimiento.

2.4.3. Producción de plántula

El cultivo de chile habanero se establece mediante la siembra en almácigo o semillero y después se trasplanta al terreno o contenedor definitivo. Las plantas obtenidas con este método están expuestas al ataque severo de la enfermedad conocida como Damping off (“secadera”), formada por un complejo de hongos de los géneros *Phytium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Phytophthora*, los cuales se presentan cuando las plántulas han emergido y debido al daño causado el tallo de éstas se constriñe a nivel del suelo, provocando la muerte de las plantas si la enfermedad no es controlada oportunamente. Así mismo, las plántulas están expuestas a la infección de nematodos, la cual se manifiesta por la presencia de nódulos en las raíces en fases avanzadas del desarrollo del cultivo en el terreno definitivo (Tun, 2001).

Los problemas mencionados se reflejan como una baja producción de plantas, mismas que pueden estar infectadas por diversos patógenos, lo que ocasiona fallas en la población al ser trasplantadas. Las plantas manifiestan los síntomas en el trascurso de su desarrollo en el terreno definitivo, lo cual reduce drásticamente los rendimientos.

Contenedores y sustratos

Para la producción de plantas en charolas existe una gran variedad de tamaños y materiales. Las más recomendadas son las de poliestireno (unicel) de 200 cavidades. Como sustrato se pueden emplear diferentes materiales comerciales, cuya selección depende de la disponibilidad y costo de los mismos; estos sustratos deben ser inertes y estar esterilizados. Se recomienda el uso de Cosmopeat, Peat moss, Growing Mix 1, o algún otro con características similares, todos a base de turba (Tun, 2001).

Proceso de siembra

En el proceso de siembra, se llenan las charolas con el sustrato hasta $\frac{3}{4}$ de la capacidad total de las cavidades. A continuación se colocan de una a dos semillas por cavidad dependiendo de la viabilidad de la misma, y se pone una capa de sustrato para cubrir la semilla hasta llenar la charola. En total se requieren entre 1.0 y 1.5 kg de sustrato por charola. Después de la siembra, se aplica agua a las charolas hasta

saturar completamente el sustrato, para posteriormente colocar estas en un lugar oscuro, a una temperatura de 27 °C, almacenadas una sobre otra y cubiertas con un plástico negro. Se debe revisar el contenido de humedad cada tres días.

La germinación ocurre entre los siete y los 10 días después de la siembra (dds). Al iniciar la emergencia de las plantas, las charolas deben colocarse en un lugar definitivo, acomodadas en una estructura que evite el contacto directo con el suelo, para permitir la aireación y el drenaje, y evitar la salida de las raíces de las cavidades. Una vez que las charolas han sido colocadas en el lugar definitivo, se debe aplicar de uno a dos riegos diarios, dependiendo del clima, para mantener un nivel de humedad adecuado para el desarrollo de las plántulas.

Nutrición en la siembra

Es indispensable la aplicación de fertilizante debido a que el sustrato no contiene los nutrientes necesarios para el desarrollo adecuado de las plantas. Se recomienda preparar una solución nutritiva, para lo cual se utiliza un depósito de 100 litros de agua y se agregan 50 g de urea, 30 g de fosfato monoamónico (MAP) y 40 g de sulfato de potasio; se agita hasta que quede una solución disuelta y se aplica como riego por aspersión. Debe aplicarse tres veces por semana a partir de que las plantas tengan la primera hoja verdadera bien desarrollada.

2.4.4 Trasplante

Las plántulas de chile se trasplantan al terreno o contenedor definitivo cuando tienen entre 15 y 20 cm de altura, y presenta entre seis u ocho hojas verdaderas, lo cual ocurre en un período de 35 a 40 días después de la siembra. El trasplante debe de realizarse por las tardes, cuando la temperatura disminuye; también puede hacerse por la mañana, pero el riesgo de mortalidad aumenta debido al incremento de la temperatura después del mediodía. Se debe de colocar una planta por contenedor o maceta, teniendo cuidado de no ocasionarle daños innecesarios.

Fertilización después de la plantación

La aplicación de fertilizantes para el cultivo de chile habanero se puede hacer de forma manual, como lo lleva a cabo tradicionalmente más del 90% de los productores; o bien mediante la práctica de la fertirrigación, la cual consiste en la aplicación de los fertilizantes o nutrientes que la planta necesita a través del agua de riego.

La fertirrigación, permite ahorrar agua, fertilizante y mano de obra, y simultáneamente hace un control adecuado de su aplicación y distribución; posibilita su establecimiento en cualquier tipo de topografía y en suelos delgados; evita la ocurrencia de un estrés hídrico o nutricional debido a que se riega en forma continua y se aplica fertilizante frecuentemente, además permite una mejor dosificación y distribución más uniforme del agua y los nutrimentos necesarios que la planta requiere. Todo lo anterior conduce a un aumento en la productividad, debido a la sincronización de las necesidades de este último con la oportunidad de las aplicaciones de los fertilizantes en el cultivo (López y Mirafuentes, 2004).

En la fertilización de cultivos de chile a campo abierto, tradicionalmente se efectúan aplicaciones al suelo utilizando fertilizantes granulados como el fosfato diamónico (18-46-0) y las fórmulas balanceadas como el triple 17 considerando el trasplante y floración como etapas fenológicas de importancia. Pérez (1975) determinó para chile habanero una dosis óptima económica de 68-90-0 con rendimiento de 20.7 t/ha en 18 cortes. Los máximos rendimientos con 21.9 t/ha se obtuvieron con el tratamiento 120-120-120. Desde entonces, pocos esfuerzos se han hecho para investigar los requerimientos nutricionales de esta especie.

Se recomienda dividir las dosis de fertilización en tres aplicaciones: la primera se aplica antes del trasplante; la segunda 45 días después del trasplante, cuando el cultivo está en floración; y la tercera después del tercer corte. En la primera se aplica un tercio del nitrógeno (N) y la mitad del fósforo (P) y del potasio (K). En la segunda se debe aplicar otra tercera parte de N, y las cantidades restantes de P y K. En la tercera se aplica el sobrante de N.

También se recomienda hacer fertilización foliar, en dosis de 2.5 kg/ha, a partir de la floración, con intervalos quincenales, hasta un total de seis aplicaciones en el ciclo. Por la gran variedad de estos productos existentes en el mercado, el productor seleccionará el producto considerando el contenido de N, P, K y los micronutrientes. Para su aplicación se deberán considerar las especificaciones en la etiqueta del producto en particular.

Las dosis de las principales fuentes de fertilizantes sugeridas para chile habanero, aplicadas mediante fertirrigación, varían de acuerdo a la etapa fenológica de la planta. Las concentraciones de sales aplicadas a lo largo del ciclo de cultivo, especificando los días después de trasplante (ddt) a los que se aplica el cambio son fundamentales para el vigor y producción de la planta (Cuadro 2.2 y Figura 2.3).

Cuadro 2.2. Requerimiento diario de N, P₂O₅ y K₂O, para el cultivo de chile habanero (Tun, 2001).

ddt	Requerimiento diario (mg/planta)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1-8	20.7	27.0	0.0
9-19	27.9	36.0	15.8
20-26	41.4	48.6	23.0
27-38	54.9	59.0	27.0
39-52	64.0	63.1	49.5
53-68	72.1	44.1	76.6
69-77	83.3	32.4	99.1
78-90	79.7	35.1	94.6
91-100	74.3	36.9	112.6
101-112	63.0	27.0	81.1
113-135	45.0	18.5	54.0
136-156	36.0	14.4	45.0

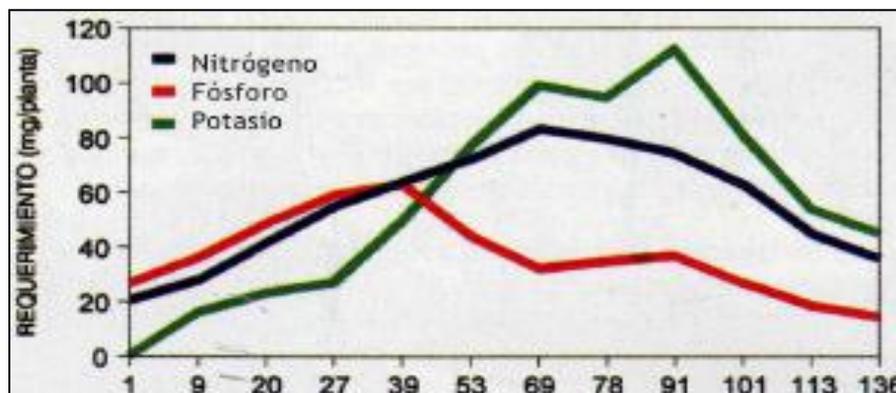


Figura 2.3. Requerimiento diario de N, P₂O₅ y K₂O, para el cultivo de chile habanero (Tun, 2001).

En necesario aclarar que las cantidades indicadas en la tabla anterior se deben tomar como guía para la fertilización, ya que el manejo de la fertirrigación se debe sustentar en el análisis químico del suelo, agua y planta empleando el equipo adecuado para el control del pH, la conductividad eléctrica (C.E.) y la concentración de nutrimentos en la solución del sustrato.

2.4.5 Interacción planta-patógeno-ambiente en el proceso de las enfermedades

Una enfermedad es la expresión de la interacción entre la planta, el patógeno y el ambiente (Figura 2.4); el combate de la enfermedad se alcanza más efectivamente cuando la interacción de estos tres componentes antes mencionados son reconocidos y comprendidos (Huber, 2006). El hombre conoció las enfermedades desde los inicios de la agricultura y se avocó a buscar las causas de las mismas. Actualmente se aceptan dos tipos de agentes causantes de enfermedades en plantas.

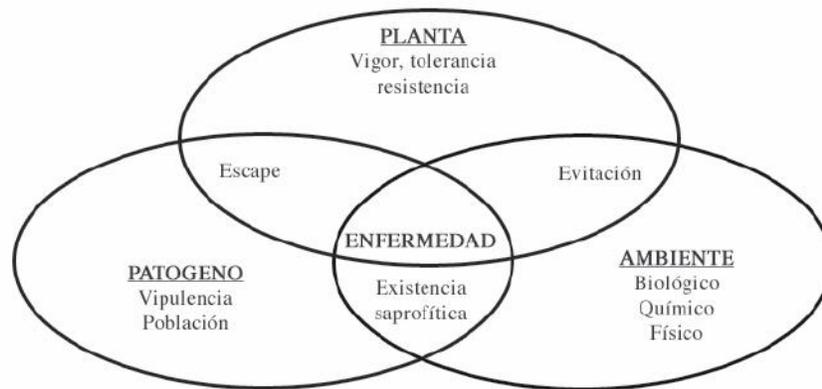


Figura 2.4. Interacciones que determinan la severidad de enfermedades de plantas (Huber, 2006).

Agentes infecciosos

Aquellos que son capaces de generar infección en la planta. Es el caso de hongos, cromistas (Oomycetos), Protistas (Plasmodiophoromycetos), Bacterias, Virus, Viroides, Protozoarios, Nemátodos y plantas superiores parásitas.

Agentes no infecciosos

Aquellos que no son capaces de generar infección como factores ambientales, tipo temperatura alta o baja, pH del suelo, deficiencia o exceso de nutrientes, contaminantes ambientales, luminosidad, foto período, radiación, lluvia, granizo, viento, malezas, plantas alelopáticas. Entendiendo que la enfermedad en una planta es el resultado de la interacción entre un hospedante, un patógeno y el ambiente que lo rodea; es importante conocer el rol que juega cada uno de ellos.

La planta u hospedante

El hospedante interviene con su naturaleza hereditaria, su reacción de defensa y su respuesta al medio ambiente. Es aquel que puede o no permitir la penetración y establecimiento del patógeno, es decir puede reaccionar como susceptible, resistente o tolerante, de acuerdo a su naturaleza hereditaria. Algunas características de la planta o del cultivo pueden favorecer o desfavorecer a las enfermedades.

Patógeno

El patógeno interviene con su variabilidad genética, su ciclo de vida y su respuesta al medio ambiente. En cualquier caso, el hospedante, como consecuencia de la acción del agente causante de una enfermedad muestra síntomas y signos característicos. En el caso de los agentes infecciosos estos actúan sobre la célula vegetal, requiriendo de estas los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo. Cada agente infeccioso tiene su particularidad en cuanto a sus mecanismos de acción en la planta, síntomas, signos, dependiendo de la especie o cultivar atacado. Estas particularidades tienen que ver fundamentalmente con caracteres genéticos propios como virulencia y patogenicidad. Virulencia es la expresión cuantitativa de la patogenicidad, mientras que patogenicidad es la capacidad de un patógeno para enfermar determinados hospedantes. La virulencia y agresividad son dos características importantes en los agentes infecciosos.

Factores ambientales

El medio ambiente predispone al hospedante en el tipo de respuesta y al agente causal en su patogenicidad. A mayor susceptibilidad, mayor virulencia del patógeno bajo condiciones climáticas ambientales favorables para la enfermedad. Este factor es tan importante como los anteriores y el efecto en el hospedante y en el patógeno es muchas veces determinante. Por otro lado, el ambiente de por sí, en ausencia de microorganismos, es capaz de producir una enfermedad conocida como enfermedad abiótica. También participa directamente en el crecimiento y desarrollo del hospedante. Los factores que comúnmente participan son la temperatura, humedad, luminosidad, foto periodo, radiación, viento lluvia, textura del suelo, nutrientes del suelo y los aplicados. Se pueden citar algunos ejemplos como el caso de días largos y alta luminosidad incrementan la severidad de enfermedades como la roya del tallo de trigo y mancha foliar de la alfalfa.

2.4.6. Plagas que afectan al chile habanero

Las plagas son todas aquellas afecciones que son causadas a las plantas por insectos. Se pueden agrupar según quién las produce en: insectos chupadores, barrenadores, trozadores y nematodos. Las de mayor incidencia para chile habanero acorde a Tun (2001) y Lesur (2006) son:

Picudo del chile (Barenillo) – *Anthonomus eugenii*

El adulto es un picudo pequeño de 3-4 mm de color café oscuro brillante; fácil de localizar entre las ocho y 10 de la mañana en las yemas terminales de la planta. Los huevecillos son colocados en frutos tiernos dentro de los cuales se desarrollan las larvas alimentándose de semillas en formación. El fruto cae de la planta saliendo la larva del picudo. Causa el 75% de pérdidas si se presenta. Los daños más severos son entre la octava y onceava semana de floración. Los frutos atacados por barrenillo presentan un punto negro y un ligero hundimiento en el sitio donde la hembra ovipositó. Posteriormente el pedúnculo de los frutos pequeños adquiere una coloración verde amarillento y se desprende de la planta.

Control cultural: Se deben evitar siembras escalonadas para evitar que las plantas viejas sirvan como fuente de infestación. Se puede dejar de sembrar chile por espacio de 2 a 3 meses para romper el ciclo biológico del picudo, incorporar rastrojos del cultivo anterior y la eliminación de plantas hospederas como trepadoras y otras solanáceas.

Control químico: Se recomienda aplicar insecticida una vez por semana. Los insecticidas más recomendados son: Oxamil, Carbaril, Permetrina, Endosulfan, Parathion Metilico, Azinfos Metilico, Cyfluthrin, Folidol M-72, Gusatión M-20 o Sevín 80 PH.

Araña roja - *Tetranychus urticae*

Se desarrolla en el envés de las hojas causando decoloraciones, puntos o manchas amarillentas que pueden apreciarse en el haz como primeros síntomas. Con mayores poblaciones se produce desecación o incluso de foliación. Los ataques más graves se producen en los primeros estados fenológicos. Las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa favorecen el desarrollo de la plaga.

Como medidas de prevención y manejo cultural se encuentran la desinfección de estructuras y suelo previa a la plantación antecedentes de araña roja, eliminar de malas hierbas y restos de cultivo, evitar los excesos de nitrógeno.

Para su control se puede hacer uso de técnicas biológicas o químicas. Sus principales depredadores de huevos, larvas y adultos son: *Amblyseius californicus*, *Phytoseiulus persimilis* y *Feltiella acarisuga*. Los productos químicos usados, con sus respectivas dosis, se encuentran: Acrimatin 15% (0.02-0.04%), Amitraz 20% (0.10-0.30%), Fenpropatrin 10% (1.25-1.50 l/ha).

Ácaro blanco - *Polyphagotarsonemus latus*

Esta plaga ataca principalmente al cultivo de pimiento. Los primeros síntomas se aprecian como rizado de los nervios en las hojas apicales y brotes, y curvaturas de las hojas más desarrolladas. En ataques más avanzados se produce enanismo y una

coloración verde intensa de las plantas. Se distribuye por focos dentro del invernadero, aunque se dispersa rápidamente en épocas calurosas y secas.

Como control químico se pueden usar los siguientes compuestos activos: Abamectina, aceite de verano, amitraz, azufre coloidal, azufre micronizado, azufre mojable, azufre molido, azufre sublimado, azufre micronizado + dicofol, bromopropilato, diazinon, dicofol, endosulfan + azufre, permanganato potásico + azufre micronizado, propargita, tetradifon.

Mosquita blanca - *Bemisia tabaci*

Comienza por la colonización de las partes jóvenes de la planta por los adultos, realizando las puestas de huevecillos en el envés de las hojas. De éstas emergen las primeras larvas, que son móviles. Tras fijarse en la planta pasan por tres estados larvarios y uno de pupa, este último característico de cada especie.

Los daños directos (amarillamientos y debilitamiento de las plantas) son ocasionados por larvas y adultos al alimentarse, absorbiendo la savia de las hojas. Los daños indirectos se deben a la proliferación de hongos sobre la melaza producida por la mosquita en la alimentación, manchando y depreciando los frutos y dificultando el normal desarrollo de las plantas. Otro daño fuerte es por la transmisión de virus, *B. tabaci* es potencialmente transmisora de un mayor número de virus en cultivos hortícolas y en la actualidad actúa como transmisora del virus del rizado amarillo de tomate (TYLCV), así como de ácaros hacia otros cultivos.

Control cultural: Mantener la exclusión del invernadero, limpieza de malas hierbas y restos de cultivos, no asociar cultivos, no abandonar los brotes al final del ciclo, ya que los brotes jóvenes atraen a los adultos de mosca blanca y colocar trampas amarillas cada 200 m². Si ya está presente, se pueden hacer riegos foliares ya que la mosquita se va del cultivo.

Control químico entre los principales productos para su combate se encuentran Endosulfán (0.5 kg i.a./ha) e Imidacloprid (0.25 a 0.35 kg i.a./ha). Otros insecticidas que

pueden usarse son: aceite de verano (0.75-1.50%), Amitraz 20% + Bifentrin 1.5%, Buprofezin 25%.

Control biológico tenemos especies como *Eretmocerus mundus*, *Encarsia transvena*, *Encarsia lutea* y *Cyrtopeltis tenuis*.

Minador de la hoja - *Liriomyza trifolii*

Los huevecillos son ovalados blanco crema, de 0.25 cm de longitud, los cuales están incertados en los tejidos, en forma individualmente en medio. En estado adulto es una mosquita de 2 a 3 milímetros de largo, de color negro con manchas amarillas, sobresaliendo el color amarillo en la parte dorsal y lateral del tórax, de vuelos rápidos y muy activos. Se alimenta en las hojas, dejando pequeños puntos claros cloróticos. El ataque de esta plaga se presenta en forma de túneles o minas, que en un principio son pequeños, pero aumentan su tamaño a medida que la larva se alimenta. Si el ataque es muy severo puede destruir la mayor parte de la hoja y provocar su caída.

Control cultural: Esta plaga encuentra en la maleza de hoja ancha abundantes hospederas, por lo que deben ser eliminadas para que no se reproduzca abundantemente, tanto en el terreno donde está el cultivo como a su alrededor. Una vez que se terminó la última cosecha, deberá destruirse la plantación para evitar la reproducción indiscriminada de dicha plaga.

Control químico: pueden usarse los siguientes productos: Diazinón (0.25 kg i.a./ha), Abamectina (Agrimec) en dosis de 750 ml de producto comercial/ha y Cyromazina (Trigard) en dosis de 150 grs de producto comercial/ha, los cuales pueden usarse en forma intercalada para disminuir la probabilidad de inducir rápidamente resistencia a alguno de ellos.

Pulgón – *Myzus persicae*

Las ninfas y hembras adultas succionan la savia produciendo diversos efectos perjudiciales para el cultivo, tales como amarillento, deformación de hojas y brotes y detención del crecimiento. Se considera que algunas especies como *M. persicae*

inyectan toxinas. Las excretas azucaradas de los áfidos permiten el desarrollo de la fumagina. Estas especies adquieren mayor importancia por ser vectores de enfermedades virósicas en Chile y otros cultivos.

Control cultural: Manejo adecuado de la fertilización nitrogenada debido a que las plantas excesivamente suculentas son atractivas para el desarrollo de altas poblaciones de áfidos y eliminar malezas hospederas.

Control químico: Aplicación de insecticidas sistémicos: Imidacloprid, Metamidofos, Metamidofos + Cyfluthrin.

Orugas - *Spodoptera exigua*

Se ha convertido en una plaga cada vez más recurrente en los sembradíos de Chile, donde ocasiona fuertes daños en el follaje, sobre todo en las primeras etapas de desarrollo de la planta. Ataca al cultivo al colocar sus huevecillos (en masas de 80) en el envés de las hojas, en forma de colonias con un número elevado de especies del género *Spodoptera*. Los daños son causados por las larvas al alimentarse de la savia de la hoja y de frutos. Los adultos son polillas de hábitos nocturnos y crepusculares que ya no se alimentan de la planta.

Control cultural: Colocar mallas en las costados del invernadero, eliminación de malas hierbas y restos de cultivo, eliminar y destruir las hojas bajas de la planta, colocar trampas de feromonas y trampas de luz, y vigilar los primeros estados de desarrollo de los cultivos, en los que se pueden producir daños irreversibles.

Control químico: la dificultad para controlarla con los productos químicos de los grupos toxicológicos más comunes (tales como organofosforados, organoclorados y piretroides), aparentemente por ciertos niveles de resistencia a los mismos.

Trips – *Frankiniella occidentalis*

Los adultos colonizan los cultivos realizando las puestas dentro de los tejidos vegetales en hojas, frutos y, preferentemente, en flores, donde se localizan los mayores niveles de población de adultos y larvas nacidas de las puestas. Los daños directos se

producen por la alimentación de larvas y adultos, sobre todo en el envés de las hojas, dejando un aspecto plateado en los órganos afectados que luego se necrosan. Estos síntomas pueden apreciarse cuando afectan a frutos (sobre todo en pimiento) y cuando son muy severos, en las hojas. Las puestas pueden observarse cuando aparecen en frutos. El daño indirecto es el que acusa mayor importancia y se debe a la transmisión del virus del bronceado del tomate (TSWV).

Control cultural: Colocación de mallas en los lados del invernadero, limpieza de malas hierbas y restos de cultivo y presencia de trampas cromáticas azules.

Control biológico: *Amblyseius barkeri*, *Aeolothrips* sp., *Orius* sp.

Control químico: Los insecticidas para combatir los trips más comúnmente usados, con sus respectivas dosis son los siguientes: Aceite de verano 75% (0.75-1.50%), Acrinatrín 15% (0.02-0.04%), Azufre 40% + Cipermetrin 0.5% (25 kg/ha), Diazinon 2% (20-30 kg/ha).

Nodulaciones de la raíz

Son ocasionadas por el ataque de nematodos *Meloidogyne* sp. Sus síntomas son el desarrollo raquítrico de la planta, marchitez en las horas más calurosas, poca carga de frutos y principalmente la formación de “nódulos” en la raíz. El control de nematodos debe hacerse mediante aplicaciones de fenamifos en dosis de 0.03 kg de i.a./planta, u Oxamil en dosis de 0.78 a 1.04 kg/ha. Se recomienda realizar dos aplicaciones al suelo; la primera al momento del trasplante, debido a que estos organismos habitan en todo tipo de suelos, y la segunda al inicio de fructificación. También puede usarse la planta de flor de muerto (*Tagetes erecta*) que tiene efectos nematicidas; para ello se secan las plantas con flor, se muelen y el polvo obtenido se aplica en dosis de cinco gramos por planta.

2.4.7. Enfermedades del chile habanero

Las enfermedades son causadas por hongos, bacterias y virus, los cuales pueden atacar diferentes órganos de la planta durante su ciclo vegetativo. Cuando

cualquiera de éstos agentes causales penetra en los tejidos de una planta, la infección y contagio de las plantas que están alrededor puede ser tan violenta que en general los tratamientos de control no llegan a tiempo de evitar los daños. Por lo que se sugiere, que en el caso de Chile los controles de las enfermedades sean en forma preventiva. Las enfermedades más recurrentes en el cultivo del Chile son (Tun, 2001 y Lesur, 2006):

Secadera o tristeza - *Phytophthora capsici*

Es el hongo responsable de la enfermedad que es la más devastadora del cultivo y está ampliamente distribuida en las regiones productoras tradicionales. Los síntomas de la enfermedad se inician con clorosis ligera y marchitez temporal que se acentúa a medida que avanza el día, por la dificultad que tienen las plantas infectadas de absorber el agua que requieren para su metabolismo. Ha sido asociada con los excesos de humedad por lluvias prolongadas o riegos pesados; el patógeno también puede infectar las hojas, cuando el inóculo se dispersa por las salpicaduras de las lluvias desde el suelo al follaje, en donde causa lesiones circulares y grisáceas. Permanece en el suelo de en forma de oosporas. En la infección en frutos se observan esporangios blancos como signo del patógeno.

El manejo de la epidemia es preventivo, mediante prácticas culturales sencillas que minimicen su efecto ó contribuyan a un mejor impacto del control químico. Las sugerencias de estas prácticas son las siguientes: que el suelo o sustrato tenga buen drenaje interno y superficial, no hayan registrado problemas en los últimos 4 o 5 años, emplear rotación de cultivo con gramíneas, evitar usar solanáceas o cucurbitáceas, sembrar semilla certificada y desinfectada, transplante de plántulas sanas y vigorosas, provenientes de almácigos o invernaderos certificados. Se pueden hacer aplicaciones curativo-preventivas cuando la enfermedad ha iniciado con la infección, normalmente se usa el mefenoxam (Ridomil gold 4E) a una dosis de 2 lt/ha haciendo aplicaciones cada 30 días a partir de que se observan los primeros síntomas, las aplicaciones deben de ser dirigidas a la base de la planta.

“Damping off”- *Pythium sp*, *Rhizoctonia sp*, *Fusarium sp.*, *Phytophthora sp*.

Esta enfermedad la ocasiona un complejo de hongos habitantes del suelo que pueden infectar solos o en complejos asociados. Puede presentarse desde una etapa temprana de pre y post emergencia de las plántulas de Chile. En el primero de los casos se nota por fallas en la germinación y se encuentran las semillas con podredumbre húmeda. En el segundo caso, en las plántulas emergidas, se observa inicialmente hojas flácidas que gradualmente se van marchitando hasta la muerte total; a la altura del cuello (nivel del suelo) se observa un estrangulamiento del tallo de color café oscuro o rojizo que se prolonga por todo el sistema radical que deja completamente desintegrado.

Cuando las condiciones ambientales son favorables para su desarrollo, que se propicia con un exceso de humedad, materia orgánica no descompuesta y poca aireación del suelo, germina e inicia su ciclo de infección en semillas o plántulas recién emergidas. Las medidas de prevención de esta enfermedad están: desinfección de charolas y sustrato, con Bromuro de Metilo, vapor o Hipoclorito de Sodio al 10%. Desinfección de la semilla, con Thiram (Gustafson 42 S) a dosis de 3.9 g/kg de semilla. Evitar excesos de humedad. El agua es el vehículo más eficiente de infección, por lo tanto se debe evitar dar condiciones favorables para los patógenos, al dar riegos ligeros con agua limpia, ya que este líquido puede ser una fuente primaria de inóculo e infección. Dar riegos livianos, aplicar Folpet (Folpan) 3-4 kg por hectárea y Tiabendazol (Tecto 60) a una dosis de 0.5 kg por hectárea.

En los últimos años se está usando con éxito el control biológico de patógenos del suelo, mediante la aplicación al sustrato, a la semilla, a las plántulas en crecimiento, al transplante en el campo por el goteo, de microorganismos benéficos como *Trichoderma* y *Bacillus subtilis*, que tienen la particularidad de proteger las raíces de las plantas, cubriéndolas completamente, compitiendo por espacio y alimento con otros microorganismos.

Mancha Bacterial - *Xanthomonas campestris* pv *vesicatoria*

Esta bacteria ataca tanto al follaje, como al tallo y frutos. Los síntomas en las hojas son lesiones circulares acuosas que se necrosan y se tornan cafés con los bordos cloróticos. La enfermedad se inicia en las hojas basales ya maduras y recorre rápidamente todo el follaje, en infecciones severas se desarrolla una rápida defoliación de las plantas. Los daños también se observan en botones, flores y frutos pequeños que se caen, en el tallo se presentan lesiones alargadas.

Esta enfermedad tiene amplia distribución geográfica y puede infectar cultivos de chiles que están bajo irrigación, y de secano, se distribuye rápidamente bajo lloviznas frecuentes. La bacteria es muy persistente en residuos de cosecha y se distribuye eficientemente por la semilla. Como medida preventiva se hace su desinfección, ya sea mediante aplicaciones de cobre, en mezclas con estreptomicinas + oxitetraciclina. En los últimos años, han aparecido en el mercado bactericidas a base de cobre pentahidratado, nuevas terramicinas que han dado excelentes resultados. Se recomienda el uso de Cuprimicín 500 Hyper a dosis de 600 gr/ha, este producto es una mezcla de Estreptomicina + Tetraciclina + Cobre.

Tizón Temprano - *Alternaria solani*

El hongo ataca los tallos, hojas y frutos del chile. Este puede ahorcar las plántas causando mal del talluelo (damping-off) en el semillero. En las hojas se presentan pequeñas manchas circulares de color café frecuentemente rodeadas de un halo amarillo. Las manchas tienen la característica de tener anillos concéntricos de color oscuro. Usualmente las manchas aparecen en las hojas más viejas y de éstas suben al resto de la planta. A medida que la enfermedad progresa, el hongo puede atacar los tallos y los frutos. Las manchas en los frutos son similares a las de las hojas con color café y anillos concéntricos oscuros. En los anillos concéntricos se producen esporas polvorientas y oscuras. Las esporas se pueden observar si a la lesión se le acerca un objeto de coloración clara.

La mejor manera de manejar esta enfermedad es mediante un control preventivo. Una vez el tizón temprano se establece en el cultivo, es muy difícil su control. Se recomienda inspeccionar el cultivo dos veces por semana buscando plantas con los síntomas de la enfermedad antes de iniciar cualquier aplicación de fungicidas a base de sulfato de cobre.

Tizón Tardío - *Phytophthora infestans*

Esta enfermedad se presenta cuando se producen cambios bruscos de temperatura y humedad. Es decir, climas fríos y con presencia de lluvias, favorecen del desarrollo de esta enfermedad. Temperaturas de 4 a 26°C aceleran la germinación de las esporas. Las cuales no prosperan a temperaturas de 25 a 28°C en climas secos, pero una vez que la enfermedad se ha desarrollado en la planta, esta se incrementa con mayor rapidez a temperaturas que oscilan entre 20 a 25°C. Se desarrolla más en los meses frescos y lluviosos, septiembre a diciembre, dañando hojas, frutos y tallos, la única parte de la planta en donde no se presenta es en las raíces.

En las hojas se manifiesta inicialmente con la aparición de manchas acuosas circulares e irregulares, que terminan en necrosis de tejido, en las puntas o bordes de las hojas inferiores. En condiciones de humedad las manchas se extienden rápidamente y forman zonas pardas atizonadas, con bordes irregulares. En el borde de la lesión, en el envés de la hoja, se forma una zona blanca constituida por hifas del hongo, posteriormente los folíolos son cubiertos en su totalidad por infección y mueren. En los frutos se inicia con una mancha de color verde-grisáceo o bronceada, que luego se oscurece (manchas acuosas), produciendo una podredumbre con la que los tejidos se mantienen firmes. Comienza en la región del cáliz y en cualquier etapa de desarrollo de los frutos. Este hongo puede diseminarse por el viento o por transporte de plántulas.

Marchitez fungosa o fusariosis - *Fusarium oxysporum*

La enfermedad comienza con un amarillamiento de las hojas inferiores, que continúa con una marchitez que avanza de abajo hacia arriba rápidamente. Es posible encontrar en la misma planta, una parte afectada y otra completamente sana. Un

sistema característico es la necrosis vascular en la base del tallo, observándose un color castaño rojizo al hacer un corte transversal del tallo o al levantar la corteza.

Manchas de la hoja y el tallo - *Cercospora capsici*

Se manifiesta cuando estos órganos presentan clorosis y manchas oscuras con centro gris ligeramente ovaladas. Si el ataque es fuerte, la clorosis es total y las hojas caen. Su control se lleva a cabo al presentarse los primeros síntomas, con aplicaciones de Mancozeb en dosis de 1.6 kg de ingrediente activo (i.a.) por hectárea (ha); Captán en dosis de 1.0 kg i.a./ha, u Oxicloruro de Cobre en dosis de 1.0 a 1.5 kg de i.a./ ha. El intervalo de aplicación dependerá de la incidencia y severidad de la enfermedad.

Marchitez bacteriana - *Pseudomonas solanaceraum*

Esta enfermedad reduce considerablemente el rendimiento del cultivo. El síntoma es un marchitamiento, que se inicia en las hojas inferiores, muy a menudo se observa en una parte de la planta, pero que posteriormente cubre toda la planta. Es una enfermedad muy violenta, no da tiempo a que la planta presente una sintomatología de clorosis. Se puede identificar al realizar cortes del tallo, en el cual se observan el obscurecimiento de los conductos vasculares. Otra forma de identificar este problema, es colocar una fracción de tejido dañado (mejor si es una fracción de raíz o de la base del tallo), en agua en unos dos o tres minutos, se observa un exudado lechoso o liga. Otro síntoma observable, es que la marchitez se da en hierba, ya que las bacterias salen de la planta dañada y penetran a las siguientes plantas. Así también en casos muy avanzados del ataque de estas bacterias, la medida del tallo se pone necrótica o necrozada y el tallo se pudre. En resumen se puede decir que la ausencia de clorosis, la rapidez de marchitamiento, lo necrosado de la médula, son los síntomas de esta enfermedad.

Como medidas de prevención se encuentra usar variedades resistentes, no dañar el sistema radicular de las plantas y hacer rotación de cultivos, buen manejo del riego. Nunca someter el chile a estrés hídrico, (ni exceso ni falta de agua, porque se rompen las raíces absorbentes y es un medio apropiado para que entren las bacterias).

Puede controlarse mediante la aplicación de Estreptomicina + Oxitetraciclina en dosis de 0.040 más 0.004 kg/ha respectivamente, con intervalos de siete a 10 días, dependiendo de la incidencia y severidad de la enfermedad.

Virosis

A nivel nacional, las enfermedades virales son de los problemas que limitan los rendimientos y calidad del fruto, ocasionan daños económicos severos por el costo de la provocación y control del complejo virus-vector. El Rizado Amarillo del Chile que es un complejo de geminivirus transmitido por la mosquita blanca, es el responsable de más del 80% de la infección y su vector tiene un amplio rango de adaptación y gran número de hospederas cultivadas y silvestres; se han identificado los geminivirus Chino del Tomate (ChdTV), Serrano Goleen Virus (SGV) y el Pepper Huasteco Virus (PHV). Hay cinco otros virus transmitidos por *Myzus persicae*, que están presentes en la mayoría de las regiones, como el Jaspeado del Tabaco (VJT), Mosaico del Pepino (VMP) y el Y de la Papa (VYP).

2.4.8. La nutrición en la adquisición de enfermedades

La nutrición equilibrada tiene la función importante en los cultivos al afectar su resistencia o susceptibilidad a las enfermedades, ya que los elementos minerales están directamente involucrados en los mecanismos de defensa de la planta, al formar parte de compuestos estructurales y/o funcionales de las células y de procesos metabólicos. La incidencia de plagas y enfermedades puede ser un indicador de mal manejo nutricional del cultivo (Ramírez-Flores *et al.*, 2006). Se menciona en la literatura que el desbalance nutrimental está fuertemente involucrado en el crecimiento y supervivencia de los patógenos, así como en la predisposición, tolerancia y resistencia de las plantas a éstos (Velasco, 1999). La inmovilización de nutrientes que la planta necesita para sintetizar barreras físicas y químicas, por acción de microorganismos patógenos o saprófitos en el ambiente o en el umbral de infección, puede dar como resultado una planta susceptible a la enfermedad. A su vez, la ausencia de nutrientes específicos

requeridos por un organismo para su actividad patogénica se puede manifestar como resistencia o escape a la enfermedad (Huber, 2006).

Cada uno de los elementos minerales esenciales puede influenciar algunas enfermedades, la concentración de cada uno de ellos a la que pueden ocasionar alguna patología varía en el cultivo (Cuadro 2.3); y además, ningún elemento combate todas las enfermedades en todas las plantas. La severidad de la mayoría de las enfermedades puede ser significativamente reducida mediante una nutrición adecuada.

Cuadro 2.3. Efecto de la concentración en ppm de los principales elementos minerales sobre las enfermedades en plantas (Huber, 2006).

Elemento mineral	La enfermedad:		
	Disminuye	Aumenta	Efecto variable
N (N / NH₄ / NO₃)	168	233	17
Fósforo	82	42	2
Potasio	144	52	12
Calcio	66	17	4
Magnesio	68	13	2
Cobre	49	3	0
Zinc	23	10	3
Boro	25	4	0
Hierro	17	7	0
Azufre	11	13	0
Manganeso	18	12	2
Sílice	15	0	0
Cloro	9	2	8
Otros	27	4	0

El manejo de los nutrientes para el combate de enfermedades debe satisfacer las necesidades potenciales del cultivo para una producción eficiente, ser económicamente factible y ambientalmente seguro. La severidad de la mayoría de enfermedades se puede reducir con el manejo mejorado de la nutrición mineral. Esto se puede lograr modificando la disponibilidad de nutrientes particulares, o mejorando la eficiencia de absorción por la planta. La disponibilidad de nutrientes se modifica con enmienda de fertilizante, cambiando el ambiente (pH, humedad, etc.), densidad de plantas, rotación de cultivos, laboreo, y preparación de surcos. La eficiencia de

absorción se puede aumentar modificando la morfología de la raíz, cinética de absorción de iones, o biología de la rizósfera (Huber, 2006).

2.4.9. Cosecha del fruto

El inicio de esta práctica depende del tipo de chile habanero empleado y el destino de la producción. Para el consumo en fresco, generalmente se emplea el de tipo anaranjado; en este caso, el primer corte se lleva a cabo cuando los frutos tienen un color verde brillante y son duros al tacto, lo cual ocurre aproximadamente a los 75 - 80 días después de trasplante (Tun, 2001). La cosecha se hace manualmente, se corta el fruto con todo y pedúnculo; se toman los frutos que han llegado a su madurez, no debe permitirse que permanezcan en la planta porque esto los debilita, acelera su senescencia, acorta su vida de anaquel y también el ciclo productivo de la planta. Los cortes pueden ser uno o dos por semana, de acuerdo con el manejo del cultivo, ya que es una planta semiperenne. Si el sistema radical es sano, incluso pueden podarse las ramificaciones viejas para promover brotes nuevos y obtener más cosechas (Imagen Agropecuaria, 2007).

Los siguientes cortes se deben hacer cada semana. Si el tiempo se alarga, el fruto se colorea, adquiere “sazón”, se reduce su valor comercial, la planta pierde vigor y puede morir por el exceso de frutos que requiere mantener. Sin embargo, existen mercados que demandan fruto maduro, por lo que tienen que cosecharse cuando se inicia el cambio de coloración, verde a anaranjado.

La calidad del fruto de chile habanero la determina su apariencia, tamaño y peso unitario, así como la firmeza y el color. Para su venta en el mercado, la clasificación del fruto es la siguiente: grande, mayor de 10 g; mediando, entre 7.5 y 10 g; chico, con un peso entre 5 y 7.5 g; y rezaga, menor a 5 g. Su tamaño determina el peso y precio que se obtiene en el mercado.

Para el caso del chile habanero rojo, tanto para consumo en fresco como para otros usos, se debe cosechar cuando se tengan los frutos de color rojo brillante, por lo que debe madurar en la planta. La planta de este tipo de chile no presenta afectación

alguna por mantener una gran cantidad de frutos maduros, siempre y cuando ésta se encuentre en buenas condiciones nutricionales (Tun, 2001).

2.4.10. Usos del chile habanero

Como se ha mencionado con anterioridad, el principal uso del chile habanero es como fruto comestible en fresco debido a sus cualidades de sabor, aroma típico, elevado picor (pungencia) y llamativo color. Además se ha expandido su uso en la industria agroalimentaria, el cual han servido para la fabricación de botanas, sopas, salsas, aderezos, bebidas, sazónadores, para enlatados en salmuera, pastas, deshidratados, polvos, confitería, lácteos y del mar, entre otros productos nacionales y de exportación (Gómez, 2009). Además, el interés por la planta de *Capsicum* se ha incrementado debido a la presencia de otros compuestos, conocidos como fitoquímicos, que tienen un efecto benéfico sobre la salud humana (Guzmán y Paredes, 1998). Dentro de este grupo de compuestos se encuentran los ácidos fenólicos, de los cuales se sabe que reducen el riesgo de contraer cáncer, problemas cardiovasculares y otras enfermedades crónico degenerativas (Dillard y German, 2000).

Dentro de este grupo es muy importante resaltar el uso que en los últimos años ha adquirido la capsaicina, compuesto fenólico ($C_9H_{14}O_2$) que se encuentra en el sistema vascular y en los tejidos de la placenta del fruto de los chiles como sustancia usada tanto en la industria alimentaria y médica, resultando esto relevante para su cultivo; siendo mayor la cantidad de capsaicina presente en los frutos de habanero (García *et al.*, 2006).

2.5. Pungencia

La pungencia es definida como una respuesta específica a receptores sensoriales del dolor y térmica ocasionada por un estímulo de tipo químico, es una respuesta sensorial a la capsaicina en la boca (Andrews, 1995). No afecta la habilidad de detectar un estímulo físico: tacto, vista, sabor, olor, o audición. Debería ser considerada como un atributo del gusto, así como lo dulce, salado, agrio o amargo en

lugar de picoso, agudo, cáustico, ardiente o muchos otros términos insatisfactorios que se le dan a su única cualidad, es independiente del sabor del fruto.

El grupo de los chiles incluye una amplia gama de miembros del género *Capsicum*, que difieren tanto en la arquitectura de las plantas, el tamaño y forma de los frutos, como en el grado de picor o pungencia. Esta última característica es la más importante para hacer la primera división de los chiles cultivados: el grupo de los chiles dulces y el de los picantes. Dentro de cada uno de estos grupos existe una gran variedad de tipos. Se ha encontrado que los frutos grandes tienen menor pungencia, por lo que los chiles de frutos pequeños serían mejores productores de picor (Bolaños, 2001).

El principal factor que causa la sensación picante es un potente alcaloide blanco cristalino liposoluble formado del ácido homovanílico, que es virtualmente insoluble en agua, sin sabor y sin olor llamado capsaicina. Se produce en la placenta, las semillas, la pared del fruto y la cáscara. El porcentaje de concentración de este compuesto en cada parte del fruto varía según el tipo de chile (Bolaños, 2001). La capsaicina (CAP) y sus cuatro derivados conforman los capsaicinoides, sustancias alcalinas y aceitosas que solamente están presentes en la placenta de los frutos del género *Capsicum*, los cuales son los más pungentes de los diferentes agentes de pungencia que poseen otras especies como la cebolla, pimienta y el jengibre. En la boca crea una sensación de calentamiento que incrementa a un severo dolor si las dosis son altas. La pungencia se efectúa cuando los capsaicinoides estimulan las neuronas sensoriales en la cavidad bucal y en la piel, causándoles que produzcan el neuropéptido Sustancia P (SP), que envía la señal de dolor. Tiene la habilidad de reducir SP de terminales sensoriales locales en la piel, membranas mucosas y pulpa dental con importantes prospectos terapéuticos (Andrews, 1995).

2.5.1. Factores involucrados en la expresión de la pungencia

La pungencia se debe a un gen dominante simple, sujeto a modificadores del gen mayor y a condiciones ambientales: más iluminación, más altitud o menor tensión

de CO₂, menor fertilidad, un mayor estrés hídrico, lo que dan por resultado una mayor pungencia (Neumann, 2004).

La pungencia es una característica relacionada directamente con la tipificación varietal, es decir, con la capacidad que presenten las diferentes variedades para acumular compuestos alcaloides en sus células. Pero además de este factor, que es el más determinante, existen otros relacionados con factores agronómicos, vinculados al proceso de producción. Estos factores están relacionados con el tipo de suelo, como por ejemplo con la capacidad de retención de elementos nutritivos; con las condiciones climáticas, de forma que las temperaturas elevadas durante el ciclo de cultivo aumentan la acritud del fruto, con el tipo y cantidad de fertilizantes nitrogenados y potásicos.

En relación con este último, el ion nitrato es la forma en que las plantas absorben la mayor parte de nitrógeno que necesitan a través de las raíces ya en la planta, el nitrato se reduce gradualmente a nitritos y de estos a ion amonio, para llegar a aminoácidos y de estos últimos, a la síntesis de proteínas. Si la velocidad de absorción de los nitratos es superior a la de transformación, se acumularán nitratos en las vacuolas de los tejidos vegetales.

El exceso de agua de riego puede influir en una mayor absorción de elementos nutritivos, sobre todo de nitrógeno, que ocasione la acumulación de nitratos y con ello, la influencia sobre la pungencia. Pero también una falta de agua puede incidir en un mayor nivel de pungencia.

Se han encontrado en la literatura trabajos sobre factores involucrados en la pungencia de diferentes hortalizas. González y colaboradores (2009) hacen un estudio sobre el efecto en de la relación amonio/nitrato en hierbas aromáticas de cebollín, albahaca y eneldo; usaron la solución nutritiva universal Steiner, la cual se modificó para obtener cuatro diferentes relaciones de NH₄⁺ / NO₃⁻ (0/100, 20/80, 40/60 y 100/0) para los riegos de las plantas. Ellos encontraron que la relación 0/100, incrementó significativamente el área foliar y la producción de biomasa total en cebollín. En albahaca, la mayor altura, área foliar y biomasa total se obtuvieron con la relación

20/80. En eneldo no se observaron diferencias por efecto de las relaciones NH_4^+ / NO_3^- estudiadas.

En otro estudio, se encontró que plantas de perejil expuestas a un estrés hídrico del 35-40% y del 45-60% las plantas presentaban una mayor acumulación de aceites esenciales y aromas más fuertes en comparación con el grupo testigo (Petropoulos *et al.*, 2007).

2.6. Capsaicinoides

Los capsaicinoides (CAP's) se producen de forma natural en todos los frutos de chile (*Capsicum* spp.). Su contenido depende de la especie y variedad que se cultive, el grado de madurez y las condiciones de cultivo (Zewdie y Bosland, 2000). Las plantas de chile (*Capsicum* spp.) sintetizan y acumulan capsaicinoides, un grupo de amidas ácidas derivadas de la vainillilamina responsables del picor o pungencia de estos, que son sintetizados principalmente en el tejido de la placenta adyacente a las semillas (Vázquez *et al.*, 2007). La variación de aminas está determinada por el genotipo, las condiciones climáticas y las prácticas de cultivo en cada localidad, asociadas a su vez con la selección, multiplicación e intercambio tradicional de semillas, así como con el uso culinario de cada tipo de chile, pues los consumidores identifican características organolépticas específicas (Morán-Bañuelos *et al.*, 2008).

Debido a su localización en el tejido de la placenta, los capsaicinoides tienen un papel en la protección química de las semillas. Las variedades criollas de habanero se caracterizan por presentar diferentes grados de pungencia y en consecuencia de contenido de capsaicina (Medina *et al.* 2008).

2.6.1. Metabolismo de los capsaicinoides

Se conocen más de 20 diferentes CAP's cuya estructura química consiste en un núcleo fenólico unido mediante un enlace amida y un ácido graso. La porción fenólica es la vainillilamina, que se forma a partir de la fenilalanina por medio de la ruta de los fenilpropanoides. El ácido graso se forma a partir de aminoácidos de cadena lateral ramificada, ya sea valina o leucina. Las diferencias estructurales de los diversos capsaicinoides están en la naturaleza de la cadena lateral, que puede ser de nueve u once carbonos de largo, con número variable de enlaces dobles colocados en diferentes posiciones. No es claro si las diferencias en los CAP's se deben a modificaciones que sufre la cadena de ácido graso antes o después de su unión con la vainillilamina (Vázquez *et al.*, 2007). Los principales CAP's son nornorcapsaicina, norcapsaicina, capsaicina, homocapsaicina, nornordihidrocapsaicina,

nordihidrocapsaicina, dihidrocapsaicina, y homodihidrocapsaicina. La capsaicina y la dihidrocapsaicina son los responsables de más de 90 % del picor (Manirakiza *et al.*, 2003).

La vainillilamina se forma mediante conversiones sucesivas de la fenilalanina en los ácidos *trans*-cinámico, cumárico, cafeico y ferúlico, por acción de las enzimas fenilalanina amonio liasa (PAL), cinamato 4-hidroxilasa (Ca4H), cumarato 3-hidroxilasa (Ca3H) y ácido cafeico metiltransferasa (COMT). La vainillina es un intermediario tardío que es aminado por acción de una transaminasa, para dar lugar a la vainillilamina la cual, por acción de una aciltransferasa llamada capsaicinoide sintasa (CS), se condensa con el derivado acil-graso para dar lugar a los capsaicinoides. Se ha propuesto que el ácido graso se puede formar a partir de la leucina o valina. Se presenta la ruta propuesta para la síntesis de los CAP's (Figura 2.6), los cuales una vez formados se almacenan en vesículas derivadas de las células epidermales de la placenta (Vázquez *et al.*, 2007).

2.6.2. Localización de las enzimas de la síntesis de capsaicinoides

Las enzimas requeridas para la formación de los CAP's se encuentran en el tejido placentario de frutos inmaduros (Figura 2.5). Los capsaicinoides son acumulados con pequeñas vesículas o ampollas en las vacuolas de estas células epiteliales (Stewart Jr *et al.*, 2007).

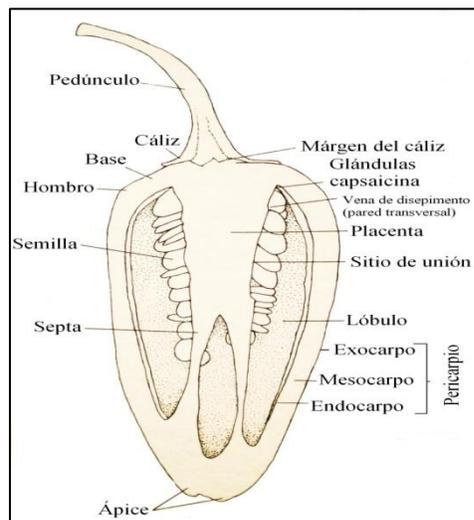


Figura 2.5. Partes que componen al fruto de Chile (Andrews, 1995).

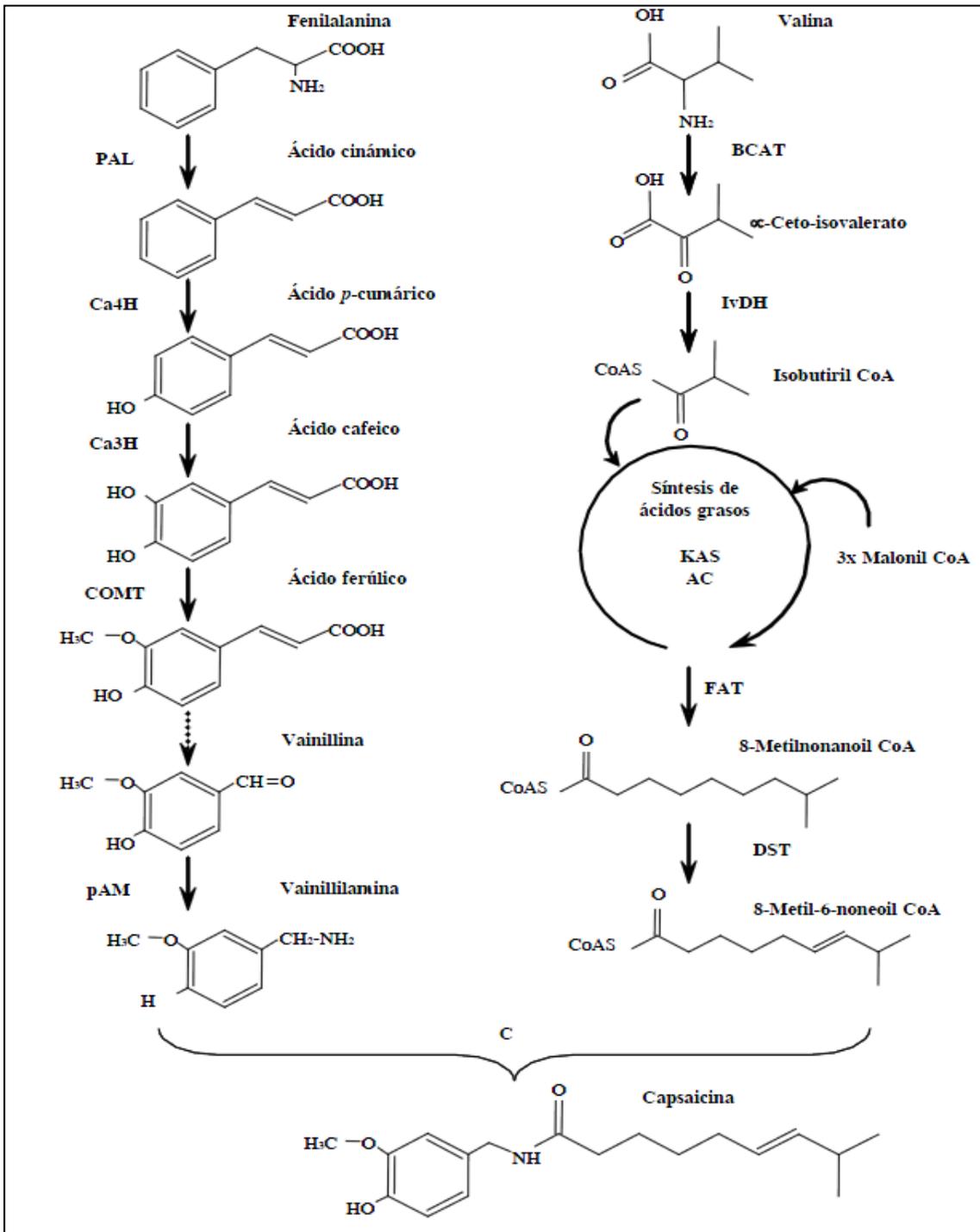


Figura 2.6. Ruta propuesta para la biosíntesis de los capsaicinoides en el género *Capsicum*. PAL, fenilalanina amonio liasa; Ca4H, ácido cinámico 4 hidroxilasa; Ca3H cumarato 3 hidroxilasa; COMT, ácido cafeico O-metiltransferasa; pAMT, presunta aminotransferasa de la vainillina; BCAT, aminotransferasa de los aminoácidos ramificados. IvDHaisovalerato deshidrogenasa; Kas β-cetoacil sintasa; ACL, proteína acarreadora de grupos acilo; FAT, tioesterasa; DST desaturasa; CS capsaicinoide sintasa. La fecha punteada representa las reacciones por caracterizar (Vázquez *et al.*, 2007).

2.6.3. Factores involucrados en producción de CAP´s

2.6.3.1. Regulación genética

Desde principios del siglo pasado se estableció que el picor era una característica dominante simple, asociada con el locus C (Andrews, 1995). Basados en un mapa genético del cromosoma 2 de *C. annuum* en el que se encuentra el locus C, y mediante un análisis de secuencias cortas de expresión (EST´s) propias de la placenta de variedades picosas del chile, el producto de C fue identificado y aislado, proponiéndose cambiar la nomenclatura para este locus a *Pun*. El producto de *Pun1*, denominado AT3, corresponde a una presunta acil-transferasa específica para la placenta de los genotipos picosos de *C. annuum* y *C. chinense*, cuya mayor expresión coincide con la acumulación de capsaicinoides. El alelo *Pun1* tiene un comportamiento dominante simple que determina la ocurrencia del fenotipo picoso. El alelo recesivo ocupa el locus equivalente en los genotipos dulces o no picosos y carece de un fragmento de 2.5 kb próximo al extremo 5´ que abarca una porción del promotor y del primer exón. Recientemente se estableció que el producto de *Pun1* no está relacionado directamente con el proceso de formación de los CAP´s sino con el desarrollo de las vesículas en las que se acumulan, ya que su expresión antecede a la aparición de estas estructuras y a la acumulación de capsaicinoides. La formación de estas vesículas es indispensable para la ocurrencia del fenotipo picoso (Stewart Jr *et al.*, 2007).

2.6.3.2. Regulación por factores ambientales y desarrollo.

Los factores ambientales tienen un efecto importante sobre la acumulación de los capsaicinoides. Además, muchos de los productos finales de la ruta de los fenilpropanoides, que es la que da origen a los intermediarios biosintéticos de los CAP´s, se acumulan en respuesta a diferentes condiciones ambientales. En una población dihaploide de *C. annuum* se presentaron variaciones de hasta ocho veces en el contenido de CAP´s cuando fueron cultivados simultáneamente en condiciones ambientales diferentes (Vázquez *et al.*, 2007).

Uno de los factores ambientales que tiene mayor efecto sobre el picor es la limitación o exceso de agua, aunque este efecto puede no ser el mismo en diferentes genotipos. Por ejemplo, el mismo tratamiento de sequía aplicado a las variedades “Beauty Zest” y “Home Flavor” de *C. annuum* dio como resultado un aumento en el contenido de capsaicinoides, mientras que en la variedad “Hungarian” no tuvo ningún efecto. El aumento en el contenido de CAP´s coincidió con mayores actividades enzimáticas de PAL, Ca4H y CS, mientras que la actividad de las peroxidasas del fruto permanecieron constantes; lo que sugiere que en estas condiciones se produjo una mayor capacidad de síntesis de CAP´s (Sung *et al.*, 2005).

Otro factor que influye en el picor es la temperatura. Esta afecta la actividad metabólica celular, la absorción de agua y nutrientes, el intercambio gaseoso y gasto de carbohidratos y reguladores de crecimiento, entre otros (Tognoni, 2000). Durante el verano, un problema que enfrentan los productores que utilizan invernaderos son las elevadas temperaturas, las cuales disminuyen la calidad de hortalizas y flores, y causan quemaduras en plántulas.

El estado de desarrollo también tiene efectos importantes sobre la síntesis de capsaicinoides. Dependiendo de los genotipos utilizados y de las condiciones de cultivo, su acumulación comienza durante las etapas tempranas del desarrollo del fruto, esto es entre los 20 y 50 días después de la antesis (Contreras-Padilla y Yahia, 1998). La posición del fruto en los tallos también determina el grado de picor, debido a la diferencia en la temporalidad de desarrollo, lo que puede relacionarse con variaciones en el suministro de algunos de los nutrimentos y fotoasimilados necesarios para el crecimiento y maduración de los frutos (Zewdie y Bosland, 2000). Las heridas en el fruto pueden reducir su picor, probablemente porque el contacto de los capsaicinoides con el oxígeno promueve su oxidación (Kirschbaum-Titze *et al.*, 2002).

Se reportan que existen otros factores se están relacionados con el picor del chile habanero en función de la producción de capsaicinoides. Vega y colaboradores (2004) probaron la aplicación de ácido salicílico (SA) para la acumulación de capsaicinoides en chile habanero; obteniendo que con la aplicación de SA el número de

flores y acumulación de capsaicina se incrementaba con respecto al testigo entre un 184 y 546%. El mejor efecto se observó con los tratamientos de 10 mM con 29.54 mg/g de peso seco del fruto, que equivalen a 475,594 unidades Scoville; este valor sobrepasa con un 46% los límites establecidos para el contenido de capsaicina en los frutos de chile habanero.

2.6.3.3. Regulación por nutrición

El estado nutrimental de la planta también tiene un efecto en la acumulación de CAP's. Entre las prácticas que un cultivo requiere, se encuentra la fertilización de la planta. Se han llevado a cabo estudios que demuestran la afección que puede producir en el chile este factor. En *C. annuum* var. "Jalapeño" se ha encontrado que la dosis de nitrógeno aplicado como fertilizante tiene un valor óptimo (7.5 mM a 22.5 mM) para la máxima acumulación de capsaicinoides, y dosis mayores pueden ocasionar su disminución (Johnson y Decoteau, 1996). Monforte-González y colaboradores (2009) afirman que el nitrógeno aumenta los niveles de capsaicinoides en tejido placentario de chile habanero.

Preciado y colaboradores (2008) llevaron a cabo un estudio sobre el efecto de las concentraciones de amonio y fosfato en la solución nutritiva sobre el crecimiento de plántulas de chile jalapeño. Ellos obtuvieron que el factor de mayor influencia en el desarrollo de las plántulas fue el NH_4^+ con 1.5 mmol L^{-1} , se obtuvieron plántulas más vigorosas con una mayor extracción de nutrientes; y la mayor acumulación de biomasa y nutrientes, a excepción del P, se obtuvo con una concentración de 1.0 mmol L^{-1} de H_2PO_4 .

El nitrógeno (N) y fósforo (P) son los nutrientes más demandados por las plántulas de chile al aparecer las primeras hojas (Bar-Tal *et al.*, 1990). El chile habanero posee requerimientos específicos de nutrientes como nitrógeno y potasio para el buen desarrollo de este (Medina *et al.* 2008). Estos elementos tienen diferentes funciones fisiológicas sobre las plantas.

Nitrógeno (N)

El nitrógeno es el cuarto elemento más abundante que se encuentra en el tejido vegetal después del carbono, oxígeno e hidrógeno. Además es parte importante de un gran número de los constituyentes de las plantas, proteínas y clorofila, entre otros. Es el macroelemento de mayor necesidad para el crecimiento del tejido vegetal. Las plantas pueden aprovechar el nitrógeno en forma de nitrato o amonio (NO_3^- o NH_4^+ respectivamente), por lo que en hidroponía es posible utilizar nitrato y amonio en las soluciones nutritivas. El nitrógeno en forma de NO_3^- es preferentemente absorbido por la mayoría de las plantas vasculares, mientras que la forma NH_4^+ resulta tóxica para muchas de ellas, incluso en bajas concentraciones cuando ésta es la única fuente de nitrógeno o en combinación con N- NO_3 (González, *et al.*, 2009). Se ha demostrado que el N es el elemento que mayor impacto tiene sobre el crecimiento de la plántula en condiciones de invernadero (Preciado *et al.*, 2005).

Medina y colaboradores (2008) llevaron a cabo estudios de nutrición sobre el efecto de la relación N/K en los niveles de capsaicina en chile habanero. Además determinaron cuál era la semana de mayor producción de fruto. Ellos encontraron que a una concentración de 15 mM de nitrógeno, en la tercer semana fue la más numerosa con 38 frutos; mientras que en el potasio las concentraciones de 1 mM y 9 mM para la cuarta y quinta semana respectivamente. Johnson y Decoteau, (1996) estudiaron el efecto de fertilización nitrogenada y potásica en el crecimiento, cultivo y pungencia de jalapeño. Sus resultados muestran que para el mejor crecimiento de la planta se requiere una concentración de 15 mM de N y 6 mM de K, y una concentración de 7.5 a 22.5 mM de N para incrementar la pungencia del fruto, el potasio no tuvo efecto sobre este factor.

Fósforo (P)

El fósforo es, como el nitrógeno, un importante nutriente de las plantas, pues forma parte estructural de compuestos fundamentales para su fisiología y además desempeña una función única y exclusiva en el metabolismo energético de la planta; sin su intervención no sería posible la fotosíntesis (California Fertilizer Foundation, 2009).

Una correcta nutrición fosfatada tiene efectos muy positivos en el buen desarrollo radicular, división celular y formación del material genético, componente esencial de fosfoproteínas, fosfolípidos, enzimas, promueve la actividad absorbente de agua y nutrientes de la planta, se activa la flora microbiana de los suelos y, con ello, la descomposición de la materia orgánica y fijación del nitrógeno atmosférico, estimula la floración y formación de semilla, y mejora la resistencia de la planta a factores adversos del ambiente y contra plagas y enfermedades. Abundante cantidad de P se acumula en las semillas y en el fruto donde es esencial para la formación y desarrollo de la semilla. La deficiencia de fósforo afecta al metabolismo vegetal, se manifiesta en las hojas por coloraciones moradas, se retrasa la floración y es deficiente, fallos en la fecundación y cuajado del fruto, retraso en la maduración y escaso vigor de la planta (Better Crops, 1999).

El suministro oportuno de P se relaciona con el adecuado desarrollo del sistema radicular, con la velocidad de la división celular y, por lo tanto, con el crecimiento de la parte aérea; no obstante, la concentración de P aún no está definida en plántulas de Chile. Por otra parte, cuando se combina la aplicación de P con $N-NH_4^+$ existe una mayor solubilidad de P en el sustrato, dando como resultado una mayor absorción de este nutrimento (Preciado *et al.*, 2008). En su estudio, Borges-Gómez y colaboradores (2008) muestran como resultados que la respuesta de rendimiento en frutos de Chile habanero en función de las aplicaciones de P aumentó significativamente. Los fertilizantes fosfatados representan una opción para incorporar fósforo al sistema, ya que éste sirve para reemplazar en el suelo el fósforo exportado en la cosecha y para mejorar la fertilidad de los suelos deficientes en este elemento (Fixen, 2003).

El fósforo forma parte de los ácidos nucleicos, de los fosfolípidos, de las coenzimas NAD y NADP y lo que es especialmente importante, como parte integrante del ATP. En los tejidos meristemáticos de las regiones de la planta que son sede de un activo crecimiento se encuentran fuertes concentraciones de fósforo.

El fósforo participa en el proceso de reproducción y en la constitución genética de las plantas por ser un componente de los ácidos nucleicos. Interviene además en

muchas reacciones bioquímicas relacionadas con el metabolismo de los carbohidratos, grasas y proteínas en las que obra como intermediario, donando o aceptando energía en reacciones específicas. La presencia del elemento es indispensable para la buena fecundación de las flores, estimula el desarrollo del sistema radical y aumenta la resistencia del vegetal a las enfermedades. Es uno de los nutrientes que regula los efectos derivados de la presencia de un exceso de nitrógeno.

El fósforo y el potasio, en general incrementan la resistencia contra las enfermedades, aunque este efecto es mayor en el potasio. Las aplicaciones de P reducen las enfermedades en semilla, así como enfermedades fungosas en la raíz, al estimular un desarrollo vigoroso que permite a las plantas evadir las enfermedades (Balan, 2007).

2.6.4. Usos de los capsaicinoides

Los capsaicinoides poseen propiedades analgésicas, anti-inflamatorias, antioxidantes e incluso anticancerígenas al inhibir el crecimiento dependiente de andrógenos en células cancerígenas de seno, colon, adenocarcinoma gástrico y de próstata (Morán-Bañuelos *et al.*, 2008). Además de muchas otras aplicaciones como el combate de diversas plagas hortícolas y otras como termitas, hormigas, lapas y pulgones, en el recubrimiento de mangueras para evitar ser mordidas por roedores, para potenciar el sabor a menta de los chicles. En el alivio de la artritis, incremento de la circulación periférica, disminución de la presión arterial, en el tratamiento contra la migraña, sinusitis y rinitis no alérgicas, se inhibe el crecimiento de bacterias que causan ciertos tipos de úlceras (Neumann, 2004). Es este potencial como fuente de capsaicinoides el que ha promovido su cultivo y estudio con fines fitoquímicos.

2.6.5. Medición del picor

El sabor picante de los chiles, dado por la capsaicina, se evalúa mediante el índice de Scoville propuesto en 1912 por Wilbur Scoville, quien desarrolló el Examen Organoléptico Scoville basado en diluciones en agua azucarada de extractos de

diversos chiles alcanzando valores entre 0 y más de 1,000,000 según el genotipo del que se trate (Ishikawa, 2003), o por la concentración de capsaicinoides por gramo de peso seco. La concentración de capsaicinoides se convierte a USP multiplicando la concentración en peso seco, expresada en partes por millón (ppm), por el coeficiente de picor; el cual es de 16.1 para la capsaicina y dihidrocapsaicina (IMPI, 2010). La Escala Scoville contempla la medición en Unidades Scoville en múltiplos de 100. Una parte de un chile picoso disuelto en un millón de gotas de agua es tabulado en 1.5 unidades Scoville (Guzmán *et al.*, 2007). El sabor picante es proporcional a la concentración total de capsaicinoides con un factor de aproximadamente 15,000 Unidades Scoville de Picor (USP) por mg de capsaicinoides totales (Reilly *et al.*, 2001).

Como ejemplo se menciona que el pimiento morrón tiene una medida de 0 en dicha escala. El chile ancho y el pasilla tienen de 1.000 a 1.500 Unidades Scoville. El jalapeño y el guajillo, de 2.500 a 5.000 Unidades. El chile chilpotle, de 5.000 a 8.000 Unidades Scoville. El chile piquín alcanza de 30.000 a 50.000 Unidades. El habanero, de 100.000 a 350.000 Unidades Scoville. La capsaicina pura alcanza de 15 a 16 millones Unidades Scoville (Guzmán y Paredes, 1998).

El chile habanero presenta un alto contenido de estos alcaloides; las variedades comerciales van de los 80,000 a las 445,000 USP (Everhart *et al.*, 2002); pero no son los más picosos. En la variedad Red Savina Habanero hay 577,000 USP, y recientemente se ha identificado a la variedad Naga Jolokia (*C. chinense*) de India como la más picante, con más de 1,000,000 USP (Morán-Bañuelos *et al.*, 2008). Otros autores (López-Carrillo *et al.*, 2005) señalan que el contenido de capsaicina en chile habanero es de 8.5 mg/g.

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) (IMPI, 2010).

Restrepo *et al.*, (2007) llevan a cabo un estudio de extracción de oleorresinas de chile tabasco y habanero. Ellos obtuvieron 962.1 mg de capsaicina y 502.1 mg de dihidrocapsaicina por cada 100 g de fruto seco de habanero.

2.6.6. Extracción industrial CAP´s

La búsqueda en la literatura respecto a este tema no se encuentra disponible. Los procesos de extracción a un nivel industrial de oleorresinas del género *Capsicum* no son publicadas o no se encuentran descritas específicamente por las empresas que se dediquen a este trabajo. Se piensa que es por razones de patente o privacidad del método.

El chile habanero posee una importancia mayor que otros chiles en la industria de extracción por ser la variedad con mayor contenido de capsaicinoides. Para lograr un aprovechamiento de este fruto es necesario contar con metodologías adecuadas para la extracción y fraccionamiento de sus componentes activos. Sobre todo la necesidad de obtener extractos de alta pureza que permitan su aplicación en productos farmacéuticos o alimenticios (Pacho-Carrillo *et al.*, 2002).

La industria mexicana tiene una demanda permanente y constante de oleorresina de *Capsicum*, misma que no ha sido cubierta debido a la falta de tecnología adecuada para procesarla. La necesidad obliga a importar la resina de países como India, Brasil, Estados Unidos e incluso países de Europa del norte, que no se caracterizan por su consumo y producción de chiles a gran escala (Martínez, 2007).

Actualmente existen dos procedimientos principales mediante los cuales es posible obtener extractos de productos naturales en general, y para este caso en particular, de chile. El tradicional se lleva a cabo por extracción con solventes orgánicos. Sin embargo, su aplicación requiere del manejo de compuestos orgánicos volátiles e inflamables a temperaturas elevadas. Oleorresinas de *Capsicum* obtenidas por este método contienen en promedio 30 ppm de solvente, por lo que su presencia además de representar un riesgo potencial para los consumidores de productos

alimenticios o farmacéuticos que se preparen con ellos, disminuyen las posibilidades de uso en aplicaciones que requieran materia prima de alta pureza. Sin embargo, es el proceso de extracción más usado ya que requiere de una inversión menor y su operación es sencilla.

En contraste con este método, la extracción supercrítica fluida es un proceso que utiliza gases densamente comprimidos hasta alcanzar densidades de líquidos para hacer la extracción. Este tipo de separación usa solventes no tóxicos (generalmente CO₂) a bajas temperaturas. El procesamiento supercrítico aparece como una alternativa atractiva, ya que se obtienen extracciones selectivas de compuestos además de una alta inocuidad; no obstante los altos costos que implica han limitado su aplicación (Pacho-Carrillo *et al.*, 2002).

Para lograr un impacto en toda la cadena de extracción, es necesario crear una base sólida de suministro del producto y que sea cultivado bajo estrictas normas de calidad. México es el segundo productor mundial de chile, por lo que el abasto de materia prima tendría que estar garantizado, por lo que la producción industrial es una buena oportunidad para satisfacer los sectores alimenticios y médicos donde es requerida.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de la concentración de $\text{NH}_4/\text{H}_2\text{PO}_4$ (amonio-fosfato) a diferentes dosis en el nivel de pungencia del fruto de chile habanero.

3.2. Objetivos particulares

- Establecer un cultivo de chile habanero.
- Cuantificar los capsaicinoides mediante la técnica de cromatografía líquida de alta presión (HPLC) en los frutos de chile habanero en los diferentes tratamientos nutricionales.

IV. HIPÓTESIS

El efecto de la concentración amonio-fosfato en la nutrición de la planta de chile habanero (*Capsicum chinense*) influye sobre la pungencia del fruto.

V. METODOLOGÍA

5.1 Generales

5.1.1 Localización del sitio experimental

Se llevó a cabo en las instalaciones del Campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, ubicado entre las coordenadas $20^{\circ} 31'$ y $20^{\circ} 58'$ latitud norte, y $100^{\circ} 09'$ y $100^{\circ} 21'$ longitud oeste, a una altitud de 1850 m sobre el nivel del mar (Figura 5.1). El poblado de Amazcala pertenece al municipio del Marqués, Qro. Colinda al Oeste con el municipio de Querétaro, al Norte con el estado de Guanajuato, al Este con el municipio de Colón y al Sur con los municipios de Huimilpan y Pedro Escobedo (Balan, 2007).

El clima de la zona de acuerdo con los criterios de Koppen modificados por Enriqueta García, se clasifica en general como semiseco, semicalido, con lluvia en verano y con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5, la precipitación media anual en el valle de Amazcala es del orden 520 mm datos de la estación climatológica de Nogales y el Zamorano. La temperatura media anual es del orden de 21° C. La evaporación potencial media anual en el valle es del orden de 2,050 a 2,200 mm, valores que sobrepasan por mucho a la precipitación pluvial, razón por lo que se considera al clima como semiseco (CONAGUA, 2000).



Figura 5.1. Localización del sitio de estudio, Campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería.

5.1.2 Descripción del invernadero

El experimento del cultivo se desarrolló en un invernadero de 108 m² (12 x 9 m) tipo gótico con ventilación lateral regulable este-oeste y cenital permanente con malla antiáfidos. La cubierta plástica era de 600 galgas de espesor y con doble capa en el techo (Figura 5.2a). A los 80 ddt fue colocada una malla sombra del 50% en el interior del invernadero (Figura 5.2b) debido a que la radiación era excesiva para el cultivo. A los 104 ddt fue retirada la malla. El suelo se cubrió con acolchado de color blanco para la higiene del invernadero, evitando así el crecimiento de maleza.

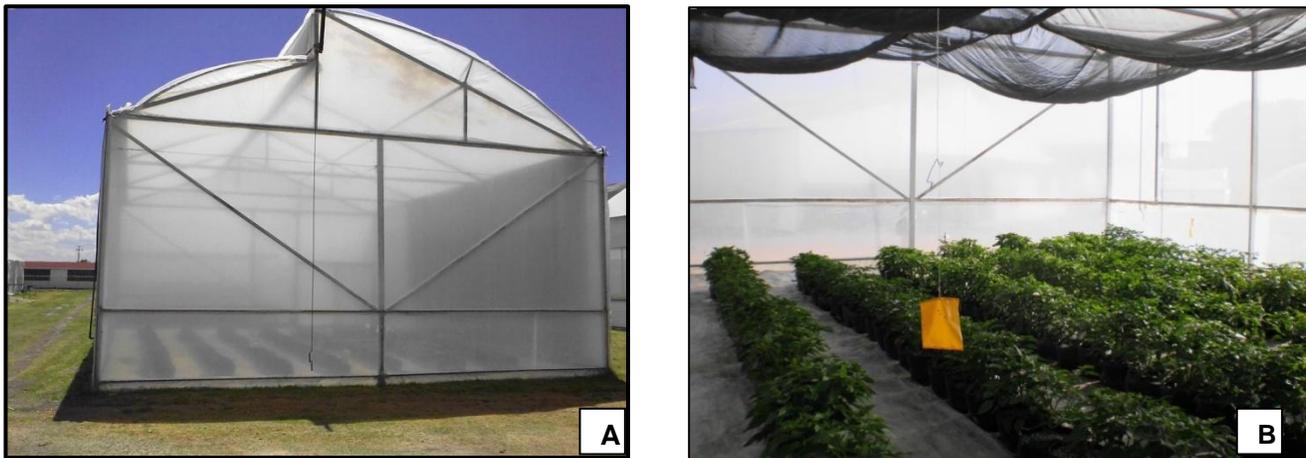


Figura 5.2. a) Aspecto del invernadero donde se llevó a cabo el establecimiento del cultivo de chile habanero. b) Malla sombra colocada en el invernadero.

5.1.3. Sistema de riego

Debido a la naturaleza del experimento, en el invernadero fueron necesarios ocho cabezales de riego. Para ello se instalaron ocho tinacos marca Rotinac con capacidad de 1,100 litros. Cada uno de ellos tenía bombas de un caballo de fuerza (hp) y filtros para regar las diferentes líneas de cultivo dentro del invernadero (Figura 5.3a). Sobre cada línea de riego se instalaron ocho líneas de riego consistentes en cintilla de 16 mm de diámetro, para poder llevar a cabo los diferentes tratamientos de nutrición más el control (Figura 5.3b). Se utilizaron goteros con capacidad de cuatro litros por minuto. El riego se automatizó mediante un pico-controlador marca Allen-Bradley (Figura 5.4) que

aplicaba cuatro riegos a lo largo del día, en los siguientes horarios: 10:00 a.m., 12:00 p.m., 14:00 p.m. y 16:00 p.m. En el primer y último riego se regaba por un minuto, mientras que en los dos restantes, el tiempo de encendido era por dos minutos. Este régimen de riego se mantuvo así hasta los 105 ddt, tiempo en que se retiró la malla sombra del invernadero y la época de verano generó el aumento de la temperatura, con lo que los tiempos de riego se cambiaron a tres minutos en cada uno de los horarios antes mencionados; cumpliendo con esto con la demanda de 700 ml de agua por planta por día en su fase productiva.

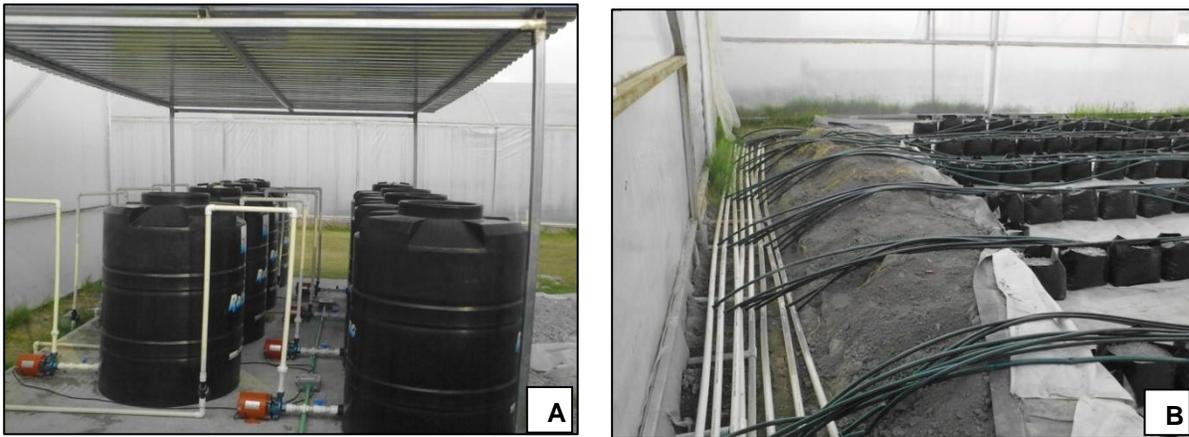


Figura 5.3. a) Cabezales de riego instalados, ocho tinacos de 1,100 L de capacidad con bombas de 1 hp. b) Instalación de la cintilla de riego para los diferentes tratamientos nutricionales del cultivo.

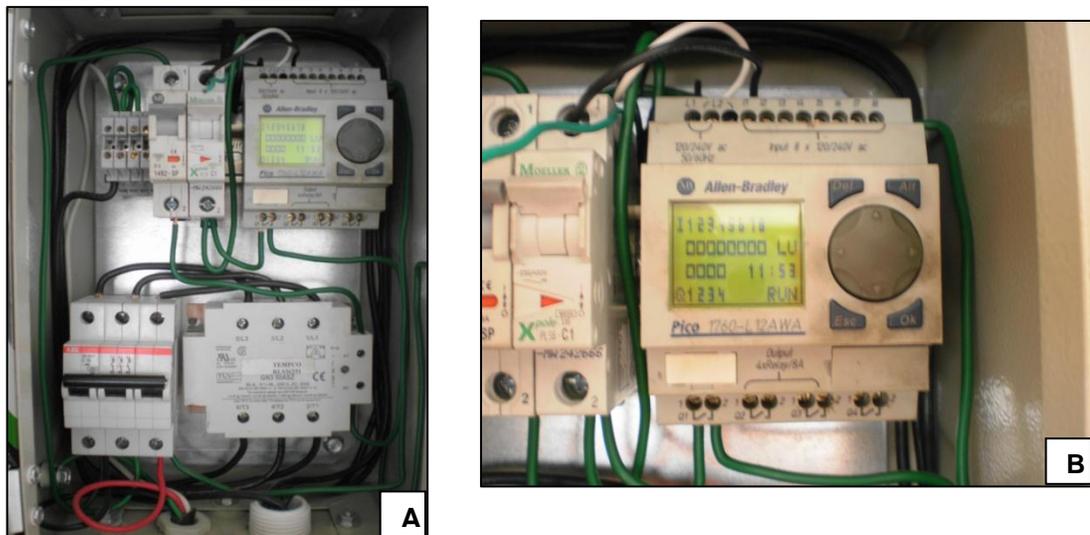


Figura 5.4. a) Panel general del control de automatización del riego b) Pico-controlador utilizado para automatizar los riegos del cultivo.

5.2 Manejo del Cultivo

5.2.1 Selección y adquisición del material vegetal

Las semillas de chile habanero *Capsicum chinense* utilizadas en este experimento son nativas de la región del municipio de Felipe Carrillo Puerto, en el estado de Quintana Roo, donadas por el Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Se utilizó un ecotipo rojo de chile habanero (Figura 5.5) no mejorado. Se hizo uso de 400 semillas.



Figura 5.5. Semillas de chile habanero, ecotipo rojo no mejorado, utilizadas en el experimento.

5.2.2 Siembra

Se utilizaron dos charolas de germinación de poliestireno con 200 cavidades. Éstas fueron previamente lavadas con agua y una escobilla para remover cualquier residuo de sustrato de otra siembra (Figura 5.6a). Posteriormente se desinfectaron mediante un lavado con solución de yodo al 3%, dejándose sumergidas por espacio de 10 minutos. Se eliminó el exceso de agua para proseguir con la siembra de semillas.



Figura 5.6. a) Charolas de poliestireno de 200 cavidades usadas para la siembra de semilla. b) Sustrato inerte de turba utilizado.

Para la siembra, primeramente se preparó el sustrato inerte de turba marca Blend[®] (Figura 5.6b) humedecido hasta el punto en que se apelmace al momento de presionarlo con el puño, sin que tuviera escurrimientos por un exceso de agua. Con el sustrato listo se llenaron cada una de las charolas de germinación. Posteriormente se presionó ligeramente la superficie del sustrato con las yemas de los dedos para hundirlo alrededor de medio centímetro. Se situaron las semillas (Figura 5.7a), una por cada cavidad, sobre la superficie del sustrato. Se aplicó una capa superficial uniforme de vermiculita para cubrir las semillas y se regaron por aspersión hasta saturar las charolas (Figura 5.7b).

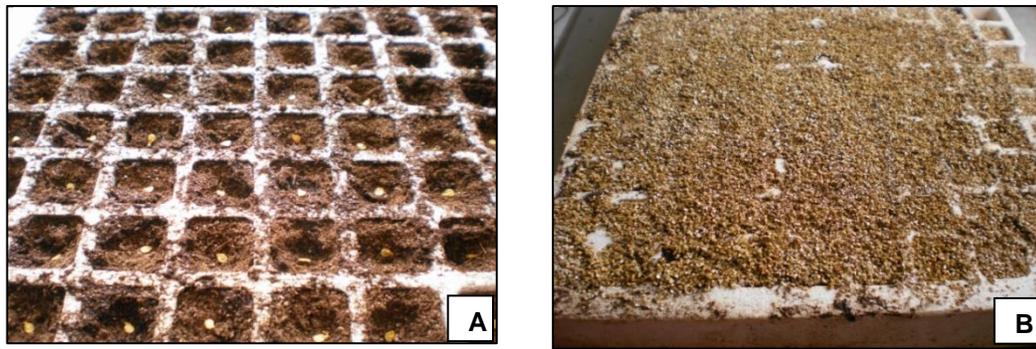


Figura 5.7. a) Siembra de semilla de chile habanero en charolas de germinación con sustrato de turba. b) Recubrimiento de vermiculita a las semillas de habanero.

Las charolas se colocaron en un cuarto de germinación (Figura 5.8a), cubiertas con plástico negro (Figura 5.8b). Se monitoreó el sustrato para mantenerlo siempre húmedo. Se colocó un calefactor casero de corriente eléctrica para evitar un descenso mayor del mínimo necesario para las semillas de chile habanero (15 °C), debido a que a estas temperaturas se detiene la actividad celular de la planta.

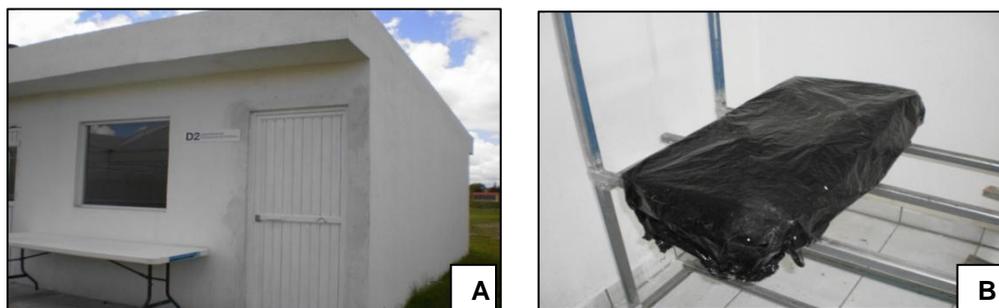


Figura 5.8. a) Vista exterior del cuarto de germinación utilizado. b) Colocación de charolas sembradas en el interior del cuarto de germinación, cubiertas con plástico negro.

5.2.3 Producción de plántula

Al momento de la germinación de la semilla y observación del tallo, las charolas fueron trasladadas a un invernadero para el crecimiento de plántula (Figura 5.9). El invernadero presentaba las siguientes características: tipo semicircular, con una superficie de 56 m², en las cuatro paredes contaba con malla antiáfido y una porción de 40 cm de policarbonato enterrado en el suelo para evitar la entrada de roedores o alguna otra plaga. El techo estaba cubierto con plástico de polietileno de 600 galgas. El suelo se cubrió con malla de acolchado de color blanco para evitar el crecimiento de maleza en el interior.



Figura 5.9. Invernadero de crecimiento de plántula.

Se hicieron dos riegos por aspersión de forma diaria con sólo agua hasta el momento de la apertura total de los cotiledones. El volumen de agua utilizado era hasta la saturación del sustrato. Posteriormente se cubrió la parte donde se encontraban las charolas con una malla sombra del 50 % para reducir los altos niveles de luminosidad y se regó vía foliar con la solución nutritiva de Steiner (1984) a un 50% de concentración. Esto con riegos tres veces por día (8:00 a.m., 12:00 p.m. y 14:00 p.m.) igualmente, hasta la saturación del sustrato. Se aplicó fertilizante foliar (Basfoliar[®]) para incrementar el vigor y velocidad de crecimiento, así como uniformizar el tamaño de las plántulas. Además se hicieron aplicaciones preventivas de fungicidas (Captán[®], Mastercrop[®]) para evitar la incidencia de alguna enfermedad en esta etapa de la planta, como *damping off*. Una vez que las plántulas presentaron de seis a ocho hojas verdaderas (Figura 5.10b), éstas fueron trasplantadas al invernadero a su sitio definitivo.

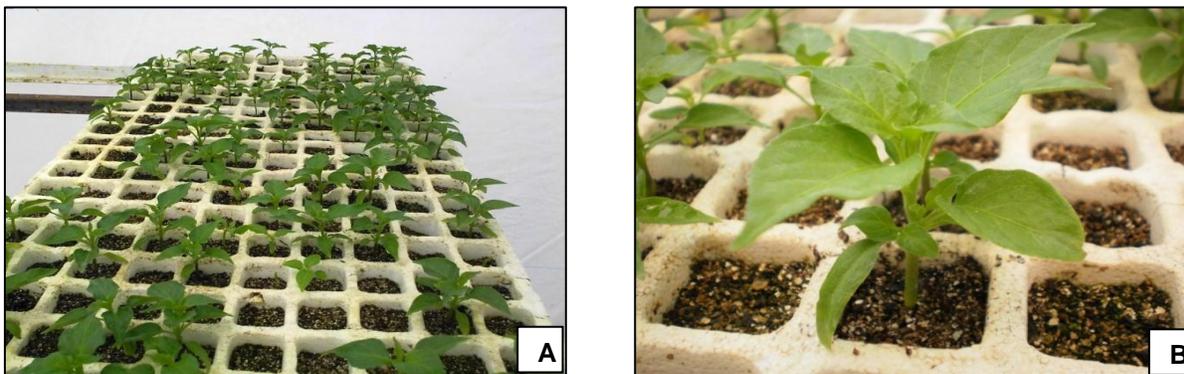


Figura 5.10. a) Plántulas de chile habanero. b) Etapa de crecimiento de la plántula lista para ser trasplantada al invernadero.

5.2.4. Establecimiento del cultivo

El cultivo tuvo una densidad de siembra de 1.53 plantas/m². Se sembró en contenedores de bolsa negra con volumen de 15 litros. Se llenaron con sustrato inerte de origen volcánico, piedra pómez (Figura 5.11a), las cuales se dispusieron en siete hileras con un espacio entre pasillos de 80 cm y nada de separación entre las bolsas de una misma hilera, la distancia de separación entre un tallo y otro fue de 25 cm (Figura 5.11b).

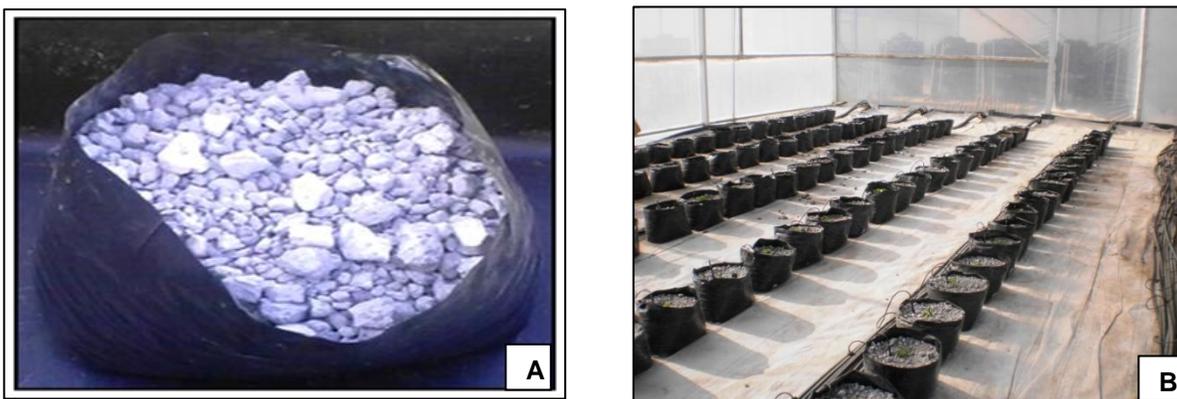


Figura 5.11. a) Contenedores definitivos donde se trasplantaron plántulas de chile habanero. b) Disposición del invernadero ya trasplantado.

Para el momento de hacer el transplante al invernadero, las plántulas no fueron regadas con un día de anticipación con el fin de que la planta desarrolle resistencia a condiciones adversas. Las bolsas fueron regadas con un día de anticipación para

humedecer el sustrato. El trasplante se llevó a cabo a primeras horas de la mañana (8:00 a.m.), debido a que las condiciones de radiación y temperatura no fueran tan agresivas y la plántula no resintiera mucho el transplante. Para esta tarea las plántulas fueron retiradas con cuidado de la charola de germinación con cuidado para no romper el cepellón formado por el sustrato de turba y las raíces; este no fue retirado para evitar el daño del sistema radicular en el nuevo sustrato que presentaba una granulometría grande (mayor de un centímetro). Una vez hecho, se aplicó un riego de pura agua hasta saturar los contenedores para que las raíces de la planta desarrollaran más rápidamente y no estuvieran bajo estrés por el trasplante.

5.3. Diseño experimental

La unidad experimental se estableció en cinco plantas con cuatro repeticiones para cada tratamiento con variación en la concentración de amonio y fosfato, dando un total de 160 plantas en el invernadero. Se llevó a cabo un sistema en bloques completamente al azar abiertos (Figura 5.12a y b).

Para establecer los diferentes tratamientos se tomó como base la solución de Steiner (1984) y se modificó únicamente el contenido y concentración de miliequivalentes de $\text{NH}_4/\text{H}_2\text{PO}_4$, excepto en el caso del tratamiento testigo. Para el planteamiento de las diferentes concentraciones de amonio/fosfato se siguió el arreglo de una matriz Plan Puebla (Turrent y Laird, 1979); con la cual se establecieron siete tratamientos más un testigo (Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1. Diferentes concentraciones de amonio y fosfato probadas en el cultivo de chile habanero.

Tratamientos		Concentración (meq/L ⁻¹)	
		NO ₃ /NH ₄	H ₂ PO ₄
1	A ₂ P ₂	12/2	1
2	A ₂ P ₃	12/2	1.5
3	A ₃ P ₂	12/4	1
4	A ₃ P ₃	12/4	1.5
5	A ₂ P ₁	12/2	0.5
6	A₁P₂	12/0	1
7	A ₃ P ₄	12/4	2
8	A ₄ P ₃	12/6	1.5

Testigo

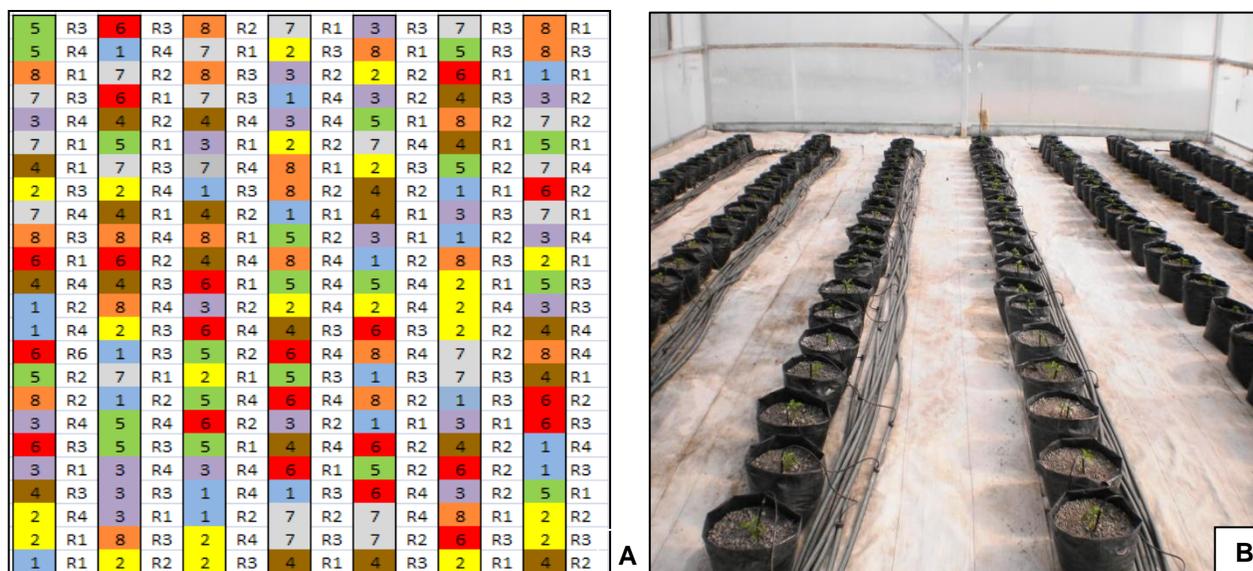


Figura 5.12. a) Esquema de la distribución de los tratamientos en el invernadero. b) Representación real del arreglo en el invernadero.

5.4. Preparación y dosificación de los tratamientos

La solución nutritiva base utilizada en el experimento fue la solución universal Steiner (Steiner, 1984) modificada para cada uno de los tratamientos a evaluar. La aplicación de la solución de Steiner fue uniforme para el crecimiento del cultivo en todos los lotes experimentales. La aplicación de los diferentes tratamientos para generar un estrés químico nutricional en la planta se hizo a partir de los 45 días después del trasplante (ddt), cuando toda la planta ya se encontraba en etapa de floración, hasta la cosecha del fruto maduro.

Cuadro 5.2. meq/L⁻¹ a los que fueron establecidos los tratamientos nutricionales.

T	NO ₃ ⁻²	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺ meq/L ⁻¹	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Fe ⁺	Cu	Mn	Zn	Bo	C.E dS/m
	mg/L ó ppm												
1	12	1	11	2	7	10.7	4	1.9	0.05	0.8	0.5	1.0	2.58
2	12	1.5	9.9	2	7	10.7	4	1.9	0.05	0.8	0.5	1.0	2.61
3	12	1	11	4	7	10.7	4	1.9	0.05	0.8	0.5	1.0	2.65
4	12	1.5	11	4	7	10.7	4	1.9	0.05	0.8	0.5	1.0	2.65
5	12	0.5	11	2	7	10.7	4	1.9	0.05	0.8	0.5	1.0	2.65
6	12	1	11	0	8.3	10.7	4	1.9	0.05	0.8	0.5	1.0	2.6
7	12	2	11	4	7	10.7	4	1.9	0.05	0.8	0.5	1.0	2.75
8	15.2	1.5	11	6	7	10.7	4	1.9	0.05	0.8	0.5	1.0	2.87

Cuadro 5.3. Cantidad de fertilizante utilizada para cada tratamiento.

Sales (g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Ca(NO ₃) ₂	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070	1,070
KNO ₃	--	--	--	--	--	260	--	--
K ₂ SO ₄	609	566	609	609	609	609	609	609
MgSO ₄ *7H ₂ O	492	418	492	492	492	492	492	492
NH ₄ NO ₃	96	48	104	128	56	--	104	296
KH ₂ PO ₄	--	68	--	--	--	--	--	--
NH ₄ -H ₂ PO ₄	--	69	--	173	58	--	230	193
Mg(NO ₃) ₂ *6H ₂ O	--	67	--	--	--	--	--	--
H ₃ PO ₄ (ml)	68	27	41	--	--	82	--	--
HNO ₃ (ml)	--	--	--	--	38	82	--	--
FeSO ₄	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
CuCO ₄ *5H ₂ O	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196
Na ₂ B ₄ O ₇ *10H ₂ O	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
Zn EDTA	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Mn EDTA	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15

5.5. Monitoreo de las condiciones ambientales

La temperatura y humedad relativa (HR) del ambiente en el invernadero se monitorearon con un data logger marca WatchDog Modelo 450 de la compañía Spectrum® Technologies, Inc. El cual se configuró con una computadora mediante el programa SpecWare, estableciendo las variables a medir: temperatura (F) y HR (%) del ambiente, registrando cada 30 minutos. La unidad de temperatura se convirtió a °C una vez que los datos se descargaron a una computadora para su análisis. El periodo de medición fue del 21 de mayo al 8 de agosto del 2010.

5.6. Manejo del cultivo

Para evitar la caída y quiebre de las plantas, se colocó un tutorado tradicional o en espalderas (Figura 5.13). Este consistió de soportes con tubos cuadrados de PTR de 3 cm de grosor y 90 cm de largo, e hilo tipo rafia. Se clavaron dos de los soportes a cada extremo de la línea de plantación, a los que a uno de ellos se les amarró la rafia para llevarla hasta el otro extremo y sujetarla del otro soporte. Se hicieron dos líneas, una a media altura, 50 cm, y otra a los 80 cm de altura (Figura 5.13). Con esto se evitó que las plantas se rompieran por la base del tallo por un exceso de follaje y movimiento del aire; y se levantaron de los pasillos las ramas caídas para una mejor circulación y trabajo en el invernadero.



Figura 5.13. Tutorado en espaldera elaborado en el cultivo de chile habanero. Los soportes de rafia fueron colocados a 50 y 80 cm de altura.

Únicamente se llevó a cabo una poda de hojas inferiores de la planta. Se removieron todas ellas hasta la bifurcación del tallo principal (Figura 5.14). Todas las ramificaciones del tallo naciente en la parte inferior a la bifurcación no fueron retiradas. Entre otras labores culturales llevadas a cabo, fueron la limpieza de los pasillos de forma mensual, y el retiro de malezas en crecimiento a todo lo largo de los límites interiores del invernadero.



Figura 5.14. Poda de hojas en la parte basal antes de la primera bifurcación del tallo.

Aunque la planta de chile es autógama, se llevó a cabo una polinización manual del cultivo mediante el uso de una pistola de aire cada dos días moviendo ligeramente la parte superior de las plantas para que el polen cayera al pistilo de la flor (Figura 5.15).



Figura 5.15. Polinización de plantas de chile habanero con pistola de aire.

5.7. Manejo Fitosanitario

Las prácticas culturales llevadas a cabo como prevención de plagas y enfermedades en este cultivo fueron de preventivas mayormente. Para el caso de las plagas, se colocaron dos trampas cromáticas amarillas de 30 x 20 cm en el invernadero (Figura 5.16); así como la aplicación preventiva de insecticidas.

Durante el ciclo de crecimiento del cultivo de chile habanero se presentó una enfermedad sobre este. La bacteria *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*, identificada en la planta por los síntomas generados (Figura 5.17). Se piensa que fue muy probablemente obtenida en las semillas, ya que nunca antes se había registrado esta enfermedad en el sitio de estudio y todo el material de trabajo fue desinfectado antes de su uso. La presencia de la enfermedad ocasionó la defoliación de las plantas, abortos de flores y abortos de frutos cuando la enfermedad fue muy severa. Ante esto, y como prevención a otras enfermedades, se llevaron a cabo acciones de manejo cultural y químico sobre el cultivo.



Figura 5.16. Trampas cromáticas amarillas de 20x30 cm para el control de plagas colocadas en el invernadero.

En el manejo químico, se hicieron aplicaciones de diferentes productos (Cuadro 5.4) haciendo aplicaciones de ellos cada diez días, además de la rotación de su aplicación con en el fin de evitar en lo mayor posible la adquisición de resistencia de la enfermedad a los productos bactericidas. Con esto se logró combatir, más no erradicar la enfermedad del cultivo hasta la obtención de resultados. Las aplicaciones se llevaron a cabo con una moto-bomba de fumigación en el caso de la aplicación foliar, abarcando el haz y el envés del follaje; y con una bomba manual para hacer las aplicaciones en la base del tallo.

En el caso del manejo cultural, las tareas llevadas a cabo fueron la remoción de las hojas enfermas basales, donde se manifestó la *X. campestris*, mediante guantes de látex; a su vez se aplicó gel sanitizante en manos en cada línea de cultivo. Esta tarea se efectuó de forma recurrente una vez cada semana.



Figura 5.17. Síntomas observados de *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* observados en las hojas del cultivo de chile habanero.

Cuadro 5.4. Productos químicos utilizados para el combate de la enfermedad bacteriana. Aplicaciones hechas con un intervalo de diez días.

Producto	Ingrediente activo	Dosis	Aplicación
Bactrimicin agrícola	Oxitetraciclina	5%	Base del tallo
Bactrimicin 500	Cobre + estreptomina + oxitetraciclina	3%	Base del tallo, foliar
Bactericida orgánico	Sulfato cobre + extractos yodados + polifenoles vegetales	3%	Base del tallo, foliar
Serenade WP	<i>Bacillus subtilis</i>	3%	Foliar
Cupramix	Sulfato de cobre	2.5%	Foliar

5.8. Variables agronómicas evaluadas

Durante el desarrollo del cultivo, se efectuaron muestreos cada dos semanas a partir de los 65 ddt. En todos los días de muestreo se llevó a cabo la medición de todas las plantas para todas las variables.

5.8.1. Altura de la planta

Esta variable se midió en centímetros (cm) mediante un flexómetro de cinco metros. Para ello se colocó el flexómetro en la superficie del sustrato del contenedor y se registró en vertical la medida de la planta dado por la ramificación de mayor altura.

5.8.2. Diámetro del tallo

Para llevar a cabo la medición se utilizó un vernier digital marca Stainless Hardened. La unidad de medición fue hecha en milímetros (mm). Se midió el tallo principal de la planta en la base, alrededor de un centímetro por arriba del sustrato.

5.8.3. Peso fresco de frutos

Esta variable se midió en gramos (g) mediante una balanza mecánica marca Ohaus modelo Triple Beam Jr. Se llevó a cabo al momento de la cosecha de los frutos, clasificando a qué tratamiento y repetición correspondía cada uno de ellos. Se pesó cada uno de los frutos del periodo de cosecha del 13 de julio al 5 de agosto del 2010.

5.9. Trabajo de laboratorio

5.9.1. Extracción de capsaicinoides

Esta etapa del proyecto fue llevada a cabo en el laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Se tomó como base la técnica hecha por Contreras (1997). Los frutos cosechados de chile habanero fueron puestos en bolsas de papel cartón y puestos a secar en estufa a 60 °C durante 48 hrs. Una vez secos, el pedúnculo de cada fruto fue removido manualmente. Los frutos se almacenaron en bolsas de papel cartón dentro de

una bolsa de plástico, y se colocaron un refrigerador convencional casero a 4 °C hasta su molienda. Ya en laboratorio, los frutos completos de cada tratamiento y repetición fueron molidos mediante un molino eléctrico marca Krups mod. GX410011. Se extrajeron seis gramos de polvo por cada muestra; el cual se colocó en tubos de ensayo con tapa de rosca y se almacenaron a temperatura ambiente en oscuridad hasta su uso (Figura 5.18a).

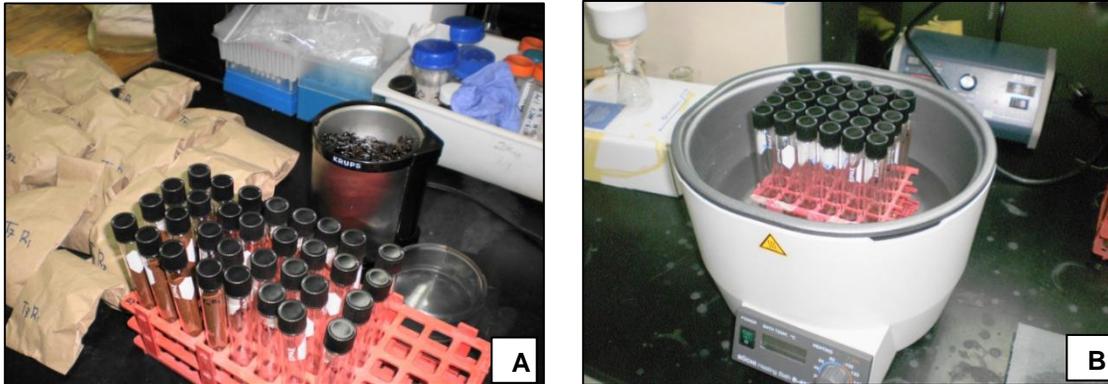


Figura 5.18. Proceso de extracción de capsaicina. a) Molienda de chile habanero seco en con molino eléctrico. b) 0.5 g de chile + 5 ml de acetonitrilo en baño de agua a 60 °C por 1 hora.

Se hizo una extracción por colecta. Para ello se tomaron 0.5 g de chile pulverizado y 5 ml de acetonitrilo grado HPLC en tubos de ensayo de vidrio de 15 ml. Los tubos estuvieron por una hora en baño de agua a 60 °C (Figura 5.18b), agitando cada 30 minutos con un vortex. Previamente a la determinación de este tiempo de extracción, se hicieron pruebas de 1, 2.5 y 5 hrs debido a la variación de estos tiempos durante este proceso (Contreras, 1997; Sharma *et al.*, 2004; Morán-Bolaños *et al.*, 2008). El sobrenadante se dejó enfriar a temperatura ambiente y se filtró al vacío a través de papel Whatman No. 4. Posteriormente se hizo otro filtrado a través de acrodiscos de nylon, con un diámetro de 17 mm y poro de 0.25 µm (Millipore Co.). Los extractos finales filtrados se colocaron en viales de vidrio ámbar (2mL) y mantenidos en refrigeración a 3°C hasta la cuantificación para evitar degradación de la capsaicina por temperatura y luminosidad.

5.9.2. Cuantificación de capsaicinoides

Las muestras se analizaron en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC). Se utilizó el equipo Waters 510, con un detector de arreglo de diodos que opera con el programa Millennium³². Se utilizó una columna C18 con partículas de 25 µm de diámetro (Waters Spherisorb ODS, Sigma Co.), y un tamaño de 150 mm de longitud y 4.7 mm de diámetro. El aparato se calibró a una longitud de onda de 202 nm de absorbancia, ya que en trabajos previos, el espectro de absorbancia del estándar capsaicina: dihidrocapsaicina, 65:35 (Natural Capsaicin, Sigma Co.) detectó con esta longitud de onda el pico máximo (Morán-Bañuelos *et al*, 2008); no como lo reportado en otros trabajos como en Contreras (1997) y Cázares *et al*. (2005) con longitudes de onda de 280 nm. La fase móvil consistió en una solución metanol-agua, ambas grado HPLC, en una relación 73:27; se filtró al vacío a través de una membrana de 0.2 µm de poro y se desgasificó durante 20 minutos. El tiempo de análisis fue de diez minutos y la fase móvil con flujo isocrático de 1 ml/min⁻¹ a 26 °C. Se inyectaron 10µl de cada muestra.



Figura 5.19. Cromatógrafo HPLC Waters 510 con arreglo de diodos utilizado para identificar y cuantificar capsaicina de las muestras de chile habanero.

Para identificar y cuantificar la capsaicina de las muestras se usó un estándar externo. Se prepararon soluciones del compuesto puro 8-metil-N-vanillil-6-nonenamida (Capsaicin 95% pureza, Sigma Co.), a concentraciones de 1.05, 0.918, 0.816, 0.735, 0.63, 0.525 y 0.42 mg/mL en acetonitrilo grado HPLC para obtener la curva estándar

(Figura 5.20). Se corrieron bajo las mismas condiciones de las muestras y por triplicado. La suma del contenido de capsaicina se transformó a USP con base en la relación de 1 µg de capsaicinoides totales equivale a 15,000 USP (Reilly *et al.*, 2001).

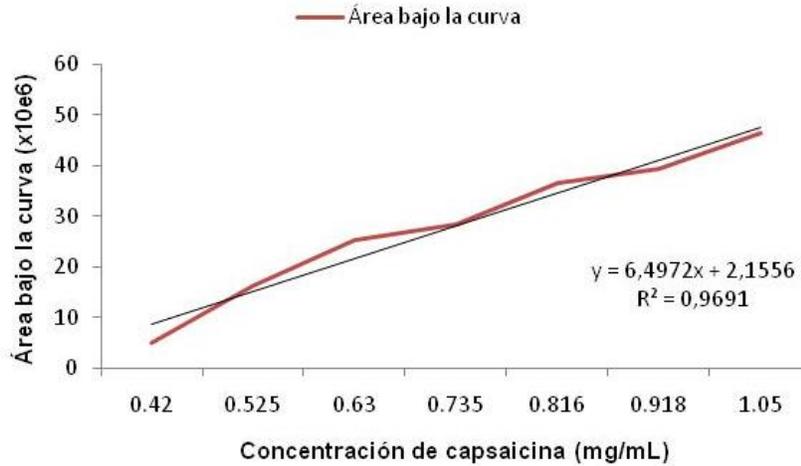


Figura 5.20. Curva estándar de capsaicina a una longitud de onda de 202 nm

5.10. Análisis estadístico

Todas las variables medidas se analizaron en el paquete estadístico OriginPro 8[®]. Los resultados de cada tratamiento y repetición se les hizo la prueba de Tukey con una significancia de $P \leq 0.05$ para todas las variables agronómicas evaluadas y la cantidad de capsaicina en los frutos.

VI. RESULTADOS

6.1. Germinación de semilla

El inicio de la germinación se llevó a cabo hasta a los 21 dds. Esto debido a las bajas temperaturas de ocho grados celcius registradas en la mañana y de 17 grados a medio día. Se obtuvo un total de 93% de germinación a los 15 días después de germinación (ddg) (Figura 6.1).

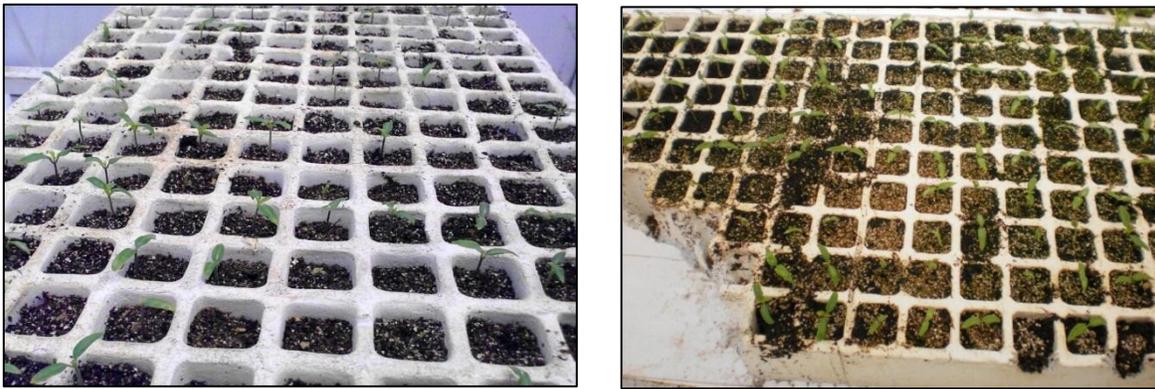


Figura 6.1. Germinación de plántula de chile habanero.

6.2. Obtención de plántula

A partir de su germinación, ya en el invernadero de crecimiento, se obtuvieron plántulas sanas, vigorosas, sin ninguna pérdida por enfermedad. Su crecimiento se siguió y buscó homogeneizar hasta que presentaran seis u ocho hojas verdaderas y una altura de cinco a seis cm aproximadamente (Figura 6.2).



Figura 6.2. Plántula lista de chile habanero para ser trasplantada, con 6-8 hojas verdaderas.

6.3. Trasplante del cultivo

A los 65 dds se llevó a cabo el trasplante de la plántula al invernadero. Se estableció la solución nutritiva de Steiner (100%) en los cabezales de riego para el crecimiento de la planta.



Figura 6.3. Trasplante a invernadero de plántula a contenedores definitivos.

6.4 Crecimiento del cultivo

Cumpliendo con uno de los objetivos particulares, se logró obtener un cultivo de chile habanero con capacidad productiva (Figura 6.4). Las condiciones climáticas monitoreadas de temperatura y humedad relativa del ambiente fueron muy variantes; teniendo condiciones extremas para el cultivo (Figura 6.5a). Las temperaturas variaron desde los 10.1 °C hasta 45.4 °C. Por su parte la humedad del ambiente también tuvo amplia variación a lo largo del día, presentando valores de 20.7% a 97.1% de HR en el invernadero (Figura 6.5b). Estas condiciones de temperaturas y HR no son aptas para el crecimiento del chile habanero (Tun, 2001).

Teniendo esas condiciones desfavorables, a los 30 ddt inició la etapa de floración de la planta. A los 45 ddt fueron establecidos los diferentes tratamientos nutricionales una vez que el 90 % del cultivo se encontraba con flor. Las plantas alcanzaron una altura promedio de 89.3 cm y un diámetro en la base del tallo principal de 21 mm. Estas mediciones en los diferentes tratamientos nutricionales probados, acorde al análisis estadístico hecho ($P \leq 0.5$) no presentaron diferencias significativas (Figura 6.6 y 6.7 respectivamente).



Figura 6.4. Cultivo de chile habanero establecido en etapa de producción.

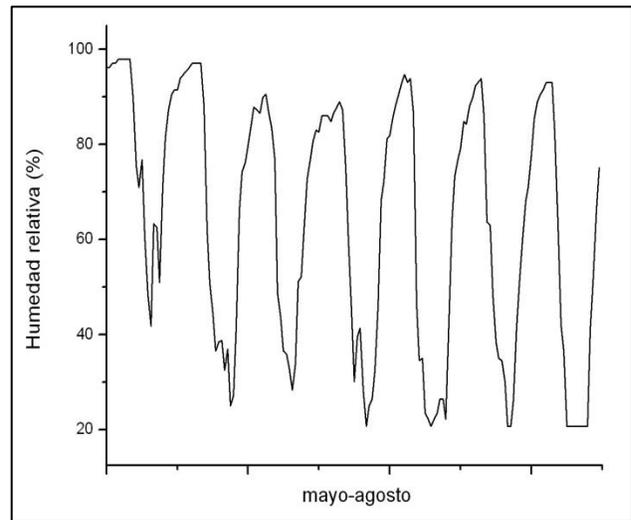
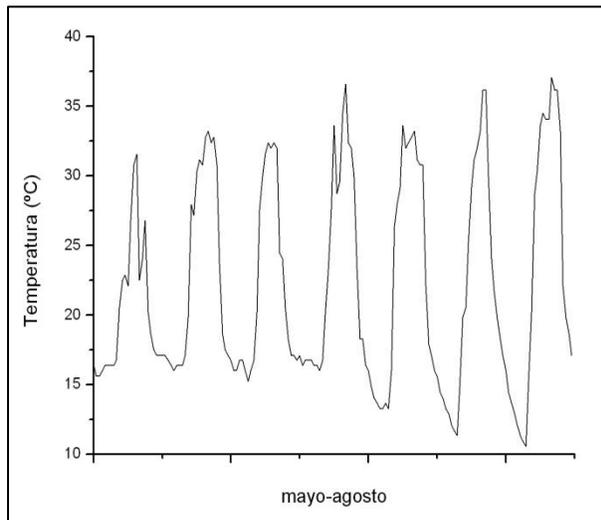


Figura 6.5. Condiciones climáticas generales presentadas a lo largo del cultivo. a) Temperatura registrada, con variaciones de 10.1 °C hasta 45.4 °C. b) HR registrada con cambios de 20.7% a 97.1% de humedad en el invernadero.

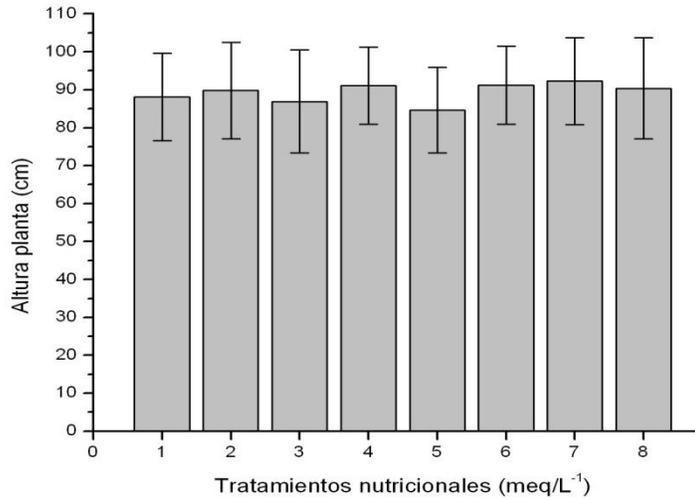


Figura 6.6. Altura de planta de chile habanero en los diferentes tratamientos.

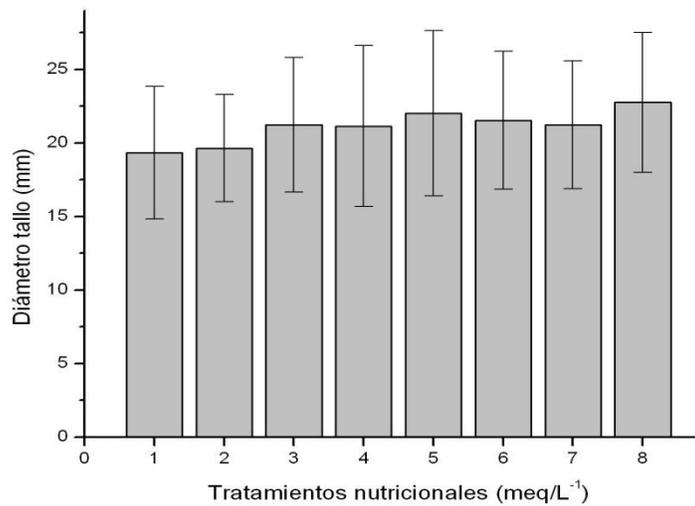


Figura 6.7. Diámetro en la base del tallo de planta de chile habanero en los diferentes tratamientos.

En las gráficas de altura de planta y diámetro del tallo, los tratamientos que alcanzaron mayores valores fueron el siete con 92.3 cm y el ocho con 22.76 mm para el caso correspondiente. Mientras que los tratamientos de menor valor fueron el cinco con 84.6 cm de altura y el uno con 19.34 mm de diámetro.

6.5 Cosecha de frutos

El primer corte de cosecha se llevó a cabo a los 83 ddt. En cuanto al peso fresco de frutos cosechados que tuvo cada tratamiento nutricional, se presentan la cantidad total de producto cosechado de los ocho tratamientos (Figura 6.8a). El tratamiento testigo (6) se obtuvo la mayor cantidad de peso con 807 g, mientras que el tratamiento tres fue el de menor cantidad con 278 g. En cuanto a número de frutos, nuevamente en el tratamiento testigo se obtuvo el mayor valor con 130 frutos, siendo el tratamiento tres el de menor cantidad con 57 frutos (Figura 6.8b). El análisis estadístico ($P \leq 0.05$) mostró que no existe diferencia significativa en esta variable.

En la Figura 6.9 se muestra la clasificación, acorde a los estándares del mercado, por calibre o peso obtenido de los frutos cosechados de cada tratamiento. Se observa que del tratamiento dos fue el que mayor peso (>10 g), o calidad A para el mercado, presentó con un 11.1 % del total de frutos cosechados. De calidad media o B, es decir frutos de 7.5 g a 10 g, el tratamiento seis fue el que presentó mayor cantidad de frutos con un 18.5 % del total cosechado. En calidad C, frutos con un peso entre >5 g y 7.5 g, el tratamiento de mayor porcentaje fue nuevamente el testigo con 39.2 %. Mientras que los frutos de la solución uno tuvieron el mayor porcentaje de frutos chicos ($<$ de 5 gramos) con un 54.7 %.

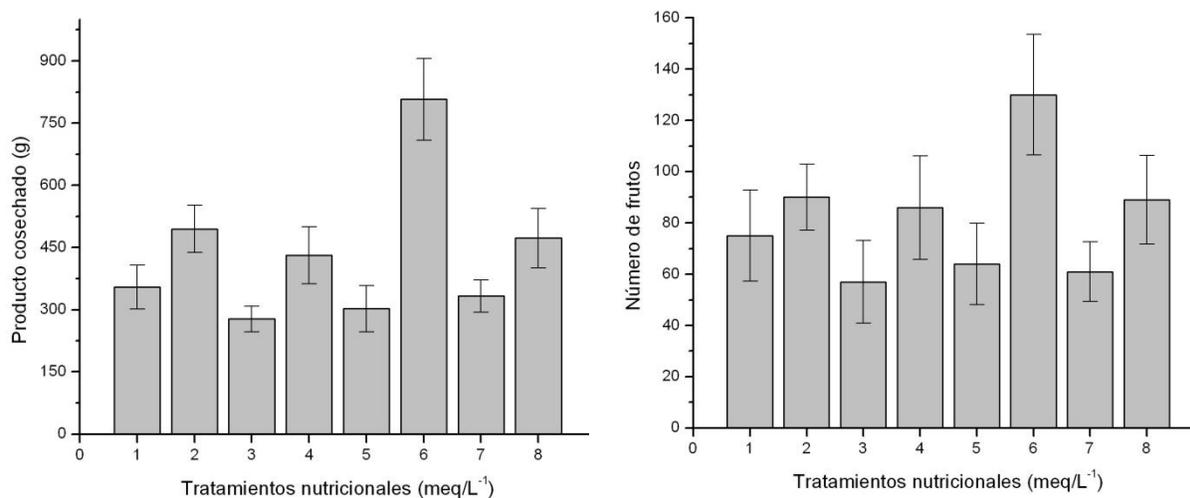


Figura 6.8. Peso total (izq) y número de frutos (der) cosechados por tratamiento.

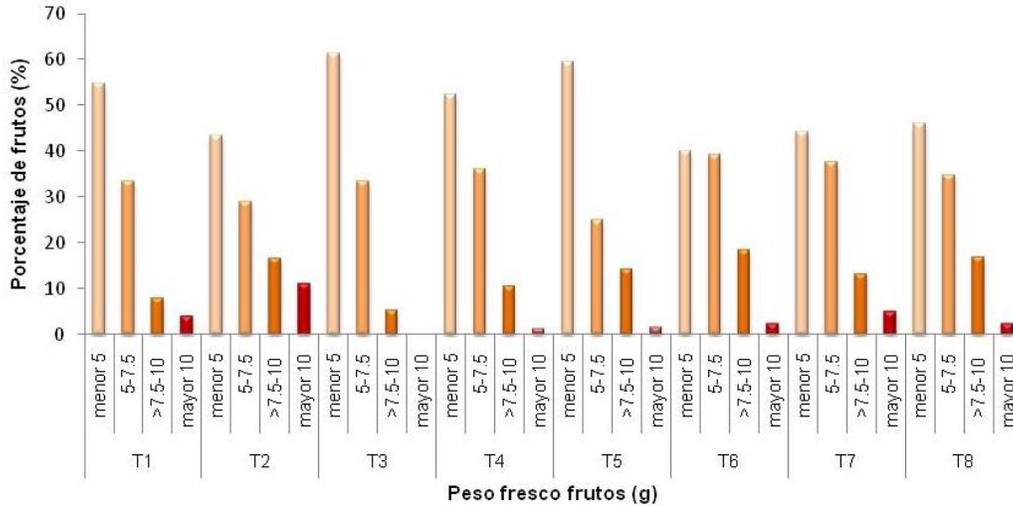


Figura 6.9. Clasificación de frutos frescos de chile habanero por peso para cada tratamiento.

6.6. Cuantificación capsaicina

Los cromatogramas permitieron identificar con claridad los picos de absorción con tiempos de retención promedio de 3.485 ± 0.091 min para la capsaicina. Estos son diferentes a los encontrados por Contreras (1997) de 2.008 min bajo las mismas condiciones experimentales; e igualmente diferentes a los registrados por Cázares *et al.* (2005) de 2.975 min, o los de Morán-Bañuelos *et al.* (2008) de 1.75 min. Hubo una serie de picos (tres) adicionales no identificados, que probablemente correspondan a otros tipos de capsaicinoides que pudieran ser identificados al usar otros estándares externos.

Los resultados para el contenido de capsaicina en las muestras de los ocho tratamientos nutricionales tuvieron una amplia variación, significando que estadísticamente no exista diferencia entre ellos (Anexo 1). El contenido del alcaloide se transformó a USP para conocer la medida del grado de pungencia en cada tratamiento (Cuadro 6.1).

Cuadro 6.1. Contenido de capsaicina en frutos de chile habanero cuantificado mediante HPLC en cada uno de los tratamientos nutricionales.

T	meq/L⁻¹ de NH₄ y H₂PO₄	Capsaicina (mg/g)	USP
1	2/1	21.66	324,835
2	2/1.5	12.97	194,581
3	4/1	22.03	330,502
4	4/1.5	42.11	631,617
5	2/0.5	35.44	531,582
6	0/1	32.12	481,793
7	4/2	32.53	487,917
8	6/1.5	18.38	275,707

Como se observa, el T₄ es el que mayor contenido de capsaicina mostró con 42.11 mg/g, muy por encima del valor promedio del chile habanero que es de 8.5 mg/g López Carrillo et al. (2005) y 16.4 mg/g según Sharma *et al.* (2004); el T₂ a pesar de presentar el menor contenido de capsaicina (12.97 mg/g) representa un valor promedio al contenido de capsaicina en este fruto.

VII. CONCLUSIONES

El efecto de la concentración de $\text{NH}_4/\text{H}_2\text{PO}_4$ (amonio-fosfato) no tiene un efecto significativo en altura del tallo, diámetro, peso de fruto y el nivel de pungencia en chile habanero. Por lo tanto la hipótesis principal estadísticamente se rechaza. Con esto se logra cumplir con los objetivos tanto particulares como general del presente estudio.

A pesar de los resultados obtenidos por el análisis estadístico, se observan tendencias en los resultados. Desde el punto de vista productivo, el tratamiento dos se recomendaría para lograr mayores rendimientos con frutos de calidad de exportación (mayor de 10 g). El uso de semilla criolla no es recomendado debido a la alta variación en número de frutos y peso de estos. Por lo que esto deja la opción de llevar a cabo un estudio más fino al respecto. Igualmente aunque la variación en el contenido de capsaicina no es estadísticamente significativa para cada tratamiento, se observan rangos en valores muy contrastante (12.97 mg/g T_2 y 42.11 mg/g T_4). Desgraciadamente hubo mucha variación entre cada repetición, quizás por un fallo en el equipo de cuantificación utilizado o error del analista al momento de hacer el procedimiento, lo que se refleja en que no exista diferencia estadística. Por los valores obtenidos, un tratamiento nutritivo con base en la solución de Steiner y una concentración en meq/L^{-1} de 4/1.5, de amonio y fosfato respectivamente, sería lo recomendado para un cultivo con fines de extracción de capsaicina.

Es importante destacar lo mencionado por Velasco (1999) en el que un desbalance nutrimental genera vulnerabilidad a la acción de cualquier agente patógeno. En el presente caso se observó claramente un mayor desarrollo de la enfermedad bacteriana debido a las altas concentraciones de nitrógeno que contenía la solución nutritiva, las cuales sobrepasaban las mencionadas por Huber (2006).

VIII.LITERATURA CITADA

- Andrews J. 1995. Peppers: The Domesticated Capsicums. University of Texas Press. USA. 186 pags.
- Appendino G, A Minassi y N Daddario. 2005. Hot cuisine as a source of anti-inflammatory drugs. *Phytochem Reviews* 4: 3-10.
- Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA). 2008. Denominación de Origen "Chile Habanero de Yucatán". Boletín Regional Peninsular. SAGARPA. Octubre. México.
- Balan F. 2007. Uso de biofertilizante liquido en la producción de plántula de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). Tesis para obtener el grado de Especialista en Ingeniería de Invernaderos. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 65 págs.
- Bar-Tal A, B Bar-Yosef y U Kafkafi. 1990. Pepper transplant response to root volume and nutrition in the nursery. *Agronomy Journal*, 82(5):885-1030.
- Better Crops. 1999. Functions of Phosphorus in Plants. *Better Crops*, 83(1): 6-7.
- Bolaños Herrera A. 2001. Introducción a la Olericultura. Editorial Universidad Estatal a Distancia. 1ra reimpresión. Costa Rica.
- Bórges-Gómez L, M Soria-Fregoso, V Casanova-Villareal, E Villanueva-Cohuo y G Pereyda-Pérez. 2008. Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. *Agrociencia* 42: 21-27.
- California Fertilizer Foundation. 2009. Plant Nutrients – Phosphorus.
- Calixto RAA. 2009. El cultivo del Chile Serrano en González, Tamaulipas. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Parasitología Agrícola. México. 34 pags.
- Cázares Sánchez E, P Ramírez Vallejo, F Castillo González, RM Soto Hernández, MT Rodríguez Gonzáles y JL Chávez Servia. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia* 39(6): 627-638.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2000. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle de Amazcala, estado de Querétaro. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. México.
- Contreras Padilla M. 1997. Estudio de la producción y degradación de los capsaicinoides en 3 variedades de chile (*Capsicum annum* y *Capsicum chinense*). Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Contreras-Padilla M y E M Yahia. 1998. Changes in Capsaicinoids during Development, Maturation, and Senescence of Chile Peppers and Relation with Peroxidase Activity. *J. Agric. Food Chem.* 46: 2075-2079.

- Dillard CJ y JB German. 2000. Phytochemicals: nutraceuticals and human health. J Sci. Food Agric. 80: 1744-1756. En: Guzmán Maldonado SH, Torres Pacheco I, González Chavira M, Mora Avilés MA, Herrera Hernández MG y Hernández López D. 2004. Análisis preliminar de compuestos fenólicos y capsaicinoides en variedades de chile con diferente capacidad pungente. Primera Convención Mundial del Chile.
- Everhart E, C Haynes y R Jauron. 2002. El huerto doméstico: Chiles. Guía de Horticultura de Iowa State University. EUA.
- Fixen P. 2003. Dinámica del fósforo en el suelo y en el cultivo en relación al manejo de los fertilizantes fosfatados. En: Díaz Y., F. Esinoza y JL Gil. 2004. Efecto de la fertilización con fósforo en la relación suelo-planta-animal en suelos ácidos del estado Cojedes, Venezuela. Zootecnia Trop., 22(4): 317-331.
- Fundación Produce Sinaloa (FPS) 2010. Lidera Kukulcán rendimiento en chile habanero.
http://www.fps.org.mx/divulgacion/index.php?option=com_content&view=article&id=578:lidera-kukulcan-rendimiento-en-chile-habanero&catid=37:sinaloa-produce&Itemid=373. Consulta: junio de 2010.
- Galicia LA y A Zúñiga. 2006. Instituto Politécnico Nacional. Consulta: marzo 2010.
<http://noticias.universia.net.mx/ciencia-ii-ii/noticia/2006/12/19/hacen-farmacos-chile-poblano.html>
- García Martínez I, NG Miranda González, LR González González y F Nieto Pineda. 2006. Estudios preliminares de la fermentación de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Simón Bolívar. México.
- Gómez Hernández T. Sabor a México en el Chile Habanero de Yucatán. INIFAP. México.
http://www.inifap.gob.mx/quienes_somos/noticias/nota_chile_habanero-final.pdf Consulta: oct. 2009.
- González García JL, MN Sánchez García y EA Gaytán Acuña. 2009. Relación amonio/nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. Agricultura Técnica en México, vol. 35 (1): 5-11.
- González-Salan MMR. Mejora Genética en chile habanero, *Capsicum chinense* Jacq. ciclos de selección: (S₁, S₂ y S₃). (Sin publicar).
- Guzmán Maldonado SH y O Paredes López. 1998. Functional products of plant indigenous to Latin America: Amaranth, quinoa, common beans and botanicals. En: Functional Foods- Biochemical & Processing Aspects. Mazza, G. (ed.). Technomic Publishing Co. EUA.
- Guzmán Peredo M. 2007. El Capsicum en la Gastronomía Mexicana. Consulta: jun. 2010. <http://www.fundeu.es/Articulos.aspx?frmOpcion=ARTICULO&frmFontSize=2&frmIdArticulo=441>
- Huber DM. 2006. Interacciones entre nutrientes y enfermedad (Manejo de la nutrición para el combate de patógenos de plantas). Purdue University. USA.

- Imagen Agropecuaria. 2007. Los diversos usos del chile habanero. Consulta: junio 2010
http://www.imagenagropecuaria.com/articulos.php?id_art=20&id_sec=21
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 1999. Estudio Global para Identificar Oportunidades de Mercado de Frutas y Hortalizas para los Países de Centroamérica. Agritrade. Guatemala.
- Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI). 2010. Declaratoria General de Protección de la Denominación de Origen Chile Habanero de la Península de Yucatán. Diario Oficial de la Federación 04 junio de 2010.
- Ishikawa K. 2003. Biosynthesis of capsaicinoids in *Capsicum*. En: Morán-Bañuelos SH, Aguilar-Rincón VH, Corona-Torres T, Castillo-González F, Soto Hernández RM y San Miguel-Chávez R. 2008. Capsaicinoides en chiles nativos de Puebla, México. *Agrociencia* 42: 807-816.
- Johnson CD y DR Decoteau. 1996. Nitrogen and Potassium Fertility Affects Jalapeño Pepper Plant Growth, Pod Yield, and Pungency. *HortScience* 31(7): 1119-1123.
- Kirschbaum-Titze P, C Hielper, E Mueller-Seitz y M Petz. 2002. Pungency in paprika (*Capsicum annuum*) 1. Decrease of capsaicinoid content following cellular disruption. *J. Agric. Food Chem.* 50: 1260-1263.
- Lesur L. 2006. Manual del Cultivo del Chile. Editorial Trillas. México. 80 págs.
- López-Carillo *et al.* 2005. En: Martínez Guzmán AA. 2007. Obtención de Oleorresina *Capsicum* a partir de chiles jalapeños frescos enteros. Tesis profesional para obtener el título en Licenciatura en Ingeniería Química con área en Ingeniería de Procesos. Universidad de las Américas Puebla (UDLA). México.
- López López R y F Mirafuentes Hernández. 2004. Sistema de fertirrigación y acolchado plástico en la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Primera Convención Mundial de Chile; Sistemas de Producción. pp 223-229.
- Manirakiza P, A Covaci, y P Schepens. 2003. Pungency principles in *Capsicum* – analytical determinations and toxicology. En: De, A. K. (ed) *Capsicum. The Genus Capsicum*. Taylor and Francis. London. pp: 71-86. En: Morán-Bañuelos SH, Aguilar-Rincón VH, Corona-Torres T, Castillo-González F, Soto Hernández RM y San Miguel-Chávez R. 2008. Capsaicinoides en chiles nativos de Puebla, México. *Agrociencia* 42: 807-816.
- Martínez Guzmán AA. 2007. Obtención de Oleorresina *Capsicum* a partir de chiles jalapeños frescos enteros. Tesis Licenciatura. Ingeniería Química con área en Ingeniería de Procesos. Universidad de las Américas Puebla. México.
- Medina Lara F, R Pachecho Arjona, N Ruíz Lau N, AA Guzmán Antonio, L Torres Tapia, F Vázquez Flota y M Martínez Estévez. 2008. Efecto de la fertilización nitrogenada y potásica en la producción de capsaicina y el desarrollo de plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Hortscience* 43(5):1549-1554.
- Missouri Botanical Garden (MOBOT). Base de datos Tropicos.
www.tropicos.org. Consulta mayo 2010.

- Morán-Bañuelos SH, VH Aguilar-Rincón, T Corona-Torres, F Castillo-González, RM Soto Hernández y R San Miguel-Chávez. 2008. Capsaicinoides en chiles nativos de Puebla, México. *Agrociencia* 42: 807-816.
- Monforte-González M, A Guzmán-Antonio, F Uuh-Chim y F Vázquez-Flota. 2009. (Abstr.) Capsaicin accumulation is related to nitrate content in placentas of habanero peppers (*Capsicum chinense* Jacq.). *Journal of Science of Food and Agriculture*, 90(5): 74-768.
- Muñoz de Chávez M y JA Ledesma Solano. 2002. Tablas de Valor Nutritivo de Alimentos. Editorial McGraw Hill Interamericana. México. pp 60.
- Neumann R. 2004. Ajíes y Capsicina: Desde especia, insecticida, defensa personal hasta medicinal. *Boletín Desideratum* 2(18): 1-4.
- Pacho-Carrillo JD, RA Domínguez-Espinosa, CG Cantón, A Ponsich, R Turner, G Manzanilla y C Poot. 2002. Diseño conceptual de una planta de extracción de oleorresinas: *Capsicum* y capsaicina a partir de chile habanero (*Capsicum chinense*) usando CO₂ supercrítico. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)* 17(2): 95-103.
- Pelayo Zaldívar C. 2003. Las Frutas y Hortalizas como Alimentos Funcionales. Departamento de Biotecnología, División CBS. Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa. México.
- Pérez ZO. 1975. Informe de labores del programa de suelos. SARH. INIA. CIAPY. CEUX. En: Dzib Echeverría R y G Uribe Valle. 2004. Fuentes de fertilizantes y su respuesta en el rendimiento y calidad del chile habanero. Primera Convención Mundial de Chile; Sistemas de Producción. pp 230-235.
- Petropoulos SA, D Daferera, MG Polissiou y HC Passam. 2007. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. *Scientia Horticulturae* 115: 393-397.
- Preciado R, MA Segura, A Lara y M Andrade. 2005. Crecimiento de plántulas de chile jalapeño por efecto de nitrógeno y el fósforo en la solución nutritiva. Segunda Convención Mundial de Chile. Zacatecas México. pp. 179-183.
- Preciado Rangel P, A Lara-Herrera, MA Segura Castruita, EO Rueda Puente, JA Orozco Vidal y P Yescas Coronado. 2008. Amonio y fosfato en el crecimiento de plántulas de chile jalapeño. *Terra Latinoamericana*, vol. 26 (1): 37-42.
- Ramírez-Flores J, DL Ochoa-Martínez, MN Rodríguez-Mendoza y G Mora-Aguilera. 2006. Efecto del ácido acetil salicílico, miel y melaza en la movilidad y concentración de TSWV. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2): 239-243.
- Reilly CA, DJ Crouch y GS Yost. 2001. Quantitative analysis of capsaicinoids in fresh peppers, oleoresin *Capsicum* and pepper spray products. *J Forensic Sci*, 46(3): 502-509.
- Restrepo Gallego M, N Llanos Ríos y CE Fonseca Echeverri. 2007. Composición de las oleorresinas de dos variedades de ají picante (Habanero y Tabasco) obtenidas

- mediante lixiviación con solventes orgánicos. *Revista Lasallista de Investigación*, 4(001): 14-19.
- Ruíz Lau N, F Medina Lara, M Monforte González, AA Guzmán Antonio, L Torres Tapia y M Martínez Estévez. 2005. Efecto del estrés hídrico sobre el desarrollo de capsaicinoides en frutos y órganos vegetativos en plántulas de chile habanero (*C. chinense*). XI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. México.
- Steiner, AA. 1984. The universal nutrient solution. In: proceeding of the Sixth International Congress on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands. pp. 663-649.
- Turrent A y R Laird. 1979. La Matriz Experimental Plan Puebla para ensayos sobre prácticas de producción de cultivos. C.P. Chapingo.
- Vázquez Flota F, ML Miranda Ham, M Monforte González, G Gutiérrez Carbajal, Velázquez García C y Y Nieto Pelayo. 2007. La biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. *Rev. Fitotec. Mex.* 30 (4): 353-360.
- Vega Merino LI, S Peraza Sánchez y A Larqué Saavedra. 2004. Evaluación del efecto del ácido salicílico en la acumulación de capsaicina en frutos *Capsicum chinense* Jacq. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Primera Convención Mundial del Chile.
- Velasco Velasco VA. 1999. Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. *Terra Latinoamericana* 17(3): 193-200.
- Sharma R, M Chinn y M Boyette. 2004. Solvent Extraction and Composition Analysis of Capsaicin from Different Parts of Habanero Peppers (*Capsicum chinense*) For Application in Food Processing. North Carolina State University. USA.
- Stewart Jr C, M Mazourek, GM Stellari, M O'Connell y M Jahn. 2007. Genetic control of pungency in *C. chinense* via the Pun1 locus. *J. Exp. Bot.* 58: 979-991.
- Sung Y, YY Chang, NL Ting. 2005. Capsaicin biosynthesis in water-stressed hot pepper fruits. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 46: 35-42.
- Tognoni F. 2000. Temperatura. In: Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la producción Intensiva de Hortalizas. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto de 2000. Guadalajara, Jal., México. pp. 12-27.
- Tun Dzul JC. 2001. Chile Habanero: Características y Tecnología de Producción. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 74 págs.
- Zewdie Y y P Bosland. 2000. Pungency of chile (*Capsicum annum* L.) fruit is affected by node position. *HortScience.* 35(6): 137-139.

ANEXO

ANEXO 1. Tabla de valores obtenidos del análisis estadístico para la cuantificación de capsaicina mediante HPLC.

ANOVA OneWay

Descriptive Statistics

	Sample Size	Mean	Standard Deviation	SE of Mean
1	4	22,30233	27,28738	13,64369
2	4	14,07594	16,92039	8,4602
3	4	22,54886	22,26064	11,13032
4	4	42,10784	41,74815	20,87407
5	4	35,43885	29,92808	14,96404
6	4	32,11958	26,10562	13,05281
7	4	32,52787	28,65968	14,32984
8	4	18,39049	23,43968	11,71984

One Way ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	7	2551,61569	364,51653	0,46903	0,84722
Error	24	18652,00392	777,16683		
Total	31	21203,61961			

Null Hypothesis: The means of all levels are equal
 Alternative Hypothesis: The means of one or more levels are different
 At the 0.05 level, the population means are not significantly different.

Fit Statistics

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Data Mean
0,12034	1,01604	27,87771	27,43772

Means Comparisons

Tukey Test

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
2 1	-8,22639	19,71252	0,59018	0,99986	0,05	0	-73,51259	57,05981
3 1	0,24653	19,71252	0,01769	1	0,05	0	-65,03966	65,53273
3 2	8,47293	19,71252	0,60786	0,99984	0,05	0	-56,81327	73,75912
4 1	19,80552	19,71252	1,42089	0,96921	0,05	0	-45,48068	85,09172
4 2	28,03191	19,71252	2,01106	0,83838	0,05	0	-37,25429	93,31811
4 3	19,55898	19,71252	1,4032	0,97122	0,05	0	-45,72722	84,84518
5 1	13,13652	19,71252	0,94244	0,99719	0,05	0	-52,14968	78,42272
5 2	21,36291	19,71252	1,53262	0,95422	0,05	0	-43,92329	86,64911
5 3	12,88998	19,71252	0,92475	0,9975	0,05	0	-52,39621	78,17618
5 4	-6,669	19,71252	0,47845	0,99997	0,05	0	-71,9552	58,6172
6 1	9,81728	19,71252	0,70431	0,99956	0,05	0	-55,46894	75,10346
6 2	18,04365	19,71252	1,29449	0,98152	0,05	0	-47,24255	83,32985
6 3	9,57072	19,71252	0,68662	0,99963	0,05	0	-55,71548	74,85692
6 4	-9,98828	19,71252	0,71658	0,99951	0,05	0	-75,27446	55,29794
6 5	-3,31926	19,71252	0,23813	1	0,05	0	-68,60546	61,96694
7 1	10,22554	19,71252	0,7336	0,99943	0,05	0	-55,06066	75,51174
7 2	18,45193	19,71252	1,32378	0,97907	0,05	0	-46,83427	83,73813
7 3	9,979	19,71252	0,71591	0,99951	0,05	0	-55,30719	75,2652
7 4	-9,57998	19,71252	0,68729	0,99963	0,05	0	-74,86618	55,70622
7 5	-2,91098	19,71252	0,20884	1	0,05	0	-68,19718	62,37522
7 6	0,40828	19,71252	0,02929	1	0,05	0	-64,87792	65,69448
8 1	-3,92184	19,71252	0,28136	1	0,05	0	-69,20804	61,36436
8 2	4,30455	19,71252	0,30882	1	0,05	0	-60,98165	69,59075
8 3	-4,16837	19,71252	0,29905	1	0,05	0	-69,45457	61,11782
8 4	-23,72736	19,71252	1,70225	0,92301	0,05	0	-89,01356	41,55884
8 5	-17,05836	19,71252	1,2238	0,98656	0,05	0	-82,34456	48,22784
8 6	-13,7391	19,71252	0,98567	0,99629	0,05	0	-79,02529	51,5471

Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0,05 level.
 Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0,05 level.