



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**PRODUCTIVIDAD, CALIDAD Y PUNGENCIA DEL
CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) POR
EFECTO DEL RÉGIMEN NUTRIMENTAL, PODAS DE
CONDUCCIÓN Y FERTILIZACIÓN FOLIAR**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO
RURAL

PRESENTA:

JOSÉ DANIEL LÓPEZ GÓMEZ

CODIRECTORES DE TESIS:

Dr. Oscar Gabriel Villegas Torres

Dr. Héctor Sotelo Nava



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

Cuernavaca, Mor., octubre de 2018.

PRODUCTIVIDAD, CALIDAD Y PUNGENCIA DEL CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) POR EFECTO DEL RÉGIMEN NUTRIMENTAL, PODAS DE CONDUCCIÓN Y FERTILIZACIÓN FOLIAR

Tesis realizada por **José Daniel López Gómez** bajo la codirección y comité revisor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

COMITÉ REVISOR

Codirector: _____
Dr. Oscar Gabriel Villegas Torres

Codirector: _____
Dr. Héctor Sotelo Nava

Revisor: _____
Dra. María Andrade Rodríguez

Revisor: _____
Dr. Porfirio Juárez López

Revisor: _____
Dr. Edgar Martínez Fernández

Revisor: _____
Dr. Manuel de Jesús Sainz Aispuro

Revisor: _____
Dr. Alexandre Toshirrico Cardoso Taketa

Revisor: _____
Dra. Martha Lilia Domínguez Patiño

Cuernavaca, Mor., octubre de 2018.

DEDICATORIA

Para el motorcito de mi vida y el motivo de querer superarme día con día tratando de ser una mejor persona... que aunque en este momento tu edad no te permita comprender muchas cosas, espero algún día entiendas lo hermoso y motivante que es esforzarse por un hijo. *Te amo mi pequeño Alex.*

Para Oyuki... por creer en mí, por compartir conmigo los momentos buenos y malos de la vida, por tus palabras de aliento para no bajar los brazos en las situaciones más difíciles, por tu apoyo incondicional y tu comprensión en todo momento.

Para mis padres... mi mamá un ejemplo de sacrificio, trabajo y humildad y mi papá de esfuerzo y valentía, a quienes con el paso de los años voy entendiendo y valorando más.

*No nos atrevemos a muchas cosas
porque son difíciles, pero son difíciles
porque no nos atrevemos a hacerlas.*

Seneca

AGRADECIMIENTOS

Primero gracias a Dios por darme salud, rodearme de personas muy valiosas y permitirme lograr un objetivo más en la vida.

Al Dr. Oscar Villegas Torres por permitirme trabajar con él desde la licenciatura hasta el doctorado y por todas sus enseñanzas y consejos durante todo este tiempo.

Al Dr. Héctor Sotelo Nava que más de maestro ha sido un amigo por la confianza y el apoyo brindados, por sus consejos y por compartir sus experiencias, no solo en temas relacionados con la agronomía, principalmente por compartir experiencias de vida.

Al Dr. Alexandre Cardoso Taketa por el interés mostrado en esta investigación y todo el apoyo para llevar a cabo los trabajos de laboratorio. Así como a los compañeros Alan Aguayo, David Adame y Uriel Soto, quienes fueron parte fundamental para los resultados de este trabajo.

A un claro ejemplo de superación en la vida, mi amigo Sergio González, por el apoyo brindado en el trabajo de campo y sus palabras de motivación.

A todos (familiares, amigos, compañeros y maestros) los que aportaron su granito de arena para la realización de este trabajo...

¡Muchas gracias!

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	V
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 1. IMPORTANCIA DEL CHILE HABANERO (<i>Capsicum chinense</i> Jacq.) Y LOS RETOS EN SU PRODUCCIÓN	2
1.1 Origen y producción del chile habanero.....	2
1.2 Importancia económica.....	3
1.3 Capsaicinoides.....	3
1.4 Problemática del cultivo.....	6
1.5 Requerimientos nutrimentales.....	8
1.6 Aspectos de manejo del cultivo.....	10
1.6.1 Poda.....	10
1.6.2 Fertilización foliar.....	12
1.7 Conclusiones.....	13
1.8 LITERATURA CITADA.....	14
CAPÍTULO 2. RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CHILE HABANERO (<i>Capsicum chinense</i> Jacq.) POR EFECTO DEL RÉGIMEN NUTRIMENTAL	22
2.1 RESUMEN.....	22
2.2 SUMMARY.....	23
2.3 INTRODUCCIÓN.....	24
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
2.4.1 Ubicación del experimento.....	26
2.4.2 Material vegetal.....	26
2.4.3 Manejo del experimento.....	27
2.4.4 Variables de respuesta.....	28
2.4.5 Análisis estadístico.....	29
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
2.6 CONCLUSIONES.....	34
2.7 LITERATURA CITADA.....	34
CAPÍTULO 3. EFECTO DE LA NUTRICIÓN MINERAL DE ACUERDO A LA ETAPA FENOLÓGICA EN CHILE HABANERO (<i>Capsicum chinense</i> Jacq.) SOBRE EL CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES	41
3.1 RESUMEN.....	41
3.2 SUMMARY.....	42
3.3 INTRODUCCIÓN.....	43
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
3.4.1 Ubicación del experimento.....	46
3.4.2 Material vegetal.....	46
3.4.3 Unidad experimental.....	46
3.4.4 Manejo del experimento.....	47

3.4.5	Colecta de frutos.....	47
3.4.6	Preparación de extractos.....	49
3.4.7	Análisis en cromatografía líquida de alta resolución HPLC.....	49
3.4.7.1	Materiales.....	49
3.4.7.2	Instrumentación y condiciones cromatográficas.....	49
3.4.7.3	Preparación de la solución madre estándar.....	50
3.4.7.4	Preparación de la solución estándar de trabajo.....	50
3.4.7.5	Obtención de la curva de calibración.....	50
3.4.7.6	Preparación y extracción de muestras.....	50
3.4.8	Análisis estadístico.....	51
3.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
3.6	CONCLUSIONES.....	57
3.7	LITERATURA CITADA.....	58

CAPÍTULO 4. RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) POR EFECTO CONJUNTO DEL RÉGIMEN NUTRIMENTAL Y LA PODA DE CONDUCCIÓN..... 63

4.1	RESUMEN.....	63
4.2	SUMMARY.....	64
4.3	INTRODUCCIÓN.....	65
4.4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	68
4.4.1	Ubicación del experimento.....	68
4.4.2	Material vegetal.....	68
4.4.3	Manejo del experimento.....	68
4.4.4	Variables de respuesta.....	70
4.4.5	Análisis estadístico.....	71
4.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	72
4.6	CONCLUSIONES.....	78
4.7	LITERATURA CITADA.....	79

CAPÍTULO 5. EFECTO CONJUNTO DE LA PODA DE CONDUCCIÓN Y LA FERTILIZACIÓN FOLIAR EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)..... 84

5.1	RESUMEN.....	84
5.2	SUMMARY.....	85
5.3	INTRODUCCIÓN.....	86
5.4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	89
5.4.1	Ubicación del experimento.....	89
5.4.2	Material vegetal.....	89
5.4.3	Manejo del experimento.....	89
5.4.4	Variables de respuesta.....	91
5.4.5	Análisis estadístico.....	92
5.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	93
5.6	CONCLUSIONES.....	100
5.7	LITERATURA CITADA.....	101

CONCLUSIONES GENERALES..... 105

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
CAPÍTULO 2	
Cuadro 1	Regímenes nutrimentales evaluados en plantas de chile habanero..... 25
Cuadro 2	Características morfológicas, resistencia del tallo al daño mecánico, concentración de clorofila y aborto de flor en respuesta a los diferentes regímenes nutrimentales del chile habanero..... 28
Cuadro 3	Volumen de raíz y peso de materia seca de los diferentes órganos de la planta por efecto de distintos regímenes nutrimentales..... 29
Cuadro 4	Calidad del fruto de chile habanero en tamaño, peso y color, por efecto del régimen nutrimental..... 31
CAPÍTULO 3	
Cuadro 1	Régimen nutrimental de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo de chile habanero..... 48
Cuadro 2	Longitud y diámetro de fruto de chile habanero por efecto del régimen nutrimental..... 48
Cuadro 3	Concentración de capsaicina y dihidrocapsaicina en la placenta, pericarpio y semilla de chile habanero de la variedad Jaguar..... 54
CAPÍTULO 4	
Cuadro 1	Tratamientos conformados por el tipo de poda y de nutrición en la producción hidropónica de chile habanero bajo cubierta plástica..... 69
Cuadro 2	Régimen nutrimental aplicado en la producción hidropónica de chile habanero bajo cubierta plástica..... 69
Cuadro 3	Variables de respuesta por el efecto conjunto de la poda y la nutrición en chile habanero cultivado bajo cubierta plástica.... 72
Cuadro 4	Volumen de raíz y pesos de materia fresca de plantas de chile habanero cultivado bajo cubierta plástica..... 73
Cuadro 5	Peso de materia seca de plantas de chile habanero cultivado bajo cubierta plástica..... 74
Cuadro 6	Calidad y cantidad de frutos por planta de chile habanero cultivado bajo cubierta plástica..... 77
CAPÍTULO 5	
Cuadro 1	Tratamientos conformados por el tipo de poda y la fertilización foliar en la producción hidropónica de chile habanero bajo cubierta plástica..... 90

Cuadro 2	Régimen nutrimental aplicado en la producción hidropónica de chile habanero bajo cubierta plástica.....	91
Cuadro 3	Variables morfológicas del chile habanero por efecto de la poda y la fertilización foliar.....	93
Cuadro 4	Peso de materia fresca y seca de las plantas de chile habanero por efecto conjunto de la poda y la fertilización foliar.....	96
Cuadro 5	Calidad física del fruto y número de frutos de chile habanero por efecto conjunto de la fertilización foliar y la poda de conducción.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
CAPÍTULO 2		
Figura 1	Cantidad de frutos por planta acumulado en seis cortes de chile habanero.....	30
Figura 2	Rendimiento acumulado en seis semanas de corte de chile habanero.....	30
CAPÍTULO 3		
Figura 1	Perfil cromatográfico en HPLC analítico de una muestra del extracto clorofórmico de placenta.....	52
Figura 2	Porcentaje de capsaicina en las diferentes partes del fruto de chile habanero var. Jaguar, por efecto del régimen nutrimental.....	53
Figura 3	Porcentaje de dihidrocapsaicina en las diferentes partes del fruto de chile habanero var. Jaguar, por efecto del régimen nutrimental.....	53
CAPÍTULO 4		
Figura 1	Rendimiento acumulado en un lapso de 49 días de cosecha de chile habanero por efecto de la poda conjuntamente con la nutrición. CV= 18.15. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).....	75
CAPÍTULO 5		
Figura 1	Rendimiento acumulado en siete cortes de chile habanero por efecto de la poda conjuntamente con la fertilización foliar. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).....	94
Figura 2	Número de frutos por planta de chile habanero por efecto de la poda conjuntamente con la fertilización foliar. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).....	95

INTRODUCCIÓN GENERAL

En México existe una gran diversidad de especies del género *Capsicum*, tanto silvestres como domesticadas, las cuales tienen importancia significativa en la gastronomía mexicana. Entre estas especies, el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) sobresale por su sabor, valor nutritivo pero principalmente por su alta pungencia. Existen reportes de que el chile habanero tiene su origen en Sudamérica, no obstante, posee la denominación de origen en los estados que conforman la península de Yucatán en México (Yucatán, Campeche y Quintana Roo), los cuales son los principales estados productores de esta especie, aunque por su importancia económica también se produce en otras regiones del país. El chile habanero tiene una gran demanda a nivel nacional e internacional, no sólo por la industria gastronómica, sino también por otras, entre las que destaca la industria farmacéutica, debido a los compuestos fitoquímicos que tiene este fruto en beneficio de la salud humana. La mayor parte de su producción es de manera tradicional a campo abierto y en menor proporción se produce bajo casa sombra o bajo cubierta plástica, sin embargo, el cultivo a campo abierto enfrenta más problemas de producción por factores bióticos y abióticos que causan disminución sobre todo en los rendimientos. Sin embargo, a pesar de la importancia que tiene el chile habanero, es escasa la información acerca de aspectos que influyan en la producción y calidad de este cultivo, desde la siembra hasta la cosecha. Por ello, en el presente documento se dan a conocer algunos aspectos relacionados con la producción de chile habanero, destacando los beneficios que se pueden obtener de este fruto, las formas de manejo del cultivo, así como la problemática que se enfrenta su producción. Además, se muestran resultados de estudios realizados en la producción hidropónica de dicho cultivo cuando éste se establece bajo cubierta plástica, analizando factores como la nutrición suministrada con base en la etapa fenológica del cultivo, la poda de conducción a diferentes cantidades de tallos por planta y aplicaciones foliares con fórmulas químicas propias y reguladores de crecimiento comerciales, que permitan mejorar algunas características del cultivo como el rendimiento y la calidad fisicoquímica de los frutos principalmente, entre otras.

CAPÍTULO 1

IMPORTANCIA DEL CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) Y LOS RETOS EN SU PRODUCCIÓN

1.1 Origen y producción del chile habanero

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) originario de Sudamérica, principalmente de la cuenca del Amazonas, en partes de Perú, Colombia y Brasil (Tun, 2001; Jarret *et al.*, 2009), actualmente es el cultivo más explotado a nivel comercial en la península de Yucatán (Macías *et al.*, 2013). Sin embargo, por la alta demanda de esta hortaliza, también se cultiva en otras regiones del país, principalmente en la franja costera del Golfo de México (Graillet *et al.*, 2014).

El ciclo de este cultivo es de cuatro a cinco meses desde la siembra en almacigo hasta el inicio de la cosecha; requiere de 30-50 días en la etapa de plántula, la etapa vegetativa dura aproximadamente 50 días después del trasplante (ddt), la etapa de floración a los 75 ddt, la de fructificación a los 100 ddt y en producción a los 120 ddt (Borges-Gómez *et al.*, 2010; Noh-Medina *et al.*, 2010). La cosecha tiene una duración de dos a tres meses, realizando entre ocho y 12 cortes (Prado, 2006).

Se cultiva generalmente por el sistema tradicional en campo a cielo abierto. Sin embargo, con este sistema el cultivo es afectado de forma negativa por diversos factores ambientales, capaces de reducir la calidad del producto, el rendimiento y la rentabilidad del cultivo (Lugo-Jiménez *et al.*, 2010; López-Arcos *et al.*, 2012). Además de que las características propias del chile habanero como el sabor, aroma, pungencia, color y vida de anaquel, dependen de las condiciones del clima, suelo y ubicación de la región (Borges-Gómez *et al.*, 2014).

1.2 Importancia económica

El chile habanero tiene una gran importancia económica, ya que es uno de los vegetales que en la actualidad tiene más demanda en el mercado nacional e internacional no sólo como alimento, sino también por ser una fuente excelente de colorantes naturales y compuestos fitoquímicos para la salud (Navarro *et al.*, 2006; Ruiz *et al.*, 2009; Chan *et al.*, 2011). De acuerdo con Hernández *et al.* (2010) se estima que del total de la producción de chile habanero, el 75 % se destina para el consumo en fresco, el 22 % lo utiliza la industria en la elaboración de salsas y el 3 % se destina a la obtención de semilla, mientras que del total de producción, el 25 % se exporta. Su creciente demanda radica principalmente en las propiedades y múltiples usos que se han ido encontrando para un grupo de componentes de estos frutos, específicamente de los que causan su pungencia, llamados capsaicinoides (Pacho-Carrillo *et al.*, 2002). Dicha propiedad del fruto ha sido clave para que se busque incrementar su producción, además de nuevas técnicas de producción (Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2008).

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018), en el año 2016, la superficie sembrada de chile habanero fue de 829.56 ha, de las cuales el 89.6 % se produjo a cielo abierto, 6.2 % bajo malla sombra, 5.2 % en invernadero, 0.07 % en macrotunel y 0.1 % fue producto de exportación. En cuanto al precio medio rural por tonelada, fue de \$13,800.00 en macrotunel, \$16,847.46 bajo malla sombra, \$17,613.22 a cielo abierto, \$24,156.70 bajo invernadero y hasta \$45,000.00 en producto de exportación, mientras que el rendimiento fue de 11.44 t ha⁻¹ a cielo abierto hasta 26.97 t ha⁻¹ bajo invernadero.

1.3 Capsaicinoides

Se conocen alrededor de 20 de estos compuestos, pero sólo cinco capsaicinoides son los de mayor actividad biológica: capsaicina, dihidrocapsaicina, nordihidrocapsaicina, homodihidrocapsaicina y la norcapsaicina. De estos cinco, los que predominan son la capsaicina y la dihidrocapsaicina representando el 90 % del total de capsaicinoides

(Garcés-Claver *et al.*, 2006; Reyes-Escogido *et al.*, 2011). Sin embargo, el principal capsaicinoide es la capsaicina (Nwokem *et al.*, 2010; Chanthai *et al.*, 2012; Mohammad *et al.*, 2013).

Estos capsaicinoides (CAP's) se sintetizan exclusivamente en las células de la placenta del fruto (Castro-Concha *et al.*, 2014) y se forman a partir de un grupo de amidas ácidas derivadas de la vainillilamina (Cázarez Sánchez *et al.*, 2005; Moran-Bañuelos *et al.*, 2008). La importancia de la capsaicina y otros capsaicinoides radica en que son antioxidantes que producen una serie de efectos fisiológicos y farmacológicos en el sistema cardiovascular y gastrointestinal. (Musfiroh *et al.*, 2013; Usman *et al.*, 2014). Estos protegen al ácido linoleico contra el ataque de radicales libres y reducen metales al ser donadores de hidrógeno (Ramírez *et al.*, 2009). Se ha reportado que la capsaicina tiene efecto protector contra el colesterol y la obesidad (Kempaiah *et al.*, 2004); ha sido utilizada como analgésico contra el dolor de la artritis y la inflamación neurogénica (ardor y escozor de las manos, ojos y boca) (Pereira *et al.*, 2012), incluso se utiliza en la fabricación de aerosoles de gas pimienta para la defensa personal (Supalkova *et al.*, 2007). No obstante, uno de los principales beneficios de la capsaicina es su efecto contra el cáncer. Diversos estudios han demostrado el efecto de la capsaicina para evitar la proliferación de células cancerígenas, ya que ésta suprime la expresión del inhibidor de la caspasa DNasa que es activada para inducir la apoptosis de células de melanoma, así como también adenocarcinoma gástrico, cáncer de páncreas, cáncer de mama y de próstata (Lo *et al.*, 2005; Mori *et al.*, 2006; Amruthraj *et al.*, 2014).

El contenido de capsaicina en las diferentes especies de chiles puede depender de factores intrínsecos como el genotipo o bien de factores ambientales donde estos se cultivan (Cisneros-Pineda *et al.*, 2007), tales como la intensidad de la luz y la temperatura durante el desarrollo del cultivo, el estado de madurez del fruto, la posición del fruto en la planta o bien la limitación de agua a la planta (Vázquez-Flota *et al.*, 2007; Al Othman *et al.*, 2011). Dependiendo de los genotipos utilizados y de las condiciones de cultivo, la síntesis de CAP's ocurre durante las etapas tempranas del desarrollo del

fruto, esto es entre los 20 y 50 d después de la antesis. La posición del fruto en los tallos también determina el grado de picor en *C. annuum* 'Jalapeño', 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 and Bosland, 2000). Sin embargo, se menciona que la concentración aumenta gradualmente durante el desarrollo del fruto alcanzando niveles máximos en 40 a 50 días después de lo cual tiende a degradarse en compuestos secundarios debido a la acción de la peroxidasa (Reyes-Escogido *et al.*, 2011).

También las heridas en el fruto pueden reducir el picor del fruto, probablemente porque el contacto de los CAP's con oxígeno promueve su oxidación (Kirschbaum-Titze *et al.*, 2002). Por su parte, Reyes-Escogido *et al.* (2011) señalan que el nivel de capsaicinoides aumenta porque el déficit de agua afecta la vía fenilpropanoide. Dicho aumento coincide con mayor actividad de las enzimas involucradas en la biosíntesis de capsaicina (PAL, Ca4H y CS), mientras que la actividad de las peroxidases del fruto permanecen constantes, lo que sugiere que estas condiciones producen mayor capacidad de síntesis de CAP's, sin modificar su catabolismo (Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

Por otra parte, el estado nutricional de la planta tiene un efecto en la acumulación de los CAP's. Se ha encontrado que la dosis de nitrógeno aplicado como fertilizante tiene valor óptimo para la máxima acumulación de CAP's, mientras que dosis elevadas pueden ocasionar su disminución. No obstante, no hay reportes de la posible relación entre estos efectos y la acumulación de fenilalanina y valina. El efecto del potasio es contradictorio, ya que en algunos trabajos con chile 'Jalapeño' la aplicación de fertilizantes con este mineral tiene efectos positivos, mientras que en otros trabajos con la misma variedad no tiene efecto alguno (Vázquez-Flota *et al.*, 2007). Tucuch-Haas *et al.* (2012) señalan que el suministro de nitrógeno en forma de NH_4^+ en proporciones crecientes afecta de forma negativa el contenido de capsaicina en los frutos, la cual tiende a disminuir en cosechas subsecuentes. Sin embargo, Borges-

Gómez *et al.* (2010) indican que los niveles nutrimentales y de humedad aprovechable durante el cultivo no tienen efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de capsaicina en los frutos de chile habanero.

1.4 Problemática del cultivo

A pesar de ser uno de los principales cultivos hortícolas en el sureste de México, debido a su valor cultural, gastronómico y económico, así como su alto potencial para exportación e industrialización, los rendimientos de chile habanero permanecen bajos, principalmente en el cultivo a cielo abierto debido al efecto negativo de insectos plaga y patógenos. Entre las principales plagas del chile habanero se encuentran la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), el picudo del chile (*Anthonomus eugenii* Cano), minadores de hoja del género *Liriomyza*, así como algunas especies de ácaros (*Tetranychus* sp., *Polyphagotarsonemus latus*). De estas plagas, *B. tabaci* es la más dañina porque es un vector de varias especies de *Begomovirus* que causan amarillamiento y deformación en hojas, retraso en el crecimiento de la planta, rendimientos más bajos y deformación de los frutos (Berny-Mier y Teran *et al.*, 2013).

No obstante, uno de los principales problemas de la producción de chile habanero es la pérdida importante de flor y fruto. En la etapa de floración, Ramírez-Luna *et al.*, (2005) reportan más del 40 % de aborto de flor mientras que Medina-Lara *et al.* (2008) han reportado hasta 85 % de aborto de flor en este cultivo. Por su parte, Cruz *et al.* (2012) señalan que las temperaturas altas provocan trastornos fisiológicos en plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) ocasionando un elevado aborto de flores. De igual forma, Jaimez *et al.* (2010) reportan el mismo efecto en pimentón (*Capsicum annuum*) pero argumentan que el fenómeno se debe a una afectación del proceso de germinación del polen y del tubo polínico, además de que este proceso también puede ser diferente entre cultivares.

Las flores, así como los frutos, se caen en distintas fases de desarrollo y por diferentes causas, tales como condiciones ambientales (altas y bajas temperaturas, humedad

relativa, estrés hídrico, etc.), cultivares poco rendidores con problemas en la polinización o bien por competencia entre órganos de la planta por elementos nutritivos como nitrógeno (N), fósforo (P), fotoasimilados y hormonas (Madriz *et al.*, 2008; Ramírez *et al.*, 2010).

Las hormonas tienen un papel importante en la fisiología de las plantas, conocidas también como biorreguladores. Estas sustancias sirven para mejorar los sistemas de producción hortícola, dando la ventaja de producir efectos temporales modificando el fenotipo del producto de acuerdo con las necesidades del mercado. La aplicación de auxinas, giberelinas y citocininas reducen la caída de flores y por lo tanto, incrementan el cuajado de frutos (Ramírez *et al.*, 2010); incluso los retardadores de crecimiento favorecen la floración (López-Valencia *et al.*, 2002) como el paclobutrazol, el cual retarda el crecimiento vegetal al bloquear la síntesis de giberelinas, disminuir las concentraciones de ácido abscísico, ácido indolacético y etileno y aumentar la de citocininas (Pérez-Barraza *et al.*, 2011).

Se ha reportado que en plantas de chile habanero existe respuesta significativa respecto al número de flores y frutos por planta debido a la aplicación de reguladores de crecimiento (giberelinas, auxinas y citocininas). Por ejemplo, para disminuir el aborto de flor se ha aplicado el producto comercial MAXIGROW® con el cual se incrementa en 44 % la inducción y amarre de flor. Sin embargo, el efecto de MAXIGROW® no solamente se atribuye a su composición a base de auxinas, giberelinas y citocininas, sino también al alto contenido de macro y micronutrientes, lo cual estimula la división y alargamiento celular, induciendo mayor floración, así como mejor estado nutricional de la planta (Ramírez-Luna *et al.*, 2005).

Otro problema del chile habanero es que, aún con la aplicación de reguladores de crecimiento, la calidad del fruto es baja cuando el cultivo se establece en invernadero. De acuerdo con Ramírez-Luna *et al.* (2005) las plantas de chile habanero desarrolladas en invernadero presentan mayor número de flores y frutos, pero con tamaño de fruto pequeño, en contraste con la producción en campo, donde se obtienen

frutos más grandes; atribuyendo el menor tamaño de fruto, a la baja intensidad de luz que hay en el invernadero, condición que favorece plantas más grandes, de tallos más delgados, pero de frutos pequeños. Sin embargo, en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), Aldana *et al.* (2007) afirman que el tamaño del fruto depende directamente de la cantidad de granos de polen depositados en el estigma, es decir, con menor cantidad de polen, se producen frutos más pequeños, deformes o con pocas semillas. Este problema es de gran importancia ya que el incremento de los parámetros de calidad puede aumentar la vida de anaquel y, por lo tanto, el valor económico de los mismos (Chamú-Baranda *et al.*, 2011).

1.5 Requerimientos nutrimentales

A pesar de la importancia del chile habanero, pocas investigaciones se han realizado en condiciones de cultivo que puedan afectar su productividad y la calidad del fruto. Tal es el caso de la nutrición mineral, que para *Capsicum annum* se conoce ampliamente, pero no así para *Capsicum chinense* (Medina-Lara *et al.*, 2008). Algunas recomendaciones generadas sobre los requerimientos nutricionales de *Capsicum chinense* señalan el uso de dosis de fertilización para obtener los mejores rendimientos. Por ejemplo, Prado (2006) señala que el chile habanero, respecto con la curva de nutrición, durante la etapa de desarrollo del cultivo hasta antes de la floración, es exigente en fósforo (P) para la formación de raíces y, posteriormente nitrógeno (N) para un desarrollo mayor de la planta. En la etapa de floración y fructificación, exige fuertes cantidades de P, para la floración y amarre del fruto. En el intervalo de la floración y engorde de fruto, se requiere de calcio (Ca) para favorecer una mejor asimilación de nutrientes. Finalmente, en la etapa de engorde de frutos, se requiere de potasio (K), magnesio (Mg) y Ca, para afinar la calidad y definir el color, sabor y textura del fruto, elementos importantes que determinan la vida en anaquel. Por ello menciona que el requerimiento nutritivo es de 250 kg de N, 100 kg de P, 300 kg de K, 200 kg de Ca y 100 kg de Mg, en todo el ciclo de producción. Por su parte, Borges-Gómez *et al.* (2010) proponen la dosis de fertilización de 240-240-240 y humedad aprovechable del 100 % en invernadero para aumentar el rendimiento (1,391

g/planta). Sin embargo, Noh-Medina *et al.* (2010) sugieren la fórmula 210-60-160 de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente, considerando que el orden de contenido de nutrimentos mayores en el chile habanero es N>K>Ca>Mg>P (g/planta) y en cuanto al contenido de nutrimentos menores es Fe>Zn>Mn>Cu (g/planta). No obstante, los resultados de la fertilización en campo no son del todo satisfactorios ya que esto depende del tipo de suelo y sus características, las cuales, en el estado de Yucatán, no se conocen bien (Borges-Gómez *et al.*, 2014).

Una tecnología no convencional donde las plantas del cultivo están en soluciones nutritivas con o sin el uso de un sustrato para proveer el soporte mecánico, son los sistemas hidropónicos. Por lo general, los sistemas hidropónicos están encerrados en estructuras tipo invernadero para controlar las condiciones ambientales y reducir las infestaciones por enfermedades y plagas (Ramos-Gourcy y Luna-Jiménez, 2006). En el caso del chile habanero, su producción mediante sistemas hidropónicos bajo invernadero brinda una mejor calidad microbiológica de los frutos que los que se producen en campo a cielo abierto (Lugo-Jiménez *et al.*, 2010). Sin embargo, la información sobre soluciones nutritivas para el chile habanero cultivado bajo invernadero es muy escasa. Tucuch-Haas *et al.* (2012) han utilizado la solución Steiner (Steiner, 1984), modificando concentraciones de N-NH₄⁺:N-NO₃⁻; señalan que con la relación 0 % NH₄⁺:100 % NO₃⁻ se obtienen plantas de mayor altura y diámetro de tallo hasta el final del ciclo de cultivo y que la relación 20 % NH₄⁺:80 % NO₃⁻ brinda mejores resultados en rendimiento y calidad de frutos.

No obstante, de acuerdo con Armenta-Bojórquez *et al.* (2001), la concentración de nutrimentos suministrada en la solución nutritiva para el cultivo de tomate debe ser de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo, para lograr disminuir costos, reducir la fertilización, la contaminación del suelo y de los mantos acuíferos y al mismo tiempo, evitar excesos de algunos nutrimentos en las plantas que afecten su desarrollo. Algo similar realizaron Tapia-Vargas *et al.* (2016) elaborando una solución nutritiva para el cultivo de chile habanero negro (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo invernadero, compuesta en miliequivalentes por litro (me L⁻¹) de 11.8 de NO₃⁻, 1.3 de H₂PO₄⁻, 1.3 de

SO_4^{2-} , 6 de K^+ , 3.8 de Ca^{2+} , 1.3 de Mg^{2+} y en miligramos por litro (mg L^{-1}) de 0.56 de Fe^{2+} , 0.56 de Mn^{2+} , 0.26 de Zn^{2+} , 0.22 de B y 0.03 de Cu^{2+} . Esta solución fue aplicada al 50 % desde el trasplante hasta el inicio de la floración y a partir de la floración hasta el final del ciclo de cultivo al 100 %. Sin embargo, en esa investigación se aplicó un complejo hormonal a las plantas de manera foliar, al cual se atribuyeron los resultados de la investigación, sin mencionar el efecto de la concentración de los nutrimentos en la solución nutritiva.

1.6 Aspectos de manejo del cultivo

1.6.1 Poda. Ya se ha mencionado que las flores pueden caerse rápidamente en momentos de limitación de nutrientes, debido a la competencia con las hojas que tienen mayor fuerza de demanda. En este sentido, la importancia de la poda radica en que en ocasiones un incremento rápido de algún órgano puede competir con las hojas por nutrimentos que fácilmente se pueden traslocar, lo que provoca senescencia foliar y reducción en su capacidad fotosintética. Asimismo existe competencia entre los órganos cuyo crecimiento y desarrollo son simultáneos; tal es el caso del crecimiento del ápice con la diferenciación foliar. En términos generales la poda puede influir en el número y calidad de las flores y frutos. Por ejemplo, si se reduce el número de frutos, estos serán de mayor tamaño y calidad; sin embargo, una poda apical excesiva puede promover más el crecimiento vegetativo y suprimir la floración (Ponce *et al.*, 2012).

En las plantas del género *Capsicum* es poca la información acerca de la poda y su efecto sobre la productividad. La mayor información se encuentra con el pimentón (*Capsicum annuum*) donde el momento de la poda varía (Jaimez *et al.*, 2002). De acuerdo con Cruz *et al.* (2009) la producción de pimiento bajo invernadero en el norte de Europa y de América generalmente se basa en la práctica de poda tipo “holandés”, que consiste en el uso de cultivares de ciclo indeterminado que se conducen a dos tallos hasta alcanzar 2 a 3 m de altura, con lo cual se pueden incrementar los rendimientos. De igual forma, Reséndiz-Melgar *et al.* (2010) señalan que, conduciendo a la planta de pimiento morrón con dos tallos en forma de V, lo cual se consigue con

podar una de las ramas de cada bifurcación, dejando la flor formada en la horqueta, se logra que en cada nudo de los dos tallos crezca un fruto. Al limitar el número de frutos que crecen simultáneamente, este sistema puede modificar las relaciones fuente/demanda, ya que con este tipo de poda se busca la distribución equilibrada de los azúcares de la fotosíntesis entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo, produciendo frutos en cada nudo donde se bifurcan los tallos (Sánchez del Castillo *et al.*, 2017).

Por su parte, Patiño-Torres y Jaimez-Arellano (2016) señalan que el manejo del cultivo de *C. annuum* debe propiciar la renovación de las hojas para mantener la eficiencia fotosintética y la eliminación de flores hasta el tercer nudo, para que un número mayor de hojas trascienda de órgano de demanda a órgano fuente antes de la fructificación. Con esto aumenta la disponibilidad de fotoasimilados, disminuye la competencia entre órganos, se reduce el aborto floral y mejora la calidad de los frutos. Por su parte, Moreno *et al.* (2012) reportan que la poda severa a una altura de 15 cm después de una cosecha puede ser una alternativa para la renovación de tejido productivo en plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.), alargando el período reproductivo de la planta. No obstante, señalan que los frutos producidos después de la poda, aunque resultan comerciales, son menores en tamaño y peso con respecto a los obtenidos en la primera cosecha.

Sin embargo, en chile habanero es escasa la información sobre los tipos de poda que requiere el cultivo. De acuerdo con Jaimez *et al.* (2002), al evaluar el efecto de diferentes intensidades de poda (10 y 15 nudos) llevadas a cabo en plantas de chile habanero (*Capsicum chinense*), sobre la dinámica de producción de flores y frutos observaron que esto, aunque puede producir disminuciones entre 12-14 % en la producción, puede lograr un incremento del peso de los frutos, obteniendo frutos de mayor calidad comercial.

1.6.2 Fertilización foliar. Se sabe que muchos metabolitos secundarios sintetizados en las plantas son una fuente de compuestos con capacidad antioxidante tales como

tocoferoles, carotenoides, flavonoides, vitamina C, entre otros; por lo que, recientemente, se ha determinado el nivel de antioxidantes en frutas, hortalizas, especias, plantas medicinales y en alimentos procesados. Sin embargo, la información relacionada con el impacto de prácticas agrícolas que modifiquen los niveles de metabolitos secundarios en las plantas, como los antioxidantes, es escasa (Ramírez *et al.*, 2006).

Una alternativa para poder modificar estos niveles podría ser la fertilización foliar, la cual es una práctica común e importante que sirve para corregir las deficiencias nutrimentales de las plantas, favorecer el buen desarrollo de los cultivos y mejorar el rendimiento y la calidad del producto. Aunque no sustituye a la fertilización tradicional de los cultivos, sí es una práctica que sirve de apoyo para suplementar o completar los requerimientos nutrimentales de un cultivo que no se pueden abastecer mediante la fertilización común al suelo (Trinidad y Aguilar, 1999).

Sandoval-Rangel *et al.* (2011), aplicando soluciones foliares de glutamato monosódico (GMS) al 1%, ácido salicílico (AS) 10^{-4} M, ácido benzoico (AB) 10^{-4} M y combinación de GMS con los AS y AB, a plantas de chile piquín cultivado en campo con acolchado y fertirriego, con el objetivo de evaluar el efecto de dichos ácidos en el crecimiento y la producción de frutos en la planta, encontraron que por efecto del GMS se incrementa el crecimiento y la producción de frutos, aumenta el contenido de sodio y de azúcar, mientras que por efecto del AS se reduce el crecimiento, disminuye el contenido de carbohidratos pero aumenta el nivel de capsaicina. De igual forma el AB aumenta el contenido de capsaicina, el crecimiento y la producción de frutos, pero disminuye el contenido de carbohidratos, fibra y proteína. El uso de AS ya se ha reportado en chile habanero, sin embargo, sólo se ha aplicado a nivel de plántula, señalando que aspersiones de AS (10^{-8} M) en combinación con fertilización de N, P y K (190 mg L^{-1} de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$) incrementaron la altura, número de hojas y la longitud radical específica, que describe la relación entre longitud radical (cm) y su biomasa (mg). No obstante todas las demás variables de crecimiento se ven favorecidas al emplear únicamente la fertilización química (Guzmán-Antonio *et al.*, 2012).

Por su parte, Trejo-Téllez *et al.* (2003) elaboraron formulaciones con fertilizantes para aplicarlas de manera foliar a los cultivos de chile jalapeño, pimiento morrón y pepino y observaron una respuesta favorable debido a la fertilización foliar sobre los rendimientos y la calidad de los frutos en cuanto a pH, conductividad eléctrica, grados Brix y acidez titulable. No obstante, no se reportan los niveles de antioxidantes por efecto de las formulaciones aplicadas.

1.7 Conclusiones

La escasa información sobre aspectos relacionados con la producción del chile habanero ofrece un amplio campo para su estudio por ser un cultivo con alta demanda y rentabilidad, debido a los beneficios que ofrece este fruto para la salud humana y por los usos que tiene éste en diversas industrias.

Sería conveniente analizar los efectos de la nutrición suministrada al chile habanero durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo, en combinación con un sistema de poda que permita obtener buenos rendimientos y mejor calidad del fruto, además de realizar aplicaciones foliares a base de soluciones nutritivas que induzcan un incremento en la concentración de capsaicinoides del fruto, cuando éste se cultive en sistemas hidropónicos y bajo cubierta plástica.

1.8 LITERATURA CITADA

- Al Othman, Z. A.; Y. B. Hadj A.; M. Abdelaty H.; A. Abdel G. 2011. Determination of Capsaicin and Dihydrocapsaicin in Capsicum Fruit Samples using High Performance Liquid Chromatography. *Molecules*, 16: 8919-8929.
- Aldana, J.; Cure, J. R.; Almanza, M. T.; Vecil, D. y Rodríguez, D. 2007. Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Colombia. Agronomía Colombiana* 25:62-72.
- Amruthraj, N. J.; J. P. Preetam R; S. Saravanan; L. A. Lebel. 2014. In Vitro Studies on Anticancer Activity of Capsaicinoids from *Capsicum chinense* Against Human Hepatocellular Carcinoma Cells. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6 (4): 254-258.
- Armenta-Bojórquez, A. D.; G. A. Baca-Castillo; G. Alcántar-González; J. Kohashi-Shibata; J. G. Valenzuela-Ureta; A. Martínez-Garza. 2001. Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 7: 61-75.
- Berny-Mier y Terán, J. C.; L. Abdala-Roberts; A. Durán-Yáñez; F. Tut-Pech. 2013. Variación en resistencia a insectos herbívoros y virosis en líneas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en Yucatán, México. *Agrociencia* 47: 471-482.
- Borges-Gómez, L.; L. Cervantes C.; J. Ruiz N.; M. Soria F.; V. Reyes O.; E. Villanueva C. 2010. Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Terra Latinoamericana* 28: 35-41.
- Borges-Gómez, L.; C. Moo-Kauil; J. Ruíz-Novelo; M. Osalde-Balam; C. González-Valencia; C. Yam-Chimal; F. Can-Puc. 2014. Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: características físicas y químicas predominantes. *Agrociencia* 48:347-359.
- Castro-Concha, L. A.; J. Tuyub-Che; A. Moo-Mukul; F. A. Vázquez-Flota; M. L. Miranda-Ham. 2014. Antioxidant Capacity and Total Phenolic Content in Fruit

- Tissues from Accessions of *Capsicum chinense* Jacq. (Habanero Pepper) at Different Stages of Ripening. *The Scientific World Journal*, 2014: 1-5.
- Cázares-Sánchez, E.; P. Ramírez-Vallejo; F. Castillo-González; R. M. Soto-Hernández; M. T. Rodríguez-González; J. L. Chávez-Servia. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia*, 39: 627-638.
- Chamú-Baranda, J. A.; A. López-Ordaz; C. Ramírez-Ayala; C. Trejo-López; E. Martínez-Villegas. 2011. Respuesta del pimiento morrón al secado parcial de la raíz en hidroponía e invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 97-110.
- Chan C., N.; E. Sauri D.; L. Olivera C.; J. I. Rivas B. 2011. Evaluación de la calidad en la industrialización del chile habanero (*Capsicum chinense*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 12 (2): 222-226.
- Chanthai, S.; J. Juangsamoot; C. Ruangviriyachai; S. Techawongstien. 2012. Determination of Capsaicin and Dihydrocapsaicin in Some Chilli Varieties using Accelerated Solvent Extraction Associated with Solid-Phase Extraction Methods and RP-HPLC-Fluorescence. *E-Journal of Chemistry*, 9 (3): 1550-1561.
- Cisneros-Pineda, O.; L. W. Torres-Tapia; L. C. Gutiérrez-Pacheco; F. Contreras-Martín; T. González-Estrada; S. R. Peraza-Sánchez. 2007. Capsaicinoids quantification in chili peppers cultivated in the state of Yucatan, Mexico. *Food Chemistry* 104: 1755-1760.
- Cruz H., N.; F. Sánchez del C.; J. Ortiz C.; M. del C. Mendoza C. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y periodo de cosecha en chile pimiento. *Agricultura Técnica en México* 35: 73-80.
- Cruz C., J. M.; J. L. Medina A.; F. A. Larqué S. 2012. Efecto de aspersiones del dimetilsulfóxido en la productividad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (4): 785-788.
- Garcés-Claver, A.; M. S. Arnedo-Andrés; J. Abadía; R. Gil-Ortega; A. Álvarez-Fernández. 2006. Determination of Capsaicin and Dihydrocapsaicin in Capsicum Fruits by Liquid Chromatography-Electrospray/Time-of-Flight Mass Spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 9303-9311.

- Graillet J., E. M.; J. A. Hernández H.; L. C. Alvarado G.; A. Rutereta A. 2014. Evaluación de cuatro reguladores de crecimiento en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) en Acayucan, Veracruz. México. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2 (4): 748-755.
- Guzmán-Antonio, A.; L. Borges-Gómez; L. Pinzón-López; E. Ruiz-Sánchez; J. Zúñiga-Aguilar. 2012. Efecto del ácido salicílico y la nutrición mineral sobre la calidad de plántulas de chile habanero. *Agronomía Mesoamericana* 23 (2): 247-257.
- Hernández R., J.; O. Martínez V.; P. Quinto D.; J. Cuevas D.; R. Acosta O.; O. Aguilar J.; 2010. Secado del chile habanero con energía solar. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 10 (2): 120-127.
- Jaimez, R. E.; N. Nava; Y. Rivero; K. Trompiz. 2002. Efecto de diferentes intensidades de poda sobre la dinámica de floración y producción de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq). *Revista de la Facultad de Agronomía* 19: 132-139.
- Jaimez, R.; B. Añez; W. Espinoza. 2010. Desfloración: su efecto sobre el aborto de estructuras reproductivas y rendimiento en pimentón (*Capsicum annum* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 27: 418-432.
- Jarret, R. L.; Berke, T.; Baldwin, E. A.; Antonious, G. F. 2009. Variability for Free Sugars and Organic Acids in *Capsicum chinense*. *Chemistry & Biodiversity* 6: 138-145.
- Kempaiah, R. K.; H. Manjunatha; K. Srinivasan. 2005. Protective Effect of Dietary Capsaicin on Induced Oxidation of Low-Density Lipoprotein in Rats. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 275: 7-13.
- Kirschbaum-Titze, P.; C. Hiepler; E. Mueller-Seitz, M. Petz. 2002. Pungency in Paprika (*Capsicum annum*). 1. Decrease of Capsaicinoid Content Following Cellular Disruption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 1260-1263.
- Lo, Y. C.; Y. C. Yang; I. C. Wu; F. C. Kuo; C. M. Liu; H. W. Wang; C. H. Kuo; J. Y. Wu; D. C. Wu. 2005. Capsaicin-Induced Cell Death in a Human Gastric Adenocarcinoma Cell Line. *World Journal of Gastroenterology*, 11 (40): 6254-6257.
- López-Arcos, M.; J. E. Poot-Matu; M. A. Mijangos-Cortez. 2012. Respuesta de del chile habanero (*Capsicum chinense* L. Jacq.) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12 (2): 307-312.

- López-Valencia, M.; F. Sánchez-del Castillo; E. Contreras-Magaña. 2002. Efecto de Cycocel y B-9 sobre plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) manejadas a dos racimos. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 8 (2): 161-170.
- Lugo-Jiménez, N.; M Carballo-Bautista; E. Sauri-Duch; A. Centurión-Yah; E. Tamayo-Canul. 2010. Efecto del sistema de cultivo sobre la calidad microbiológica del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) después de su cosecha. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 11 (2): 171-179.
- Macías R., H.; J. A. Muñoz V.; M. A. Velásquez V.; M. C. Potisek T.; M. M. Villa C. 2013. Chile habanero: descripción de su cultivo en la península de Yucatán. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 12 (2): 37-43.
- Madriz, P.; D. Jáuregui; R. Warnock. 2008. Aborción de óvulos y semillas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y caracterización de anomalías morfoanatómicas, en dos cultivares en dos localidades de Venezuela. *Interciencia* 33 (12): 910-915.
- Medina-Lara, F.; I. Echevarría-Machado; R. Pacheco-Arjona; N. Ruiz-Lau; A. Guzmán-Antonio; M. Martínez-Estevez. 2008. Influence of Nitrogen and Potassium Fertilization on Fruiting and Capsaicin Content in Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *HortScience* 43 (5): 1549-1554.
- Mohammad, R.; M. Ahmad; L. Y. Heng. 2013. An Amperometric Biosensor Utilizing a Ferrocene-Mediated Horseradish Peroxidase Reaction for the Determination of Capsaicin (Chili Hotness). *Sensors*, 13: 10014-10026.
- Morán-Bañuelos, S. H.; V. H. Aguilar-Rincón; T. Corona-Torres; F. Castillo-González; R. M. Soto-Hernández; R. San Miguel-Chávez. 2008. Capsaicinoides en Chiles Nativos de Puebla, México. *Agrociencia*, 42: 807-816.
- Moreno, E.; T. Russián L.; C. Ruiz S. 2012. Uso de la poda para extender el ciclo productivo del cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.). *Revista científica UDO Agrícola* 12 (3): 559-562.
- Mori, A.; S. Lehmann; J. O'Kelly; T. Kumagai; J. C. Desmond; M. Pervan; W. H. McBride; M. Kizaki; H. P Koeffler. 2006. Capsaicin, a Component of Red Peppers, Inhibits the Growth of Androgen-Independent, p53 Mutant Prostate Cancer Cells. *Cancer Research*, 66: 3222-3229.

- Musfiroh, I.; M. Mutakin; T. Angelina; M. Muchtaridi. 2013. Capsaicin Level of Various Capsicum Fruits. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5: 248-251.
- Navarro, J. M.; Flores, P.; Garrido, C. y Martínez, V. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. España. *Food Chemistry*. 96:66-73.
- Noh-Medina, J.; L. Borges-Gómez; M. Soria-Fregoso. 2010. Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12 (2): 219-228.
- Nwokem, C. O.; E. B. Agbaji; J. A. Kagbu; E. J. Ekanem. 2010. Determination of Capsaicin Content and Pungency Level of Five Different Peppers Grown in Nigeria. *New York Science Journal*, 3 (9): 17-21.
- Pacho-Carrillo, J. D.; R. M. Domínguez-Espinosa; C. G Cantón; A. Ponsich; R. Turner; G. Manzanilla; 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. *Tecnología, Ciencia y Educación (IMIQ)* 17 (2): 95-103.
- Patiño-Torres, A. J. y R. E Jaimez-Arellano. 2016. Relación Fuente-Fuerza de la demanda en el aborto de estructuras reproductivas, tasa fotosintética y rendimiento en *Capsicum annuum*. *Agrociencia* 50 (5): 649-664.
- Pereira F., M.; A. P. C. Rocha de Castro; J. S. Nascimento. 2012. Analgésicos Tópicos. *Revista Brasileira de Anestesiología* 62 (2): 244-252.
- Pérez-Barraza, M. H.; J. A. Osuna-García; R. Sánchez-Lucio; V. Vázquez-Valdivia. 2011. El paclobutrazol como promotor de la floración en mango 'manila', aun sin condiciones ambientales inductivas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17: 47-51.
- Pérez-Gutiérrez, A.; A. Pineda-Doporto; L. Latournerie-Moreno; W. Pam-Pech; C. Godoy-Ávila. 2008. Niveles de evapotranspiración potencial en la producción de chile habanero. *Terra Latinoamericana* 26: 53-59.
- Ponce V., J. J.; A. Peña-Lomelí; J. E. Rodríguez-Pérez; R Mora-Aguilar; R. Castro-Brindis; N. Magaña L. 2012. Densidad y Poda en Tres Variedades de Tomate

- de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horm.) Cultivado en Invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18 (3): 325-332.
- Prado U., G. 2006. Tecnología de Producción Comercial de Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Gobierno del Estado de Tabasco. 35 p.
- Ramírez, H.; O. Méndez-Paredes; A. Benavides-Mendoza; C. Amado-Ramírez. 2009. Influencia de Prohexadiona-Ca y Promotores de Oxidación sobre el Rendimiento, Capsaicina y Vitamina C en Chile Jalapeño. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15 (3): 231-236.
- Ramírez, H.; C. Amado-Ramírez; A. Benavides-Mendoza; V. Robledo-Torres; A. Martínez-Osorio. 2010. Prohexadiona-Ca, AG3, ANOXA y BA modifican indicadores fisiológicos y bioquímicos en chile mirador. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16 (2): 83-89.
- Ramírez-Luna, E.; C. de la C. Castillo-Aguilar; E. Aceves-Navarro; E. Carrillo-Ávila. 2005. Efecto de Productos con Reguladores de Crecimiento Sobre la Floración y Amarre de Fruto en Chile 'Habanero'. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 93-98.
- Ramos-Gourcy, F.; A. Luna-Jiménez. 2006. Evaluación de tres variedades de chile (*Capsicum annum* L.) en cuatro concentraciones de una solución hidropónica bajo invernadero. *Investigación y Ciencia* 14 (34): 6-11.
- Reséndiz-Melgar R. C., E. C. Moreno-Pérez, F. Sánchez-Del Castillo, J. E. Rodríguez-Pérez y A. Peña-Lomelí (2010) Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16: 223-229.
- Reyes-Escogido, M. L.; E. G. González-Mondragón; E. Vazquez-Tzompantzi. 2011. Chemical and Pharmacological Aspects of Capsaicin. *Molecules*, 16: 1253-1270.
- Ruiz S., E.; O. Aguilar O.; J. Cristóbal A.; J. Tun S.; L. Latournerie M.; A. Pérez G. 2009. Comparación de la efectividad de un insecticida botánico y dos químicos convencionales en el control del picudo (*Anthonomus eugenii* Cano) (Coleóptera: Curculionidae) en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Fitosanidad* 13 (2): 117-120.

- Sánchez del Castillo, F.; Moreno-Pérez, E. C.; Reséndiz-Melgar, E. C.; Colinas-León, M. T.; Rodríguez-Pérez, J. E. 2017. Producción de pimiento morrón (*Capsium annuum* L.) en ciclos cortos. *Agrociencia* 51 (4): 437-446.
- Sandoval-Rangel, A.; A. Benavides-Mendoza; M. A. Alvarado-Vázquez; R. Foroughbakhch-Pournavab; M. A. Nuñez-González; V. Robledo-Torres. 2011. Influencia de ácidos orgánicos sobre el crecimiento, perfil bromatológico y metabolitos secundarios en chile piquín. *Terra Latinoamericana* 29: 395-401.
- SIAP. 2018. Anuario estadístico de la producción agrícola. [En línea] disponible en: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/ (Consultado el 14 de mayo 2018).
- Steiner, A. A. 1984. The universal solution. ISOSC. pp. 633-649. In: Proceedings of 6th International Congress on Soilles Culture. Lunteren, The Netherlands.
- Supalkova, V.; H. Stavelikova; S. Krizkova; V. Adam; A. Horna; L. Havel; P Ryant; P Babula; R. Kizek. 2007. Study of Capsaicin Content in Various Parts of Pepper Fruit by Liquid Chromatography with Electrochemical Detection. *Acta Chimica Slovenica*, 54: 55–59.
- Tapia-Vargas, M.; A. Larios-Guzmán; D. Díaz-Sánchez; G. Ramírez-Ojeda; A. Hernández-Perez; I. Vidales-Fernández; H. Guillén-Andrade. 2016. Producción hidropónica de chile habanero negro (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Fitotecnica Mexicana* 39 (3): 241-245.
- Trejo-Téllez, L. I.; M. N. Rodríguez-Mendoza; G. Alcántar-González; A. Vázquez-Alarcón. 2003. Fertilización específica para corregir deficiencias nutrimentales en tres tipos de suelo. *Terra Latinoamericana* 21 (3): 365-372.
- Trinidad S., A. y D. Aguilar M. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *TERRA* 17 (3): 247-255.
- Tucuch-Haas, C. J.; Alcántar-González, G.; Ordaz-Chaparro, V. M.; Santizo-Rincón, J. A. y Larqué-Saavedra, A. 2012. Producción y Calidad de Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y tamaño de partícula de sustratos. México. *Terra Latinoamericana*. 30:9-15.
- Tun D., J. de la C. 2001. Chile Habanero. Características y Tecnología de Producción. SAGARPA-INIFAP. 74 p.

- Usman, M. G.; M. Y. Rafii; M. R. Ismail; M. A. Malek; M. A. Latif. 2014. Capsaicin and Dihydrocapsaicin Determination in Chili Pepper Genotypes Using Ultra-Fast Liquid Chromatography. *Molecules*, 19: 6474-6488.
- Vázquez-Flota, F.; M. L. Miranda-Ham; M. Monforte-González; G. Gutiérrez-Carbajal; C. Velázquez-García; Y. Nieto-Pelayo. 2007. La Biosíntesis de Capsaicinoides, el Principio Picante del Chile. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30 (4): 353-360.
- Zewdie, Y. and P. W. Bosland. 2000. Pungency of Chile (*Capsicum annuum* L.) Fruit is Affected by Node Position. *HortScience*, 35 (6): 1174.

CAPÍTULO 2

RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) POR EFECTO DEL RÉGIEN NUTRIMENTAL

2.1 RESUMEN

Con la finalidad de evaluar el efecto de diez regímenes nutrimentales en chile habanero cultivado en un sistema hidropónico bajo cubierta plástica, en 2015 se realizó un estudio de abril a septiembre en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Los tratamientos consistieron en tres concentraciones de nitrato en la etapa vegetativa (10, 12 y 14 me L⁻¹), combinadas cada una con tres relaciones de nitrato:fosfato:sulfato en la etapa de floración (14:1.25:4.75, 12:1:7 y 14:1.25:4.75 me L⁻¹) y con tres relaciones nitrato/potasio en la etapa de fructificación (14:5, 14:5 y 12:7 me L⁻¹). Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con diez repeticiones cada uno. El suministro de las soluciones nutritivas fue mediante riego por goteo, con caudal de 8 L/hora. Se aplicaron 8 riegos diarios, con un tiempo de 1 min/riego al inicio del desarrollo del cultivo y hasta 4 min/riego en la etapa de fructificación. La unidad experimental fue un contenedor de polietileno negro con capacidad para 15.14 L, con grava de tezontle rojo como sustrato y una planta. Los resultados indicaron que por efecto del régimen nutrimental de 14 me L⁻¹ de NO₃⁻ (etapa vegetativa), 14:1.25:4.75 me L⁻¹ de NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻ (etapa de floración) y 14:5 me L⁻¹ de NO₃⁻:K⁺ (etapa de fructificación), hubo un incremento en el número de flores/planta, número de frutos/planta y rendimiento, el cual fue de 1054 g/planta en seis cortes de fruto, 33 % superior al rendimiento obtenido de las plantas que se nutren con solución Steiner durante todo el ciclo de cultivo, mientras que la acumulación de materia seca también fue superior en 20.3 %.

Palabras clave: solución nutritiva, fenología, etapa vegetativa, floración, fructificación.

2.2 SUMMARY

With the purpose of evaluating the effect of ten nutritional regimes in habanero chili cultivated in a hydroponic system under plastic cover, in 2015 a study was carried out from April to September in the experimental field of the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Morelos. The treatments consisted of three nitrate concentrations in the vegetative stage (10, 12 and 14 meq L⁻¹), combined with three nitrate/phosphate/sulfate ratios in the flowering stage (14:1.25:4.75, 12:1:7 and 14:1.25:4.75 meq L⁻¹) and with three nitrate:potassium ratios in the fruiting stage (14:5, 14:5 and 12:7 meq L⁻¹). The treatments were distributed in a completely randomized design with ten replicates each. The supply of nutrient solutions was by drip irrigation, with a flow rate of 8 L/hour. Eight irrigations were applied daily, with a time of 1 min/irrigation at the beginning of the crop development and up to 4 min/irrigation in the fruiting stage. The experimental unit was a black polyethylene container with a capacity of 15.14 L, with red tezontle gravel as a substrate and a plant. The results indicated that due to the nutritive regime of 14 meq L⁻¹ of NO₃⁻ (vegetative stage), 14:1.25:4.75 meq L⁻¹ de NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻ (flowering stage) and 14:5 meq L⁻¹ of NO₃⁻:K⁺ (fruiting stage), there was an increase in the number of flowers/plant, number of fruits/plant and yield, which was 1054 g/plant in six cuts of fruit, 33 % higher than yield of the plants that are fed with Steiner solution during the whole crop cycle, while the accumulation of dry matter was also higher in 20.3 %.

Keywords: nutrient solution, phenology, vegetative stage, flowering, fruiting.

2.3 INTRODUCCIÓN

El chile habanero tiene gran importancia económica por ser uno de los vegetales que en la actualidad es demandado en el mercado nacional e internacional no sólo como alimento, sino también por ser una fuente excelente de colorantes naturales y compuestos fitoquímicos benéficos para la salud tales como los capsaicinoides (Navarro *et al.*, 2006; Ruiz *et al.*, 2009; Chan *et al.*, 2011). Esta propiedad del fruto ha sido clave para su producción, ya que los capsaicinoides pueden ser ampliamente utilizados en la medicina, cosméticos, pinturas, gas lacrimógeno, entre otros (Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2008).

Se cultiva generalmente por el sistema tradicional en campo a cielo abierto, sin embargo, con este sistema el cultivo es afectado de forma negativa por diversos factores ambientales, capaces de reducir la calidad del producto, el rendimiento y la rentabilidad del cultivo (Lugo-Jiménez *et al.*, 2010). Además, las características propias del chile habanero como el sabor, aroma, pungencia, color y vida de anaquel, dependen de las condiciones del clima, suelo y ubicación de la región (Borges-Gómez *et al.*, 2014).

Algunas recomendaciones generadas sobre los requerimientos nutrimentales de *Capsicum chinense*, sobre todo cuando el cultivo se establece a cielo abierto, señalan el uso de dosis de fertilización para obtener los mejores rendimientos (Noh-Medina *et al.*, 2010). Sin embargo, los resultados de la fertilización en campo no son del todo satisfactorios ya que esto depende del tipo de suelo y sus características (Borges-Gómez *et al.*, 2014).

Tucuch-Haas *et al.* (2012), señalan que con la relación 0 % NH_4^+ :100 % NO_3^- , considerando la solución nutritiva universal (Steiner, 1984), se obtienen plantas de mayor altura y de mayor diámetro de tallo hasta durante del ciclo de cultivo, mientras que con 20 % NH_4^+ :80 % NO_3^- se incrementa el rendimiento y calidad de frutos, sin embargo, el suministro de N en forma de NH_4^+ en proporciones crecientes afecta de

forma negativa el contenido de capsaicina en los frutos, la cual tiende a disminuir en cosechas subsecuentes. Por su parte, Armenta–Bojórquez *et al.* (2001) indican que en el cultivo de tomate, para evitar excesos de algunos nutrimentos en las plantas que afecten su desarrollo, la concentración estos en la solución nutritiva deben ser de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo, logrando además disminuir los costos de fertilización.

A pesar de la importancia del chile habanero, pocas investigaciones se han realizado en condiciones de cultivo que puedan afectar su productividad y la calidad del fruto. Tal es el caso de la nutrición mineral, que para *Capsicum annum* se conoce ampliamente, pero no así para *Capsicum chinense* (Medina-Lara *et al.*, 2008). Con base en lo anterior, es importante evaluar el suministro de nutrimentos en el cultivo de chile habanero de acuerdo con la etapa fenológica.

Objetivo

Determinar el régimen nutrimental que permita optimizar el desarrollo de la planta, el rendimiento y la calidad del fruto de chile habanero cultivado bajo cubierta plástica en un sistema hidropónico.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en un invernadero del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (18°58'51" N, 99°13'57" O, 1868 msnm) en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México, durante los meses de abril-septiembre del 2015.

2.4.2 Material vegetal

Para la producción de plántulas se sembraron semillas de chile habanero 'Jaguar' en charolas de polietileno. Esta variedad presenta plantas con altura de 80-90 cm en campo abierto y hasta 1.80 m en sistemas de agricultura protegida con tutoreo; de 70 a 85 días a floración y de 115 a 120 días a la primera cosecha. Tiene de una a tres flores por nudo, las cuales pueden dar la misma cantidad de frutos. Presenta frutos uniformes de color verde esmeralda en madurez fisiológica que pasan a anaranjado intenso en la madurez total, alcanzando un valor de matiz (Hue) de 54. Los frutos tienen una longitud de 3.8 a 5.5 cm, diámetro de 2.5 a 3.0 cm y de 6.5 a 10 g de peso, con rendimientos que oscilan de 18.3 hasta 36 t ha⁻¹ (Ramírez *et al.*, 2012).

2.4.3 Manejo del experimento

Se elaboraron 10 regímenes nutrimentales para el chile habanero (Cuadro 1). Éstos consistieron en modificar las concentraciones de nitrato (NO_3^-) en la etapa vegetativa, la cual comprendió desde el trasplante hasta que el 50 % de las plantas presentaron la primera flor. Posteriormente se modificaron las relaciones nitrato:fosfato:sulfato ($\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$) en la etapa de floración, que abarcó desde que el 50 % de las plantas presentó la primera flor hasta que el 50 % de las plantas tuvieron el primer fruto con una longitud de $10 \pm 1\text{mm}$. Finalmente, en la etapa de fructificación se modificó la relación nitrato:potasio ($\text{NO}_3^-:\text{K}^+$), ésta comprendió desde que los primeros

frutos tuvieron 10 ± 1 mm de longitud hasta el término de la cosecha. Estas modificaciones se hicieron manteniendo las relaciones mutuas entre aniones y entre cationes como lo señala Steiner (1984) con la relación 12:1:7:7:9:4 me L⁻¹ de NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻:K⁺:Ca²⁺:Mg²⁺ respectivamente. Además, cada régimen se formuló con los micronutrientes Fe (Fe-EDTA), B (H₃BO₃), Mn (MnCl₂), Zn (ZnSO₄), Cu (CuSO₄) y Mo (H₂MoO₄) en concentraciones de 5, 2.88, 1.81, 0.22, 0.18, 0.02 mg L⁻¹ respectivamente. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento y se aplicó la solución Steiner al 100 % en todo el ciclo de cultivo como tratamiento testigo. La unidad experimental fue una bolsa de polietileno color negro de 25.5 cm de diámetro por 30 cm de altura con capacidad para 15.14 L, llena de tezontle rojo en granulometría ≤ 1 cm de diámetro, considerado un sustrato inerte desde el punto de vista químico (Ojodeagua *et al.*, 2008). En cada bolsa se colocó una plántula de chile habanero, tomando como parámetro para el trasplante cuando éstas tuvieron el cepellón bien desarrollado y con diez hojas verdaderas, la décima con 5 ± 1 mm de longitud. Los riegos se realizaron mediante un sistema de riego por goteo (con gotero autocompensable marca Netafim y caudal de 8 L por hora), programando con un temporizador ocho riegos diarios, con una duración de 1 min cada riego los primeros días después del trasplante y aumentando el tiempo de riego conforme la planta requirió durante su crecimiento (llegando hasta 4 minutos por cada riego en la etapa de fructificación).

Para prevenir el ataque de plagas y enfermedades se utilizaron productos químicos. Se aplicó Confidor[®] (i.a. Imidacloprid) a una dosis de 2 mL L⁻¹ para prevenir la aparición de posibles plagas como mosca blanca o trips (*Bemisia sp.*, *Trialeurodes sp.*, *Frankliniella spp*, *Liryomisa sp.*) y Promyl[®] (i.a. Benomilo) 2 g L⁻¹, para prevenir de enfermedades como cenicilla (*Oidium spp*), antracnosis (*Colletotrichum phomoides*), mancha de la hoja (*Septoria lycopersici*) o pudriciones (*Botrytis cinerea*).

Cuadro 1. Regímenes nutrimentales evaluados en plantas de chile habanero.

Régimen nutrimental	E. Vegetativa	E. Reproductiva	E. de Fructificación
	NO ₃ ⁻ (me L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ :H ₂ PO ₄ ⁻ :SO ₄ ²⁻ (me L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ :K ⁺ (me L ⁻¹)
1	10	14:1.25:4.75	14:5
2	10	12:1:7	14:5
3	10	14:1.25:4.75	12:7
4	12	14:1.25:4.75	14:5
5	12	12:1:7	14:5
6	12	14:1.25:4.75	12:7
7	14	14:1.25:4.75	14:5
8	14	12:1:7	14:5
9	14	14:1.25:4.75	12:7
10*	12	12:1:7	12:7

Diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones.

(*) Solución universal Steiner como tratamiento testigo

2.4.4 Variables de respuesta

Se midió la altura de la planta con una cinta métrica, desde la base del tallo hasta el ápice del tallo más largo; el diámetro del tallo se midió con un vernier de caratula tipo reloj y se obtuvo de la base del tallo principal, a 2 cm por encima del sustrato; el contenido de clorofila se midió con un SPAD-502 (Konica Minolta) considerando la quinta hoja después del ápice de cada tallo; el área foliar se determinó con un integrador de área foliar (LI-COR, LI3100C). La resistencia mecánica del tallo se obtuvo con un texturómetro Shimadzu Ez Test, tomando como punto para la medición el primer entrenudo de cada tallo secundario, y una penetración de 3 mm con un puntal cónico; el peso de materia fresca y seca de hoja, tallo y raíz se obtuvo con una báscula digital ADAM Core CQT5000. Para obtener el peso de materia seca, los diferentes órganos de la planta (tallo, hoja y raíz) se metieron en bolsas de papel estraza y se pusieron a secar en una estufa de circulación forzada de aire a una temperatura de 65

°C hasta que el peso de la materia seca se mantuvo estable. Para contabilizar el número de flores por planta, se tomó como parámetro para todas las plantas, las primeras cuatro bifurcaciones de cada tallo secundario y de ahí mismo se obtuvo el porcentaje de aborto floral. El volumen de raíz se midió con una probeta graduada de 2 L y aforando a 1 L, para lo cual se introdujo la raíz al agua y la diferencia de volúmenes fue la correspondiente al órgano involucrado. Las primeras tres variables se analizaron durante el desarrollo del cultivo, las variables sobre la calidad del fruto se analizaron después de cada corte de fruto y las variables destructivas se analizaron a los 170 días después del trasplante (DDT).

Los frutos se empezaron a cosechar a los 133 DDT cuando presentaron el color anaranjado intenso, realizando un corte por semana hasta un lapso de seis semanas. Una vez cosechados, los frutos de cada planta se contaron y se pesaron en una báscula digital ADAM Core CQT5000. El peso total se dividió entre el número de frutos de cada planta y se obtuvo el peso promedio por fruto. La longitud del fruto se midió desde el pedúnculo hasta el ápice del fruto con un vernier de caratula tipo reloj al igual que el diámetro en la parte media del fruto. El color del fruto se obtuvo con un espectrofotómetro portátil X-Rite SP-60. Mientras que el rendimiento por planta se obtuvo con la suma de lo cosechado durante el lapso de seis semanas.

2.4.5 Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza con el programa SAS (Versión 9.0) y a los datos con efecto de tratamientos se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey ($P \leq 0.05$).

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la mayoría de las variables evaluadas, los resultados indicaron que por lo menos un tratamiento fue estadísticamente distinto al resto de los tratamientos cuando las plantas se nutrieron con base a su etapa fenológica, comparadas con las que se regaron con la misma solución nutritiva (solución Steiner) durante todo el ciclo de cultivo.

Por efecto del régimen nutrimental 14 (NO_3^-), 12:1:7 ($\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$) y 14:5 ($\text{NO}_3^-:\text{K}^+$) me L^{-1} en las etapas vegetativa, reproductiva y de fructificación respectivamente, la altura de las plantas fue de 122.8 cm a los 169 DDT (Cuadro 2). También por efecto del mismo régimen, hubo diferencias significativas en el diámetro del tallo principal, así como en el área foliar, donde también el régimen de 14 (NO_3^-), 14:1.25:4.75 ($\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$) y 14:5 ($\text{NO}_3^-:\text{K}^+$) me L^{-1} , provocó un aumento del área foliar comparado con el resto de los tratamientos, logrando además el mayor número de flores por planta (57 flores/planta) hasta la cuarta bifurcación de cada tallo secundario. Sin embargo, con estos regímenes se obtuvieron los porcentajes más altos en aborto de flor, llegando hasta 54.5 % (Cuadro 2). Ramírez-Luna *et al.* (2005), señalan que en Chile habanero existe un 40 % de aborto de flor, el cual puede disminuir con la aplicación de reguladores de crecimiento como las giberelinas, que bajo condiciones ambientales específicas de luz y temperatura inducen la formación de flores. Por su parte, Medina-Lara *et al.* (2008), reportan hasta 85 % de aborto de flor en Chile habanero, atribuyendo ésta pérdida a deficiencias de nitrógeno. Sin embargo, Cruz *et al.* (2012) señalan que las temperaturas altas provocan trastornos fisiológicos en plantas de Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) ocasionando un elevado aborto de flores. De igual forma, Jaimez *et al.* (2010) reportan el mismo efecto en pimentón (*Capsicum annuum*) pero argumentan que el fenómeno se debe a una afectación del proceso de germinación del polen y del tubo polínico, además de que este proceso también puede ser diferente entre cultivares.

Cuadro 2. Características morfológicas, resistencia del tallo al daño mecánico, concentración de clorofila y aborto de flor en respuesta a los diferentes regímenes nutrimentales del chile habanero.

Régimen nutrimental (me L ⁻¹)			AP (cm)	DTP (mm)	AF (cm ²)	RMT (N)	CRC (SPAD)	NFP	ADF (%)
NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ :H ₂ PO ₄ ⁻ :SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻ :K ⁺							
10	14:1.25:4.75	14:5	115.2 ab	18.3 c	10577 b	77.3 a	71.1 c	44.2 ac	35.9 bd
10	12:1:7	14:5	110.2 ab	19.8 ac	12861 ab	75.7 a	71.7 c	43.2 bc	19.7 d
10	14:1.25:4.75	12:7	102.4 b	19.6 bc	11630 ab	77.2 a	73.3 bc	41.8 bc	48.8 ab
12	14:1.25:4.75	14:5	105.8 b	19.3 bc	14100 ab	78.6 a	73.3 bc	54.8 ab	21.1 cd
12	12:1:7	14:5	111.6 ab	19.1 bc	13701 ab	73.6 a	72.3 bc	47 a-c	31.7 bd
12	14:1.25:4.75	12:7	115.8 ab	18.9 c	15666 ab	73.5 a	73.4 bc	37.4 c	22.2 cd
14	14:1.25:4.75	14:5	115.4 ab	20.9 ab	18277 a	74.6 a	75.6 ab	57 a	47.6 ab
14	12:1:7	14:5	122.8 a	21.5 a	18794 a	75.4 a	70.7 c	49.6 ac	54.5 a
14	14:1.25:4.75	12:7	106.2 b	19.6 bc	10546 b	76.3 a	75.5 ab	43.2 bc	31.8 bd
12*	12:1:7*	12:7*	106.8 b	19.6 bc	12396 ab	74.8 a	78.4 a	43.8 ac	37.2 bc
CV (%)			6.00	4.43	18.47	3.21	2.34	6.75	23.26

AP (Altura de Planta); DTP (Diámetro de Tallo Principal); AF (Área Foliar); RMT (Resistencia Mecánica del Tallo); CRC (Contenido Relativo de Clorofila); NFP (Número de Flores por Planta); ADF (Aborto de Flor); (*) Solución Steiner como Tratamiento Testigo; CV (Coeficiente de Variación). Medias con la misma literal son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

En el volumen de la raíz también se encontraron diferencias estadísticas entre los diferentes tratamientos (Cuadro 3), sobresaliendo el régimen 14 (NO₃⁻), 14:1.25:4.75 (NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻) y 14:5 (NO₃⁻:K⁺) me L⁻¹, con un volumen 20 % mayor que el volumen de raíz producido por la solución Steiner. Además, el peso total de materia seca resultó mayor cuando las plantas se nutrieron con éste mismo régimen. Del peso total de materia seca por planta, el 29 % correspondió a las hojas, el 53 % al tallo y el 18 % a la raíz (Cuadro 3).

De acuerdo con Peil y Gálvez (2005), en las condiciones de cultivo en substratos artificiales bajo invernadero, con un aporte de agua y nutrientes próximos al óptimo, se puede lograr un crecimiento máximo de las plantas con un sistema radical reducido. En el caso del pepino, esta fracción varía entre un 8 % y un 15 %, en la etapa de

crecimiento vegetativa; y entre un 3 % y 7 % durante la etapa reproductiva. En el caso del tomate, la fracción de materia seca destinada a las raíces varía entre un 17 % y un 20 % en etapa vegetativa; y entre un 1% y un 10 % en el estadio reproductivo. Por su parte, Peña y Zenner (2015) señalan que altos porcentajes de materia seca de la parte aérea de las plantas de *Capsicum annuum* indican mayor número de hojas, fuente y producción de fotoasimilados para el llenado de los órganos exigentes.

Cuadro 3. Volumen de raíz y peso de materia seca de los diferentes órganos de la planta por efecto de los distintos regímenes nutrimentales.

Régimen nutrimental (me L ⁻¹)			VR (cm ³)	PMSH (g)	PMST (g)	PMSR (g)	PMSTotal (g)
NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ :H ₂ PO ₄ ⁻ :SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻ :K ⁺					
10	14:1.25:4.75	14:5	356.6 ab	77.5 b	178.9 ab	62.7 ab	319.13 ab
10	12:1:7	14:5	323.3 ab	97.6 ab	204.3 ab	62.8 ab	364.7 ab
10	14:1.25:4.75	12:7	293.3 b	90.8 ab	196.57 ab	57.6 ab	344.97 ab
12	14:1.25:4.75	14:5	306.6 ab	106.5 ab	146.1 b	57.8 ab	310.43 ab
12	12:1:7	14:5	330 ab	102.4 ab	180.8 ab	60.7 ab	343.97 ab
12	14:1.25:4.75	12:7	300 ab	110.3 ab	201.1 ab	62.6 ab	374.07 ab
14	14:1.25:4.75	14:5	383.3 a	119.6 a	217.7 a	73.7 a	411.03 a
14	12:1:7	14:5	366.6 ab	118.3 a	213 ab	70 a	401.3 a
14	14:1.25:4.75	12:7	283.3 b	83.5 ab	153.9 ab	52.3 b	289.7 b
12*	12:1:7*	12:7 *	306.6 ab	96.8 ab	169.5 ab	61 ab	327.37 ab
CV (%)			9.00	12.68	13.11	9.42	10.52

VR (Volumen de Raíz); PMSH (Peso de Materia Seca de Hoja); PMST (Peso de Materia Seca de Tallo); PMSR (Peso de Materia Seca de Raíz); PMSTotal (Peso de Materia Seca Total); (*) Solución Steiner como Tratamiento Testigo; CV (Coeficiente de Variación). Medias con la misma literal son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Hubo un incremento en la cantidad de frutos por planta (Figura 1) así como en el rendimiento (Figura 2) por efecto del régimen nutrimental donde el nitrógeno en las tres etapas fenológicas y el fósforo en la etapa de floración fueron superiores a la solución Steiner. Con el régimen 14 (NO₃⁻), 14:1.25:4.75 (NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻) y 14:5

(NO₃⁻:K⁺) me L⁻¹ en las etapas vegetativa, floración y fructificación respectivamente, se obtuvo 15.5 % más frutos que con solución Steiner en todo el ciclo de cultivo. Mientras que el mayor rendimiento fue de 1054 g/planta, 66.4 % superior al rendimiento obtenido con solución Steiner.

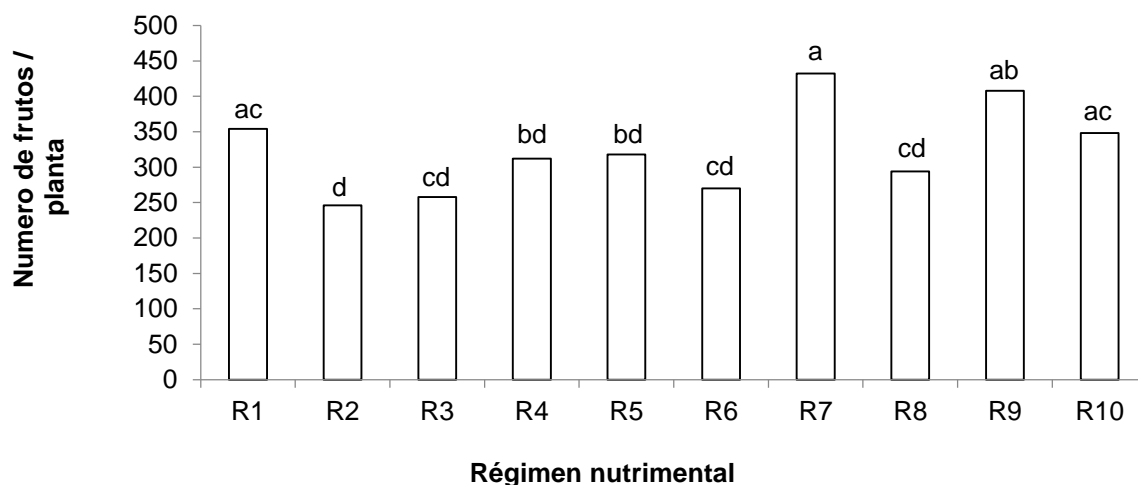


Figura 1. Cantidad de frutos por planta, acumulado en seis cortes de chile habanero. NO₃⁻, 10 me L⁻¹ en R1, R2 y R3, 12 me L⁻¹ en R4, R5, R6 y R10, 14 me L⁻¹ en R7, R8 y R9; más NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻, 14:1.25:4.75 me L⁻¹ en R1, R3, R4, R6, R7 y R9, 12:1:7 me L⁻¹ en R2, R5, R8 y R10; más NO₃⁻:K⁺, 14:5 me L⁻¹ en R1, R2, R4, R5, R7 y R8, 12:7 me L⁻¹ en R3, R6, R9 y R10. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Por su parte, Khan *et al.* (2010), probaron una nutrición con tres concentraciones de fósforo, cuatro de nitrógeno y la interacción de estos dos elementos sobre la cantidad de frutos por planta en *Capsicum annuum* y encontraron que por efecto del mayor nivel de fosforo, al igual que con el mayor nivel de nitrógeno, se incrementó el número de frutos por planta. De igual forma Nieves-González *et al.* (2015), señalan que cuando la concentración de fosfato (1 me L⁻¹) en la solución Steiner se modifica a 1.5 me L⁻¹ se obtiene mayor producción de fruto de chile habanero var. “Big Brother”.

Algo similar en cuanto al mayor aporte de nitrógeno y fósforo, lo reportan Borges-Gómez *et al.* (2010), quienes probaron tres fórmulas nutritivas en suelo de N-P₂O₅-K₂O (240-240-240, 120-120-120 y 000-000-000) junto con tres niveles de humedad edáfica (100, 75 y 50 % de humedad aprovechable) y obtuvieron en 10 cortes de fruto (semanales), un rendimiento promedio de 1391 g planta⁻¹ con la dosis más elevada de fertilizante y el mayor nivel de humedad. Por su parte, Tucuch-Haas *et al.* (2012) reportan que suministrando la solución Steiner con una relación NH₄⁺:NO₃⁻ de 1:9 respectivamente, en tres cortes de fruto se obtiene un rendimiento de chile habanero cv. “Criollo Naranja” de 302 g/planta. Mientras que Nieves-González *et al.* (2015), señalan que con solución Steiner, modificando la concentración de H₂PO₄⁻ a 1.5 me L⁻¹ se logra un rendimiento de chile habanero var. “Big Brother” de 851.71 g/planta.

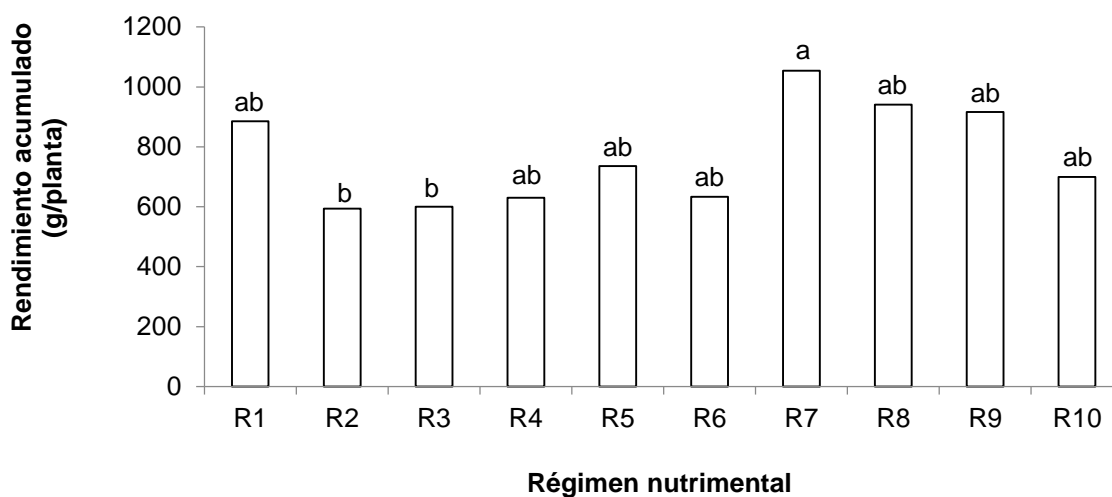


Figura 2. Rendimiento acumulado en seis semanas de corte de chile habanero. NO₃⁻, 10 me L⁻¹ en R1, R2 y R3, 12 me L⁻¹ en R4, R5, R6 y R10, 14 me L⁻¹ en R7, R8 y R9; más NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻, 14:1.25:4.75 me L⁻¹ en R1, R3, R4, R6, R7 y R9, 12:1:7 me L⁻¹ en R2, R5, R8 y R10; más NO₃⁻:K⁺, 14:5 me L⁻¹ en R1, R2, R4, R5, R7 y R8, 12:7 me L⁻¹ en R3, R6, R9 y R10. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

En el presente trabajo, la mejor respuesta en el tamaño y peso del fruto se obtuvo con el régimen 14 (NO₃⁻), 12:1:7 (NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻) y 14:5 (NO₃⁻:K⁺) me L⁻¹ (Cuadro 4), logrando en promedio, frutos de 3.48 cm de longitud, 2.29 cm de diámetro y un peso de 3.45 g/fruto. Por su parte, Tucuch-Haas *et al.* (2012) indican que el tamaño del chile habanero cv. “Criollo Naranja” desarrollado bajo invernadero tiene en promedio 3.58 cm de longitud, 2.47 cm de diámetro y un peso de 5.51 g/fruto, producido en condiciones similares al presente estudio. Mientras que Tapia-Vargas *et al.* (2016) mencionan que el chile habanero negro producido bajo invernadero en un sistema hidropónico y con aplicación de un complejo hormonal (Formax-F®) el tamaño del fruto es de 2.92 cm longitud y 2.44 de diámetro. Sin embargo, de acuerdo con Ramírez *et al.* (2012), la longitud del fruto de chile habanero, variedad ‘Jaguar’ es de 3.8 a 5.5 cm, el diámetro de 2.5 a 3 cm y de 6.5 a 10 g/fruto, no obstante, no se señala si ese tamaño de fruto se obtiene bajo condiciones de invernadero.

Cuadro 4. Calidad del fruto de chile habanero en tamaño, peso y color, por efecto del régimen nutrimental.

Régimen nutrimental (me L ⁻¹)			Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Color		
NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ :H ₂ PO ₄ ⁻ :SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻ :K ⁺				L*	C*	h*
10	14:1.25:4.75	14:5	2.52 cd	1.97 b	2.55 ab	52.9 a	54.7 a	52.5 a
10	12:1:7	14:5	2.79 bd	1.98 ab	2.4 ab	55.5 a	54.4 a	55.5 a
10	14:1.25:4.75	12:7	2.45 d	1.94 b	2.4 ab	52.7 a	53.9 a	52.1 a
12	14:1.25:4.75	14:5	2.41 d	1.93 b	2.15 b	53.9 a	54.8 a	53.0 a
12	12:1:7	14:5	2.72 bd	2.07 ab	2.32 b	53.8 a	53.6 a	52.9 a
12	14:1.25:4.75	12:7	2.88 bd	2.01 ab	2.47 ab	53.6 a	55.5 a	56.3 a
14	14:1.25:4.75	14:5	3.14 ab	2.02 ab	2.72 ab	53.4 a	53.6 a	53.9 a
14	12:1:7	14:5	3.48 a	2.29 a	3.45 a	54.0 a	52.9 a	54.6 a
14	14:1.25:4.75	12:7	3.0 ac	2.14 ab	2.62 ab	51.2 a	54.8 a	53.5 a
12	12:1:7	12:7	3.01 ac	2.06 ab	2.52 ab	52.2 a	54.9 a	50.9 a
CV (%)			7.28	7.19	14.5	2.88	2.83	3.91

L (Luminosidad); C (Cromaticidad); h (Matiz); CV (Coeficiente de Variación). Medias con la misma literal son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey (P ≤ 0.05).

Por su parte, Ramírez-Luna *et al.* (2005) mencionan que las plantas de chile habanero desarrolladas en invernadero presentan mayor número de flores y frutos, pero con tamaño de fruto pequeño, en contraste con la producción en campo, donde se obtienen frutos más grandes; atribuyendo el menor tamaño de fruto, a la baja intensidad de luz que hay en el invernadero, condición que favorece plantas más grandes, de tallos más delgados, pero de frutos pequeños. Sin embargo, en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), Aldana *et al.* (2007), afirman que el tamaño del fruto depende directamente de la cantidad de granos de polen depositados en el estigma, es decir, con menor cantidad de polen, se producen frutos más pequeños, deformes o con pocas semillas. Esto tiene relación ya que el cultivo de chile habanero bajo cubierta plástica, a diferencia de las condiciones a cielo abierto, no recibe la misma polinización por viento o por insectos.

2.6 CONCLUSIONES

El suministro de nutrimentos de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo si repercute en el desarrollo de las plantas, rendimiento y calidad de frutos de chile habanero “Jaguar” cultivado en un sistema hidropónico bajo cubierta plástica, en comparación con las plantas que son nutridas con solución Steiner durante todo el ciclo de cultivo.

Por efecto del régimen nutrimental de 14 (NO_3^-), 14:1.25:4.75 ($\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$) y 14:5 ($\text{NO}_3^-:\text{K}^+$) me L^{-1} en las etapas vegetativa, de floración y fructificación respectivamente, se incrementa el número de flores y frutos por planta, así como la cantidad de materia seca por planta y el rendimiento de chile habanero “Jaguar”.

Los frutos de chile habanero “Jaguar” son de mayor tamaño por efecto del régimen 14 (NO_3^-), 12:1:7 ($\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$) y 14:5 ($\text{NO}_3^-:\text{K}^+$) me L^{-1} en las etapas vegetativa, de floración y fructificación respectivamente, comparados con los frutos obtenidos con solución Steiner.

2.7 LITERATURA CITADA

- Aldana, J.; Cure, J. R.; Almanza, M. T.; Vecil, D. y Rodríguez, D. 2007. Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, Colombia. Colombia. Agronomía Colombiana 25:62-72.
- Armenta-Bojórquez, A. D.; Baca-Castillo, G. A.; Alcántar-González, G.; Kohashi-Shibata, J.; Valenzuela-Ureta, J. G. y Martínez-Garza, A. 2001. Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. México. Revista Chapingo Serie Horticultura. 7:61-75.
- Borges-Gómez, L.; Cervantes C., L.; Ruiz N., J.; Soria F., M.; Reyes O., V. y Villanueva C., E. 2010. Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. México. Terra Latinoamericana. 28:35-41.
- Borges-Gómez, L.; Moo-Kauil, C.; Ruíz-Novelo, J.; Osalde-Balam, M.; González-Valencia, C.; Yam-Chimal, C. y Can-Puc, F. 2014. Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: características físicas y químicas predominantes. México. Agrociencia. 48:347-359.
- Chan C., N.; Sauri D., E.; Olivera C., L. y Rivas B., J. I. 2011. Evaluación de la calidad en la industrialización del chile habanero (*Capsicum chinense*). México. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 12(2):222-226.
- Cruz C., J. M.; Medina A., J. L.; Larqué S., F. A. 2012. Efecto de aspersiones del dimetilsulfóxido en la productividad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (4):785-788.
- Jaimez, R.; Añez, B. y Espinoza, W. 2010. Desfloración: su efecto sobre el aborto de estructuras reproductivas y rendimiento en pimentón (*Capsicum annum* L.). Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ). 27:418-432.
- Khan, M. S. I.; Roy, S. S. and Pall, K. K. 2010. Nitrogen and phosphorus efficiency on the growth and yield attributes of *Capsicum*. Bangladesh. Academic Journal of Plant Sciences. 3(2):71-78.

- Lugo-Jiménez, N.; Carballo-Bautista, M; Sauri-Duch, E.; Centurión-Yah, A. y Tamayo-Canul, E. 2010. Efecto del sistema de cultivo sobre la calidad microbiológica del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) después de su cosecha. México. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 11(2):171-179.
- Medina-Lara, F.; Echevarría-Machado, I.; Pacheco-Arjona, R.; Ruiz-Lau, N.; Guzmán-Antonio, A. y Martínez-Estévez, M. 2008. Influence of Nitrogen and Potassium Fertilization on Fruiting and Capsaicin Content in Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). México. HortScience. 43(5):1549-1554.
- Navarro, J. M.; Flores, P.; Garrido, C. y Martínez, V. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. España. Food Chemistry. 96:66-73.
- Nieves-González, F.; Alejo-Santiago, G.; Luna-Esquivel, G.; Lemus-Flores, C.; Juárez-López, P. y Salcedo-Pérez, E. 2015. Extracción y Requerimiento de Fósforo en Chile Habanero (*Capsicum Chinense* Jacq.) 'Big Brother'. Venezuela. Interciencia, 40(4):282-286.
- Noh-Medina, J.; Borges-Gómez, L. y Soria-Fregoso, M. 2010. Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). México. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 12(2):219-228.
- Ojodeagua A., J. L.; Castellanos R., J. Z.; Muñoz R., J. J.; Alcántar G., G.; Tijerina C., L.; Vargas T., P. y Enríquez R., S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. México. Fitotecnia Mexicana. 31(4):367-374.
- Peil, R. M. y Gálvez, J. L. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. Brasil. Revista Brasileira de Agrociência. 11:05-11.
- Peña B., F y Zenner de P., I. 2015. Growth of three color hybrids of sweet paprika under greenhouse conditions. Colombia. Agronomía Colombiana. 33(2):139-146.
- Pérez-Gutiérrez, A.; Pineda-Doporto, A.; Latournerie-Moreno, L.; Pam-Pech W. y Godoy-Ávila, C. 2008. Niveles de evapotranspiración potencial en la producción de chile habanero. México. Terra Latinoamericana. 26:53-59.

- Ramírez M., M.; Arcos C., G.; Mata V., H. y Vázquez G., E. 2012. Jaguar, variedad de chile habanero para México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Folleto técnico No. MX-0-0310302-11-03-14-09-28. 35 p.
- Ramírez-Luna, E.; Castillo-Aguilar, C. de la C.; Aceves-Navarro E. y Carrillo-Ávila E. 2005. Efecto de productos con reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile 'Habanero'. México. Revista Chapingo Serie Horticultura. 11:93-98.
- Ruiz S., E.; Aguilar O., O.; Cristóbal A., J.; Tun S., J.; Latournerie M., L. y Pérez G., A. 2009. Comparación de la efectividad de un insecticida botánico y dos químicos convencionales en el control del picudo (*Anthonomus eugenii* Cano) (Coleóptera: Curculionidae) en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Cuba. Fitosanidad. 13(2):117-120.
- Steiner, A. A. 1984. The Universal Solution. ISOSC. In: Proceedings of 6th International Congress on Soilles Culture. Lunteren, The Netherlands. 633-649 pp.
- Tapia-Vargas, M.; Larios-Guzmán, A.; Díaz-Sánchez, D. D.; Ramírez-Ojeda, G.; Hernández-Pérez, A.; Vidales-Fernández, I. y Guillén-Andrade H. 2016. Producción Hidropónica de Chile Habanero Negro (*Capsicum chinense* Jacq.). México. Revista Fitotecnia Mexicana. 39(3):241-245.
- Tucuch-Haas, C. J.; Alcántar-González, G.; Ordaz-Chaparro, V. M.; Santizo-Rincón, J. A. y Larqué-Saavedra, A. 2012. Producción y Calidad de Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y tamaño de partícula de sustratos. México. Terra Latinoamericana. 30:9-15.

CAPÍTULO 3

EFFECTO DE LA NUTRICIÓN MINERAL DE ACUERDO A LA ETAPA FENOLÓGICA EN CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) SOBRE EL CONTENIDO DE CAPSAICINOIDES

3.1 RESUMEN

El chile habanero tiene una gran importancia a nivel mundial por ser una fuente de compuestos fitoquímicos en beneficio de la salud humana, tales como los capsaicinoides. Diversas investigaciones indican que la concentración de estos capsaicinoides en los frutos depende de diversos factores como la temperatura, la intensidad luminosa, el estrés hídrico, así como del estado nutricional de la planta. Sin embargo, mientras algunos autores señalan que el aporte nutrimental afecta el contenido de capsaicinoides, otros indican que no existe respuesta significativa por efecto de este factor. Por lo tanto, se llevó a cabo un experimento en un invernadero del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, con el objetivo de evaluar la concentración de capsaicinoides (capsaicina y dihidrocapsaicina) por efecto del régimen nutrimental suministrado de acuerdo a la etapa fenológica del chile habanero. Los resultados indicaron que la nutrición mineral aplicada conforme a la etapa fenológica del cultivo tiene una repercusión en los contenidos de CAP y DHCAP en el chile habanero 'Jaguar'. La mayor concentración de CAP (5.80 mg g^{-1}) y de DHCAP (2.66 mg g^{-1}) por gramo de biomasa seca de fruto se logró aplicando el régimen nutrimental con relaciones en me L^{-1} de $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}:\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ de 10:1.25:8.75:7:9:4 durante la etapa vegetativa, 14:1.25:4.75:7:9:4 durante la etapa de floración, y 14:0.75:5.25:5:10.39:4.61 durante la etapa reproductiva.

Palabras clave: capsaicina, dihidrocapsaicina, régimen nutrimental.

3.2 SUMMARY

Habanero chili is of great importance worldwide because it is a source of phytochemicals compounds that benefit human health, such as capsaicinoids. Several studies indicate that the concentration of these capsaicinoids in fruits depends on various factors such as temperature, light intensity, water stress, as well as the nutritional status of the plant. However, while some authors point out that the nutritional contribution affects the content of capsaicinoids, others indicate that there is no significant response due to this factor. Therefore, an experiment was carried out in a greenhouse of the experimental field of the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Morelos, with the objective of evaluating the concentration of capsaicinoids (capsaicin and dihydrocapsaicin) by effect of the nutritional regime supplied according to the phenological stage of habanero pepper. The results indicated that the mineral nutrition applied according to the phenological stage of the crop has an impact on the contents of CAP and DHCAP in the habanero pepper 'Jaguar'. The highest concentration of CAP (5.80 mg g^{-1}) and DHCAP (2.66 mg g^{-1}) per gram of dry fruit biomass was achieved by applying the nutritional regime with ratios in me L^{-1} of $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}:\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ of 10:1.25:8.75:7:9:4 during the vegetative stage, 14:1.25:4.75:7:9:4 during the flowering stage, and 14:0.75:5.25:5:10.39:4.61 during the reproductive stage.

Keywords: capsaicin, dihydrocapsaicin, nutritional regime.

3.3 INTRODUCCIÓN

El chile habanero tienen una importancia económica considerable: se demanda en todo el mundo (Ramírez *et al.*, 2016) no solo como alimento, sino también como una excelente fuente de colorantes naturales, así como compuestos fitoquímicos de uso para la salud humana como los capsaicinoides (Navarro *et al.*, 2006; Ruiz *et al.*, 2009; Chan *et al.*, 2011), responsables del típico sabor picante de estos frutos (Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

Actualmente se conocen casi 20 de estos compuestos, pero solo cinco capsaicinoides tienen actividad biológica significativa: capsaicina (CAP), dihidrocapsaicina (DHCAP), nordihidrocapsaicina, homohidrocapsaicina y norcapsaicina. CAP y DHCAP representan aproximadamente el 90% de todos los tipos de capsaicinoides (Garcés-Claver *et al.*, 2006; Reyes-Escogido *et al.*, 2011; Moran-Bañuelos *et al.*, 2008). Sin embargo, el capsaicinoide más importante es CAP (Nwokem *et al.*, 2010; Chanthai *et al.*, 2012; Mohammad *et al.*, 2013).

Los capsaicinoides son sintetizados exclusivamente por las células epidérmicas de la placenta de la fruta (Castro-Concha *et al.*, 2014), y su formación se basa en un grupo de amidas ácidas derivadas de vanililamina (Cázarez Sánchez *et al.*, 2005; Moran-Bañuelos *et al.*, 2008). CAP y otros capsaicinoides son importantes debido a sus cualidades antioxidantes, que tienen una serie de efectos fisiológicos y farmacológicos en los sistemas cardiovascular y gastrointestinal (Musfiroh *et al.*, 2013; Amruthraj *et al.*, 2014; Usman *et al.*, 2014). Los capsaicinoides protegen el ácido linoleico de los radicales libres y reducen los metales que actúan como donantes de hidrógeno (Ramírez *et al.*, 2009). Se ha informado que el CAP tiene un efecto protector contra el colesterol y la obesidad (Kempaiah *et al.*, 2004); se ha utilizado como analgésico en la artritis y en la inflamación neurogénica (sensación de escozor y ardor en manos, ojos y boca) (Pereira *et al.*, 2012). También se ha utilizado en aerosoles de defensa personal (Supalkova *et al.*, 2007; Nwokem *et al.*, 2010). Aun así, uno de los principales beneficios de la CAP es su efecto contra el cáncer. Varios estudios han demostrado

que la CAP previene la proliferación de células cancerosas. La CAP previene la expresión del inhibidor de la DNasa caspasa; la activación de este inhibidor induce la apoptosis de células de melanoma, así como adenocarcinoma gástrico y células de cáncer de páncreas, mama y próstata (Lo *et al.*, 2005, Mori *et al.*, 2006; Amruthraj *et al.*, 2014).

El contenido de CAP en una especie de pimiento depende de diferentes factores, como la intensidad de la luz y la temperatura durante el desarrollo de la planta, la madurez de la fruta, la posición de la fruta en la planta o el riego limitado a la planta (Garcés-Claver *et al.*, 2006; Vázquez-Flota *et al.*, 2007; Al Othman *et al.*, 2011). La síntesis de capsaicinoides tiene lugar durante las primeras etapas del desarrollo del fruto, entre 20 y 50 días después de la antesis, dependiendo del genotipo en cuestión y las condiciones de crecimiento. La posición del fruto en los tallos, como resultado de las diferencias de desarrollo a lo largo del tiempo, determina el grado de picor en *C. annuum* 'jalapeño', que puede asociarse a variaciones en el aporte de nutrientes y fotoasimilados necesarios para el crecimiento del fruto y la maduración (Zwedie y Bosland, 2000). Sin embargo, se ha observado que la concentración aumenta gradualmente hasta alcanzar los niveles más altos después de 40 a 50 días de desarrollo de fruto, después de lo cual la CAP tiende a degradarse en compuestos secundarios debido a la actividad de la peroxidasa (Reyes-Escogido *et al.*, 2011). Las heridas en el fruto también puede reducir su picor, probablemente porque el contacto de los capsaicinoides con el oxígeno facilita su oxidación (Kirschbaum-Titze *et al.*, 2002). Por su parte, Reyes-Escogido *et al.* (2011) señalan que la concentración de capsaicinoides aumenta debido al déficit hídrico, el cual afecta la vía del fenilpropanoide. Este incremento concuerda con el aumento de la actividad de las enzimas involucradas en la biosíntesis de capsaicina (PAL, Ca4H y CS), mientras que la actividad de la peroxidasa del fruto permanece constante, lo que sugiere que estas condiciones dan como resultado una mayor capacidad de síntesis de CAP sin afectar su catabolismo (Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

Sin embargo, el estado nutricional de la planta tiene un efecto sobre la acumulación de capsaicinoides. Usado como fertilizante, se ha encontrado que el nitrógeno tiene una dosis óptima para maximizar la concentración de capsaicinoides, aunque dosis más altas pueden resultar en niveles de capsaicinoides más bajos. Sin embargo, no hay informes sobre una posible relación entre estos efectos y la acumulación de fenilalanina y valina. El efecto del potasio en la concentración de capsaicinoides es contradictorio; algunos estudios sobre el uso de fertilizantes de potasio con pimientos jalapeños han reportado efectos positivos, mientras que otros estudios sobre la misma planta no han encontrado ningún efecto (Vázquez-Flota *et al.*, 2007). Tucuch-Haas *et al.* (2012) señalan que el nitrógeno suministrado a medida que aumentan las proporciones de NH_4^+ tiene un efecto negativo sobre el contenido de CAP en los frutos, que tiende a disminuir en las cosechas posteriores.

Los frutos de chile habanero juegan un papel muy importante como cultivo hortícola en México. Por lo tanto, es importante analizar el efecto de la nutrición mineral sobre los capsaicinoides, especialmente los contenidos de CAP y DHCAP, en el cultivo de chile habanero cuando se establece en invernadero con sistema hidropónico, con el fin de establecer producciones controladas.

Objetivo

Medir la concentración de capsaicinoides (CAP y DHCAP) en chile habanero mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), por efecto de las condiciones nutricionales relacionadas con las etapas fonológicas del cultivo.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Ubicación del experimento

El cultivo de chile habanero se estableció en un invernadero ubicado en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (México), a una altura de 1868 msnm y ubicado a 18 °58'51" Norte, 99 °13'57" Oeste.

3.4.2 Material vegetal

Para la producción de plántulas se sembraron semillas de chile habanero variedad 'Jaguar' en charolas de polietileno. Esta variedad presenta plantas con altura de 80-90 cm en campo abierto y hasta 1.80 m en sistemas de agricultura protegida con tutoreo. De 70 a 85 días a floración y de 115 a 120 días a la primera cosecha. Tiene de una a tres flores por nudo, las cuales pueden dar la misma cantidad de frutos. Presenta frutos uniformes de color verde esmeralda en madurez fisiológica que pasan a anaranjado intenso en la madurez total, alcanzando un valor de matiz (Hue) de 54. Los frutos tienen una longitud de 3.8 a 5.5 cm, diámetro de 2.5 a 3.0 cm y de 6.5 a 10 g de peso, con rendimientos que oscilan de 18.3 hasta 36 t ha⁻¹ (Ramírez *et al.*, 2012).

3.4.3 Unidad experimental

La unidad experimental fue una bolsa de polietileno color negro de 25.5 cm de diámetro por 30 cm de altura con capacidad para 15.14 L, llenada con tezontle rojo en granulometría ≤ 1 cm de diámetro. En cada bolsa se colocó una plántula de chile habanero, tomando como parámetro para el trasplante cuando éstas tuvieron el cepellón bien desarrollado y con diez hojas verdaderas, la décima con 5 ± 1 mm de longitud. Los riegos se realizaron mediante un sistema de riego por goteo (con gotero autocompensable marca Netafim y caudal de 8 L por hora), programando con un temporizador ocho riegos diarios, con una duración de 1 min cada riego los primeros

días después del trasplante y aumentando el tiempo de riego conforme la planta requirió durante su crecimiento (llegando hasta 4 minutos por cada riego en la etapa de fructificación).

3.4.4 Manejo del experimento

Las plantas fueron alimentadas usando 10 regímenes nutricionales diferentes (Cuadro 1). Las soluciones de nutrientes se basaron en la solución universal Steiner, que se usó como tratamiento de control. Se agregaron diferentes concentraciones de nitrato durante el crecimiento de la planta, desde el trasplante hasta que el 50% de las plantas florecieron por primera vez. Después de eso, se agregaron diferentes proporciones de nitrato, fosfato y sulfato durante la floración (después de que el 50% de las plantas habían florecido por primera vez) hasta que el 50% de las plantas tuvo una fruta de 10 ± 1 mm de longitud. Finalmente, se utilizaron diferentes proporciones de nitrato y potasio durante la etapa reproductiva, desde el momento en que las frutas tenían una longitud de 10 ± 1 mm hasta el final de la cosecha. Todos los regímenes nutricionales mantuvieron las relaciones entre aniones y cationes según lo recomendado por Steiner (1984).

3.4.5 Colecta de frutos

Las frutas de chile habanero se cosecharon 161 días después del trasplante. Se seleccionó una fruta completamente naranja de cada planta al azar. Se midió la longitud y el diámetro de cada fruto, de los diferentes tratamientos (Cuadro 2). Cincuenta frutos fueron recolectados en total. Inmediatamente después de la cosecha, los frutos se mantuvieron congelados a -80°C hasta que se prepararon para el análisis de laboratorio.

Cuadro 1. Régimen nutrimental de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo de chile habanero.

Régimen	NO ₃ ⁻ :H ₂ PO ₄ ⁻ :SO ₄ ²⁻ K ⁺ :Ca ²⁺ :Mg ²⁺ (me L ⁻¹)					
	Etapa Vegetativa		Etapa Reproductiva		Etapa de Fructificación	
1	10:1.25:8.75	7:9:4	14:1.25:4.75	7:9:4	14:0.75:5.25	5:10.39:4.61
2	10:1.25:8.75	7:9:4	12:1:7	7:9:4	14:0.75:5.25	5:10.39:4.61
3	10:1.25:8.75	7:9:4	14:1.25:4.75	7:9:4	12:1:7	7:9:4
4	12:1:7	7:9:4	14:1.25:4.75	7:9:4	14:0.75:5.25	5:10.39:4.61
5	12:1:7	7:9:4	12:1:7	7:9:4	14:0.75:5.25	5:10.39:4.61
6	12:1:7	7:9:4	14:1.25:4.75	7:9:4	12:1:7	7:9:4
7	14:0.75:5.25	7:9:4	14:1.25:4.75	7:9:4	14:0.75:5.25	5:10.39:4.61
8	14:0.75:5.25	7:9:4	12:1:7	7:9:4	14:0.75:5.25	5:10.39:4.61
9	14:0.75:5.25	7:9:4	14:1.25:4.75	7:9:4	12:1:7	7:9:4
10 *	12:1:7	7:9:4	12:1:7	7:9:4	12:1:7	7:9:4

Diseño experimental completamente al azar con 5 repeticiones.

(*) Solución nutritiva Steiner como tratamiento testigo.

Cuadro 2. Longitud y diámetro de fruto de chile habanero por efecto del régimen nutrimental.

Tratamientos	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
1	3.26 ac	2.22 a
2	3.58 ab	2.20 a
3	3.74 a	2.34 a
4	3.50 ab	2.22 a
5	3.05 bc	2.30 a
6	3.60 ab	2.34 a
7	2.78 c	2.26 a
8	3.64 ab	2.02 a
9	3.50 ab	2.04 a
10	3.06 bc	2.20 a

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

3.4.6 Preparación de extractos

Cada fruto fue separado en tres secciones (pericarpio, placenta y semillas). Debido a que algunos frutos no presentaron semillas, no fueron procesados. Se midió el peso fresco de las muestras, después de lo cual se sometieron a un proceso de deshidratación usando un concentrador a una temperatura inferior a 30 ° C, así como un liofilizador a una temperatura de -52 ° C y una presión inferior a 1 mbar durante 36 horas . Las muestras se pulverizaron luego con mortero, se pesaron y se depositaron en viales de color ámbar. El extracto se obtuvo mediante la adición de 7 ml de cloroformo de calidad analítica (HPLC) por cada 0,5 g de muestra, que se sonicó durante cinco minutos. El sobrenadante se separó usando papel de filtro de poro fino. El proceso se realizó tres veces para cada extracto, y se obtuvo un extracto por cada sección de las muestras. Los extractos filtrados se almacenaron en viales de vidrio.

3.4.7 Análisis en cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

3.4.7.1 Materiales

Todos los disolventes y reactivos eran de calidad HPLC a menos que se indique lo contrario. Las muestras y estándares se prepararon con metanol. Los estándares de capsaicina (CAP) y dihidrocapsaicina (DHCAP) se obtuvieron de sigma con un grado de pureza $\geq 99\%$. El acetonitrilo y el metanol se obtuvieron de Mallinckrodt Baker Inc.

3.4.7.2 Instrumentación y condiciones cromatográficas

Se utilizó el modelo de detector HPLC-UV JASCO LC-Net II equipado con automuestreador. La columna analítica fue Shiseido CAPCELL PAK MG II S5 C-18 (4.6 x 150 mm, i.d., tamaño de partícula de 5 μm). La fase móvil compuesta por CH₃CN: H₂O (60:40, respectivamente) se filtró (filtro de nylon de 0.45 μm) y el tiempo de corrida fue de 40 minutos, con un flujo de 1 ml / min, volumen de inyección de 20 μl y temperatura de columna de 25 ° C. El análisis se detectó a 280 nm. Las condiciones

generales de análisis siguieron los procedimientos descritos por Cardoso-Taketa *et al.* (2008).

3.4.7.3 Preparación de la solución madre estándar

La solución madre estándar de CAP y DHCAP se preparó pesando 3 mg de las sustancias estándar y disolviendo en 3 ml de metanol. La solución de trabajo fue estable durante los 3 días de análisis y se mantuvo bajo refrigeración (4 ° C).

3.4.7.4 Preparación de la solución estándar de trabajo

Se preparó una solución de trabajo diluyendo 500 µl de solución estándar a 1 ml de metanol. Este proceso se realizó para obtener las siguientes concentraciones de CAP y DHCAP: 0.5, 0.25, 0.125, 0.0625 y 0.32 mg / ml.

3.4.7.5 Obtención de la curva de calibración

Las soluciones estándar de trabajo de CAP y DHCAP se inyectaron en la HPLC en duplicado, y se obtuvieron las respuestas de área de cada pico. Se utilizó un método de calibración estándar externo. Las curvas estándares lineales para CAP y DHCAP se obtuvieron por separado al representar la concentración frente al área.

3.4.7.6 Preparación y extracción de muestras

Se tomaron 3 mg de extracto seco de pericarpio, placenta y muestras de semillas y se disolvieron en 1 ml de metanol, cada muestra se sometió a ultrasonidos durante 10 minutos para que se disolviera por completo.

3.4.8 Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza con el programa SAS (Versión 9.0) y a los datos con efecto de tratamientos se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey ($P \leq 0.05$).

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis por HPLC analítico permitió la identificación y cuantificación de capsaicina y de dihidrocapsaicina presentes en los extractos metanólicos de placenta, pericarpio y semilla. En la figura 1 se logra observar el perfil cromatográfico de estos dos capsaicinoides en una muestra del extracto crudo de placenta. Ambos compuestos fueron los capsaicinoides mayoritarios encontrados en todas las muestras analizadas en el presente estudio, registrándose tiempos de retención de 7.50 min para capsaicina y de 9.65 min para dihidrocapsaicina.

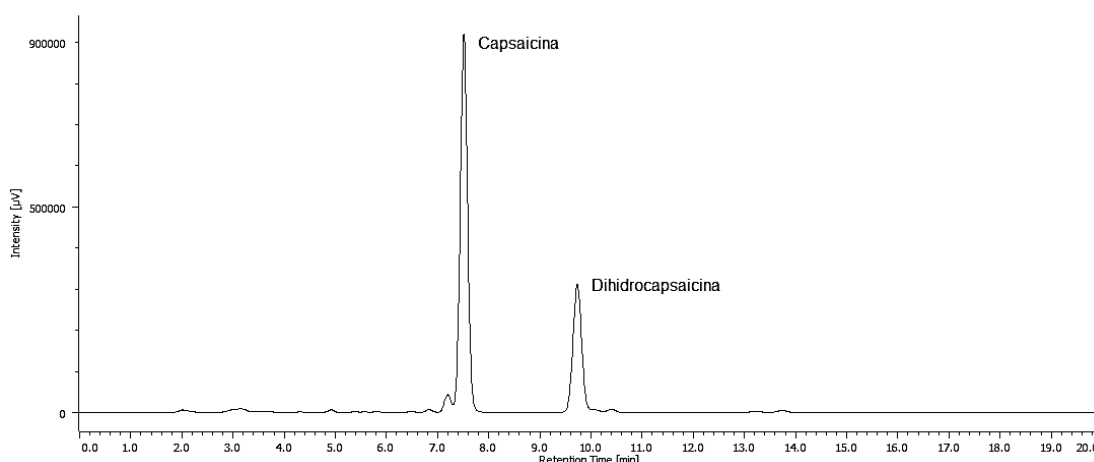


Figura 1. Perfil cromatográfico en HPLC analítico de una muestra del extracto clorofórmico de placenta. Fase estacionaria C-18 y fase móvil CH₃CN: H₂O (60:40), con detección a 280 nm. Tiempo de retención de capsaicina de 7.50 min y de dihidrocapsaicina de 9.65 min.

Los resultados indicaron que el mayor porcentaje tanto de CAP como de DHCAP se encuentra en la placenta del fruto (Figura 1 y 2). En cuanto a la distribución de CAP en la fruta, 91.1 % se concentró en la placenta, 7.2 % en el pericarpio y 1.7 % en la semilla, mientras que la distribución de DHCAP fue de 93.4 % en placenta y 6.6 % en pericarpio. En semilla no se tuvieron registros de dihidrocapsaicina.

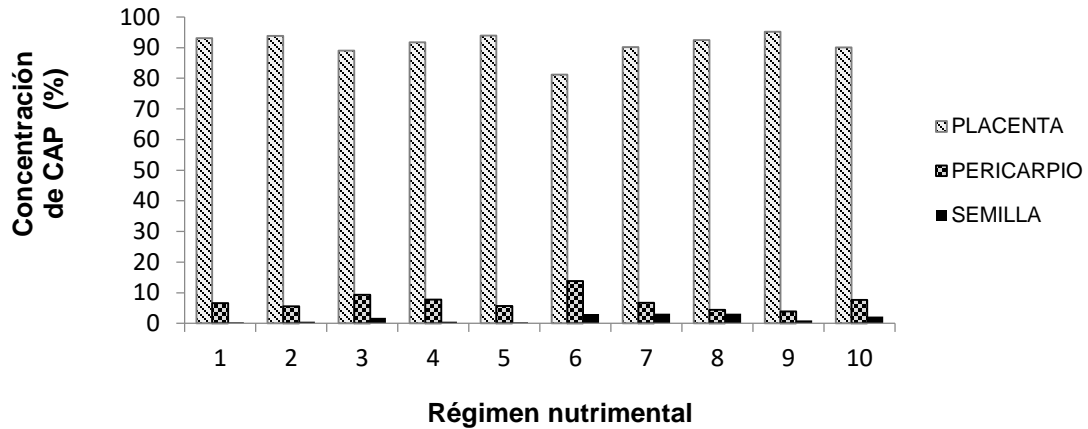


Figura 2. Porcentaje de capsaicina en las diferentes partes del fruto de chile habanero var. Jaguar, por efecto del régimen nutrimental.

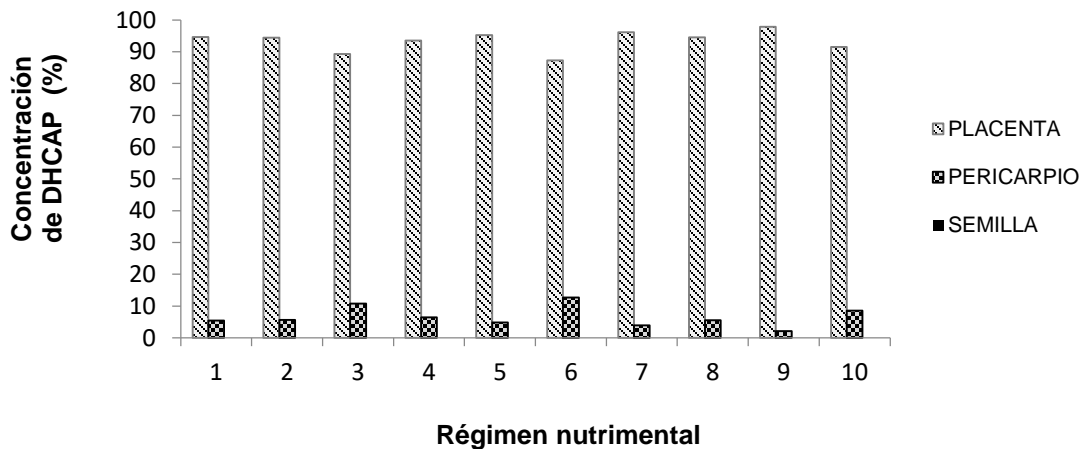


Figura 3. Porcentaje de dihidrocapsaicina en las diferentes partes del fruto de chile habanero var. Jaguar, por efecto del régimen nutrimental.

La relación promedio de CAP:DHCAP fue de 1.99:1 respectivamente. De acuerdo con Al Othman *et al.* (2011), los capsaicinoides más abundantes en los chiles son capsaicina y dihidrocapsaicina; éstos normalmente se encuentran en una relación de 1:1 o 2:1, respectivamente, y ambos constituyen entre el 80 y 90 % del total de capsaicinoides en frutos de *Capsicum* (Chapa-Oliver y Mejía-Teniente, 2016). Por su parte, Antonious *et al.* (2009) realizaron un análisis de CAP y DHCAP en 63 accesiones de bancos de genes de *C. chinense* y señalan que las concentraciones y proporciones

relativas de estos dos capsaicinoides varían significativamente entre las accesiones de un mismo país de origen y entre los países de origen.

El presente estudio confirma que la nutrición mineral aplicada conforme a la etapa fenológica del cultivo tiene un efecto sobre las concentraciones de CAP y DHCAP en el chile habanero 'jaguar' (Cuadro 3).

Cuadro 3. Concentración de capsaicina y dihidrocapsaicina en la placenta, pericarpio y semilla de chile habanero de la variedad Jaguar.

Régimen nutricional	Capsaicina (mg g ⁻¹ PS)			Dihidrocapsaicina (mg g ⁻¹ PS)	
	Placenta	Pericarpio	Semilla	Placenta	Pericarpio
R1	30.10 a	1.75 a	0.04 c	14.95 ac	0.60 a
R2	28.83 ab	1.38 ab	0.06 c	13.28 ad	0.49 ac
R3	12.96 c	1.43 ab	0.23 ac	6.00 cd	0.49 ac
R4	17.44 bc	1.5 ab	0.11 bc	7.99 bd	0.35 ac
R5	19.0 ac	1.22 ab	0.04 c	9.40 bd	0.39 ac
R6	8.29 c	1.38 ab	0.59 a	4.34 d	0.55 ab
R7	12.81 c	1.03 ab	0.57 ab	16.44 ab	0.36 ac
R8	12.65 c	0.83 b	0.31 ac	4.70 d	0.24 c
R9	20.14 ac	0.88 b	0.16 ac	19.74 a	0.30 bc
R10	17.78 bc	1.36 ab	0.36 ac	7.93 bd	0.49 ac

NO₃⁻, 10 me L⁻¹ en R1, R2 y R3, 12 me L⁻¹ en R4, R5, R6 y R10, 14 me L⁻¹ en R7, R8 y R9; más NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻, 14:1.25:4.75 me L⁻¹ en R1, R3, R4, R6, R7 y R9, 12:1:7 me L⁻¹ en R2, R5, R8 y R10; más NO₃⁻:K⁺, 14:5 me L⁻¹ en R1, R2, R4, R5, R7 y R8, 12:7 me L⁻¹ en R3, R6, R9 y R10. (PS) Peso Seco. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Las mayores concentraciones de CAP en placenta y pericarpio, así como DHCAP en pericarpio, se encontraron cuando se usó el régimen nutricional (R1), que consistió en aplicar relaciones en me L⁻¹ de NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻:K⁺:Ca²⁺:Mg²⁺ de 10:1.25:8.75:7:9:4 durante la etapa de crecimiento vegetativo, 14:1.25:4.75:7:9:4 durante la etapa de floración, y 14:0.75:5.25:5:10.39:4.61 durante la etapa reproductiva. Sin embargo, con

el régimen nutricional (R9), relaciones en me L⁻¹ de NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻:K⁺:Ca²⁺:Mg²⁺ de 14:0.75:5.25:7:9:4 durante la etapa de crecimiento vegetativo, 14:1.25:4.75:7:9:4 durante la etapa de floración, y 12:1:7:7:9:4 durante la etapa reproductiva, se obtuvo la mayor concentración de DHCAP en placenta.

De acuerdo con Canto-Flick *et al.* (2008), quienes estudiaron 18 accesiones de chile habanero que comprende una variedad de colores, formas y tamaños, la concentración de capsaicinoides en la placenta varía de 169.67 a 307.77 mg g⁻¹ de biomasa seca, mientras que la concentración de capsaicinoides en el pericarpio oscila entre 12.01 y 92.19 mg g⁻¹ de biomasa seca.

Por su parte, Aldana-luit *et al.* (2014) señalan que existe una correlación positiva entre la concentración de nitrato y la acumulación de capsaicinoides en la placenta del chile habanero. Señalan que después de siete días de cultivo *in vitro* de placentas de chile habanero inmovilizadas, cuando la concentración de nitrato en el medio de cultivo es de 40 mM, la acumulación de CAP en la placenta es de 0.3 mg g⁻¹ de peso seco. Posteriormente existe un incremento en la acumulación de CAP en la placenta cuando la disponibilidad de nitrato aumenta a 60 mM, (6.4 mg g⁻¹ de peso seco) y a 80 mM (15.6 mg g⁻¹ de peso seco), no obstante, largas exposiciones de esas concentraciones de nitrato pueden causar detrimento en la acumulación de capsaicinoides en la placenta.

Respecto a las proporciones en peso de cada parte del fruto, en promedio el 78.5 % corresponde al pericarpio, el 14.7 % a la placenta y el 6.8 % a las semillas. Considerando estas proporciones y las concentraciones de CAP y DHCAP que se encontraron en cada parte del fruto, por efecto del régimen nutricional (R1), por cada gramo de biomasa seca de fruto se obtiene una concentración de CAP de 5.80 mg g⁻¹ y de DHCAP 2.66 mg g⁻¹. La suma de estos capsaicinoides es de 8.46 mg g⁻¹ de fruto seco.

Por su parte, Canto-Flick *et al.* (2008) reportan que el contenido de capsaicinoides en el fruto habanero entero varía de 9.73 a 59.51 mg g⁻¹ de biomasa seca. Para Borges-Gómez *et al.* (2010) los niveles nutricionales no tienen un efecto estadísticamente significativo en la concentración de CAP en los frutos de chile habanero; sin embargo, reportan una respuesta significativa con respecto al contenido de CAP a medida que la planta envejece, aunque no en el caso de DHCAP; El contenido promedio de CAP en la fruta seca es de 8.4 mg g⁻¹ de peso seco, y el contenido promedio de DHCAP es de 4.7 mg g⁻¹ de peso seco. No obstante, la variedad de chile habanero no se menciona en el documento.

Diversas investigaciones señalan que las concentraciones de capsaicinoides se deben convertir en partes por millón y posteriormente multiplicarlo por 16 para expresar el contenido total de capsaicinoides en unidades de picor Scoville (SHU) (Bosland & Baral, 2007; Canto-Flick *et al.*, 2008). En el presente estudio el valor más alto fue de 135,360 SHU por gramo de biomasa seca de fruto, mientras que en la placenta se obtuvo un valor de 720,800 SHU debido al contenido total de CAP y DHCAP. Por su parte, Bosland y Baral (2007), que estudiaron tres cultivares de *Capsicum chinense*, encontraron niveles picor de 357,729 SHU para habanero naranja, 248,556 SHU para Red Savina y 1,001,304 SHU para Bhut Jolokia. Por otro lado, luego de estudiar 18 cultivares de pimiento habanero obtenidos de un banco de germoplasma en el Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán, Canto-Flick *et al.* (2008) reportaron un valor de 892,719 SHU debido al contenido total de capsaicinoides en una accesión de frutas de color amarillo; sin embargo, los autores indican que, en accesiones de frutos de color naranja, el valor más alto para la placenta fue 4,616,628 SHU y el valor más alto para el pericarpio fue 1,382,889 SHU.

3.6 CONCLUSIONES

Se confirmó que la nutrición mineral basada en la etapa fenológica del cultivo tiene una repercusión en los contenidos de CAP y DHCAP en el chile habanero 'jaguar'.

La mayor concentración de capsaicinoides por gramo de biomasa seca de fruto se logra aplicando el régimen nutricional con relaciones en me L^{-1} de $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}:\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ de 10:1.25:8.75:7:9:4 durante la etapa vegetativa, 14:1.25:4.75:7:9:4 durante la etapa de floración, y 14:0.75:5.25:5:10.39:4.61 durante la etapa reproductiva.

3.7 LITERATURA CITADA

- Al Othman, Z. A.; Y. B. Hadj A.; M. Abdelaty H.; A. Abdel G. 2011. Determination of Capsaicin and Dihydrocapsaicin in Capsicum Fruit Samples using High Performance Liquid Chromatography. *Molecules*, 16: 8919-8929.
- Aldana-Iuit, J. G.; E. Sauri-Duch; M. de L. Miranda-Ham; L. A. Castro-Concha; L. F. Cuevas-Glory; F. A. Vázquez-Flota. 2015. Nitrate Promotes Capsaicin Accumulation in *Capsicum chinense* Immobilized Placentas. *BioMed Research International*, 2015: 1-6.
- Amruthraj, N. J.; J. P. Preetam R; S. Saravanan; L. A. Lebel. 2014. In Vitro Studies on Anticancer Activity of Capsaicinoids from *Capsicum chinense* Against Human Hepatocellular Carcinoma Cells. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6 (4): 254-258.
- Antonious, G. F.; T. Berke; R. L. Jarret. 2009. Pungency in *Capsicum chinense*: Variation among countries of origin. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 44 (2): 179-184.
- Borges-Gómez, L.; L. Cervantes C.; J. Ruiz N.; M. Soria F.; V. Reyes O.; E. Villanueva C. 2010. Capsaicinoides en Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo Diferentes Condiciones de Humedad y Nutrición. *Terra Latinoamericana*, 28: 35-41.
- Bosland, P. W. and J. B. Baral. 2007. 'Bhut Jolokia'—The World's Hottest Known Chile Pepper is a Putative Naturally Occurring Interspecific Hybrid. *HortScience*, 42 (2): 222-224.
- Canto-Flick, A.; E. Balam-Uc; J. J. Bello-Bello; C. Lecona-Guzman; D. Solís-Marroquín; S. Avilés-Viñas, E. Gómez-Uc; G. López-Puc; N. Santana-Buzzy, and L. G. Iglesias-Andreu. 2008. Capsaicinoids content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.): Hottest known cultivars. *HortScience*, 43:1344–1349.
- Cardoso-Taketa, A. T.; R. Pereda-Miranda; Y. H. Choi; R. Verpoorte; M. L. Villarreal. 2008. Metabolic Profiling of the Mexican Anxiolytic and Sedative Plant *Galphimia glauca* Using Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy and Multivariate Data Analysis. *Planta medica* 74: 1295–1301.

- Castro-Concha, L. A.; J. Tuyub-Che; A. Moo-Mukul; F. A. Vázquez-Flota; M. L. Miranda-Ham. 2014. Antioxidant Capacity and Total Phenolic Content in Fruit Tissues from Accessions of *Capsicum chinense* Jacq. (Habanero Pepper) at Different Stages of Ripening. *The Scientific World Journal*, 2014: 1-5.
- Cázares-Sánchez, E.; P. Ramírez-Vallejo; F. Castillo-González; R. M. Soto-Hernández; M. T. Rodríguez-González; J. L. Chávez-Servia. 2005. Capsaicinoides y Preferencia de Uso en Diferentes Morfotipos de Chile (*Capsicum annum* L.) del Centro-Oriente de Yucatán. *Agrociencia*, 39: 627-638.
- Chan C., N.; Sauri D., E.; Olivera C., L. y Rivas B., J. I. 2011. Evaluación de la calidad en la industrialización del chile habanero (*Capsicum chinense*). México. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 12(2):222-226.
- Chanthai, S.; J. Juangsamoot; C. Ruangviriyachai; S. Techawongstien. 2012. Determination of Capsaicin and Dihydrocapsaicin in Some Chilli Varieties using Accelerated Solvent Extraction Associated with Solid-Phase Extraction Methods and RP-HPLC-Fluorescence. *E-Journal of Chemistry*, 9 (3): 1550-1561.
- Chapa-Oliver, A. M. and L. Mejía-Teniente. 2016. Capsaicin: From Plants to a Cancer-Suppressing Agent. *Molecules*, 21: 931-945.
- Garcés-Claver, A.; M. S. Arnedo-Andrés; J. Abadía; R. Gil-Ortega; A. Álvarez-Fernández. 2006. Determination of Capsaicin and Dihydrocapsaicin in *Capsicum* Fruits by Liquid Chromatography-Electrospray/Time-of-Flight Mass Spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 9303-9311.
- Kempaiah, R. K.; H. Manjunatha; K. Srinivasan. 2005. Protective Effect of Dietary Capsaicin on Induced Oxidation of Low-Density Lipoprotein in Rats. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 275: 7-13.
- Kirschbaum-Titze, P.; C. Hiepler; E. Mueller-Seitz, M. Petz. 2002. Pungency in Paprika (*Capsicum annum*). 1. Decrease of Capsaicinoid Content Following Cellular Disruption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 1260-1263.
- Lo, Y. C.; Y. C. Yang; I. C. Wu; F. C. Kuo; C. M. Liu; H. W. Wang; C. H. Kuo; J. Y. Wu; D. C. Wu. 2005. Capsaicin-Induced Cell Death in a Human Gastric

- Adenocarcinoma Cell Line. *World Journal of Gastroenterology*, 11 (40): 6254-6257.
- Mohammad, R.; M. Ahmad; L. Y. Heng. 2013. An Amperometric Biosensor Utilizing a Ferrocene-Mediated Horseradish Peroxidase Reaction for the Determination of Capsaicin (Chili Hotness). *Sensors*, 13: 10014-10026.
- Morán-Bañuelos, S. H.; V. H. Aguilar-Rincón; T. Corona-Torres; F. Castillo-González; R. M. Soto-Hernández; R. San Miguel-Chávez. 2008. Capsaicinoides en Chiles Nativos de Puebla, México. *Agrociencia*, 42: 807-816.
- Mori, A.; S. Lehmann; J. O'Kelly; T. Kumagai; J. C. Desmond; M. Pervan; W. H. McBride; M. Kizaki; H. P. Koeffler. 2006. Capsaicin, a Component of Red Peppers, Inhibits the Growth of Androgen-Independent, p53 Mutant Prostate Cancer Cells. *Cancer Research*, 66: 3222-3229.
- Musfiroh, I.; M. Mutakin; T. Angelina; M. Muchtaridi. 2013. Capsaicin Level of Various Capsicum Fruits. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5: 248-251.
- Navarro, J. M.; Flores, P.; Garrido, C. y Martínez, V. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. España. *Food Chemistry*. 96:66-73.
- Nwokem, C. O.; E. B. Agbaji; J. A. Kagbu; E. J. Ekanem. 2010. Determination of Capsaicin Content and Pungency Level of Five Different Peppers Grown in Nigeria. *New York Science Journal*, 3 (9): 17-21.
- Ramírez, H.; O. Méndez-Paredes; A. Benavides-Mendoza; C. Amado-Ramírez. 2009. Influencia de Prohexadiona-Ca y Promotores de Oxidación sobre el Rendimiento, Capsaicina y Vitamina C en Chile Jalapeño. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15 (3): 231-236.
- Ramírez M., M.; Arcos C., G.; Mata V., H. y Vázquez G., E. 2012. Jaguar, variedad de chile habanero para México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Folleto técnico No. MX-0-0310302-11-03-14-09-28. 35 p.

- Ramírez, H.; J. Mendoza-Castellanos; M. E. Vázquez-Badillo; A. Zermeño-González. 2016. La prohexadiona de calcio (P-CA): una alternativa hormonal viable en chile habanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7 (3): 631-641.
- Reyes-Escogido, M. L.; E. G. González-Mondragón; E. Vazquez-Tzompantzi. 2011. Chemical and Pharmacological Aspects of Capsaicin. *Molecules*, 16: 1253-1270.
- Ruiz S., E.; Aguilar O., O.; Cristóbal A., J.; Tun S., J.; Latournerie M., L. y Pérez G., A. 2009. Comparación de la efectividad de un insecticida botánico y dos químicos convencionales en el control del picudo (*Anthonomus eugenii* Cano) (Coleóptera: Curculionidae) en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Cuba. *Fitosanidad*. 13(2):117-120.
- Steiner, A. A. 1984. The universal solution. ISOSC. In: Proceedings of 6th International Congress on Soilles Culture. Lunteren, The Netherlands. 633-649 pp.
- Supalkova, V.; H. Stavelikova; S. Krizkova; V. Adam; A. Horna; L. Havel; P Ryant; P Babula; R. Kizek. 2007. Study of Capsaicin Content in Various Parts of Pepper Fruit by Liquid Chromatography with Electrochemical Detection. *Acta Chimica Slovenica*, 54: 55–59.
- Sutoh, K.; K. Kobata; S. Yazawa; T. Watanabe. 2006. Capsinoid Is Biosynthesized from Phenylalanine and Valine in a Non-Pungent Pepper, *Capsicum annuum* L. cv. CH-19 Sweet. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 70 (6): 1513-1516.
- Tucuch-Haas, C. J.; Alcántar-González, G.; Ordaz-Chaparro, V. M.; Santizo-Rincón, J. A. y Larqué-Saavedra, A. 2012. Producción y Calidad de Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y tamaño de partícula de sustratos. México. *Terra Latinoamericana*. 30:9-15.
- Usman, M. G.; M. Y. Rafii; M. R. Ismail; M. A. Malek; M. A. Latif. 2014. Capsaicin and Dihydrocapsaicin Determination in Chili Pepper Genotypes Using Ultra-Fast Liquid Chromatography. *Molecules*, 19: 6474-6488.
- Vázquez-Flota, F.; M. L. Miranda-Ham; M. Monforte-González; G. Gutiérrez-Carbajal; C. Velázquez-García; Y. Nieto-Pelayo. 2007. La Biosíntesis de Capsaicinoides, el Principio Picante del Chile. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30 (4): 353-360.

Zewdie, Y. and P. W. Bosland. 2000. Pungency of Chile (*Capsicum annuum* L.) Fruit is Affected by Node Position. *HortScience*, 35 (6): 1174.

CAPÍTULO 4

RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) POR EFECTO CONJUNTO DEL RÉGIMEN NUTRIMENTAL Y LA PODA DE CONDUCCIÓN

4.1 RESUMEN

De manera tradicional, el chile habanero se produce a cielo abierto en la península de Yucatán. Sin embargo, este sistema de producción es afectado por factores capaces de reducir los rendimientos, entre ellos la nutrición, de la cual existe poca información, así como también del manejo del cultivo en relación a las podas. Por lo anterior, se realizó un estudio en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos de abril a octubre de 2016, para evaluar el efecto de la poda de conducción conjuntamente con el régimen de nutrición en chile habanero. Los tratamientos se formaron a partir de dos factores, el tipo de poda (2, 3 y 4 tallos y sin poda) y el tipo de nutrición (solución Steiner y régimen de nutrición por etapa fenológica), teniendo ocho tratamientos distribuidos completamente al azar con cinco repeticiones cada uno. El suministro de las soluciones nutritivas fue mediante riego por goteo, con caudal de 8 L hora⁻¹. Se aplicaron 9 riegos diarios, con un tiempo de 1 min/riego al inicio del desarrollo del cultivo y hasta 4 min/riego en la etapa de fructificación. La unidad experimental fueron tres plantas, colocadas cada una en un contenedor de polietileno negro con capacidad para 15.14 L, con grava de tezontle rojo como sustrato. Los resultados indicaron que por efecto del tratamiento sin poda-régimen nutrimental, se logra un incremento de 29.5 % de biomasa seca y 35.5 % en número de frutos, en comparación con las plantas del tratamiento sin poda-Steiner. El rendimiento fue de 616.9 g/planta en 6 cortes de fruto con el tratamiento sin poda-régimen, superando 22.8 % al rendimiento obtenido del tratamiento cuatro tallos-régimen nutrimental. Con el manejo conjunto de la poda (dos, tres y cuatro tallos) y el régimen nutrimental se incrementa el tamaño de los frutos de chile habanero.

Palabras clave: nutrición, poda, etapa fenológica.

4.2 SUMMARY

Traditionally, habanero chili is produced in the open on the Yucatan peninsula. However, this production system is affected by factors capable of reducing yields, including nutrition, of which there is little information, as well as crop management in relation to pruning. Therefore, a study was conducted in the experimental field of the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Morelos from April to October 2016, to evaluate the effect of driving pruning together with the nutrition regime in habanero chili. The treatments were formed by crossing two factors: the type of pruning (2, 3 and 4 stems and without pruning) and the type of nutrition (Steiner solution and nutrition regime by phenological stage), having eight treatments distributed completely randomly with five repetitions each. The supply of the nutritive solutions was through drip irrigation, with flow rate of 8 L hour⁻¹. 9 daily irrigations were applied, with a time of 1 min/irrigation at the beginning of the development of the crop and up to 4 min/irrigation at the fruiting stage. The experimental unit was three plants, which placed in a black polyethylene container with a capacity of 15.14 L, with red tezontle gravel as substrate. The results indicated that by effect of the treatment without pruning-nutritional regime, an increase of 29.5 % of dry biomass and 35.5 % in number of fruits is achieved, in comparison with the plants of the treatment without pruning-Steiner. The yield was 616.9 g/plant in 6 cuts of fruit with the treatment without pruning-regimen, exceeding 22.8 % the yield obtained from the treatment four stems-nutritional regime. With the joint management of the pruning (two, three and four stems) and nutritional regime, the size of the fruits of habanero chili increased.

Keywords: nutrition, pruning, phenological stage.

4.3 INTRODUCCIÓN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) se produce tradicionalmente en la península de Yucatán (Macías *et al.*, 2013) donde el principal sistema de producción es a cielo abierto. Sin embargo, con este sistema tradicional el cultivo se ve afectado de forma negativa por diversos factores ambientales, capaces de reducir la calidad del producto, el rendimiento y la rentabilidad del cultivo (Lugo-Jiménez *et al.*, 2010). Además de que las características propias del chile habanero como el sabor, aroma, pungencia, color y vida de anaquel, dependen de las condiciones del clima, suelo y ubicación de la región (Borges-Gómez *et al.*, 2014).

Algunas recomendaciones generadas sobre los requerimientos nutricionales de *Capsicum chinense*, sobre todo cuando el cultivo se establece a cielo abierto, señalan el uso de dosis de fertilización para obtener los mejores rendimientos (Borges-Gómez *et al.*, 2010; Noh-Medina *et al.*, 2010). No obstante, los resultados de la fertilización en campo no son del todo satisfactorios ya que esto depende mucho del tipo de suelo y sus características (Borges-Gómez *et al.*, 2008; Borges-Gómez *et al.*, 2014).

Por otra parte, la información sobre soluciones nutritivas para el chile habanero cultivado bajo invernadero es muy escasa. Tucuch-Haas *et al.* (2012) han utilizado la solución Steiner (Steiner, 1984), modificando concentraciones de $\text{N-NH}_4^+:\text{N-NO}_3^-$, señalan que con la relación 0 % $\text{NH}_4^+:$ 100 % NO_3^- se obtienen plantas de mayor altura y de diámetro de tallo hasta el final del ciclo de cultivo y que la relación 20 % $\text{NH}_4^+:$ 80 % NO_3^- brinda mejores resultados en rendimiento y calidad de frutos. No obstante, se ha reportado que el chile habanero puede ser nutrido de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo. López-Gómez *et al.* (2017) evaluaron tres concentraciones de nitrato en la etapa vegetativa (10, 12 y 14 me L^{-1}), combinadas cada una con tres relaciones de nitrato:fosfato:sulfato en la etapa de floración (14:1.25:4.75, 12:1:7 y 14:1.25:4.75 me L^{-1}) y con tres relaciones nitrato:potasio en la etapa de fructificación (14:5, 14:5 y 12:7 me L^{-1}). Los resultados indicaron que por efecto del régimen nutrimental de 14 me L^{-1} de NO_3^- (etapa vegetativa), 14:1.25:4.75 me L^{-1} de NO_3^-

:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻ (etapa de floración) y 14:5 me L⁻¹ de NO₃⁻:K⁺ (etapa de fructificación), hubo un incremento en el número de flores/planta, número de frutos/planta y rendimiento, el cual fue de 1054 g/planta en seis cortes de fruto, 33 % superior al rendimiento obtenido de las plantas que se nutren con solución Steiner durante todo el ciclo de cultivo, mientras que la acumulación de materia seca también fue superior 20.3 %.

Por otra parte, en las plantas del género *Capsicum*, es poca la información acerca de la poda y su efecto sobre la productividad. La mayor información se encuentra para el pimiento (*Capsicum annuum*), donde el momento de la poda varía (Jaimez *et al.*, 2002). De acuerdo con Cruz *et al.* (2009), la producción de pimiento bajo invernadero en el norte de Europa y de América generalmente se basa en la práctica de poda tipo “holandés”, la cual consiste en el uso de cultivares de ciclo indeterminado que se conducen a dos tallos hasta alcanzar 2 a 3 m de altura, con lo que se puede incrementar el rendimiento. De igual forma, Villegas *et al.* (2004) señalan que en el cultivo de tomate de hábito de crecimiento indeterminado, las plantas se podan a dos tallos cuando inicia la primera inflorescencia y se dejan crecer libremente hasta llegar a los 2 m de altura, eliminando las hojas inferiores y los brotes laterales.

Sin embargo, en Chile habanero es escasa la información sobre los tipos de poda que requiere el cultivo. De acuerdo con Macías *et al.* (2013), en la producción de Chile habanero bajo invernadero, las plantas se podan a tres tallos durante todo el ciclo de cultivo. Por su parte, Jaimez *et al.* (2002), al evaluar el efecto de diferentes intensidades de poda (a los 10 y 15 nudos) llevadas a cabo en plantas de Chile habanero (*Capsicum chinense*), sobre la dinámica de producción de flores y frutos, observaron que se puede lograr un incremento del peso de los frutos, obteniendo frutos de mayor calidad comercial, aunque esto puede causar disminuciones entre 12-14 % en el rendimiento total.

La importancia de la poda radica en que en ocasiones un incremento rápido de algún órgano puede competir con las hojas por nutrientes que fácilmente se pueden

traslocar, lo que provoca senescencia foliar y reducción en su capacidad fotosintética. Asimismo existe competencia entre los órganos cuyo crecimiento y desarrollo son simultáneos; tal es el caso del crecimiento del ápice con la diferenciación foliar. En términos generales la poda puede influir en el número y calidad de las flores y frutos. Tal es el caso de Ponce *et al.* (2012), quienes reportan que en el cultivo de tomate de cáscara, si se reduce el número de frutos, éstos serán de mayor tamaño y calidad; sin embargo, una poda apical excesiva puede promover más el crecimiento vegetativo y suprimir la floración.

Con base en lo anterior, resulta conveniente analizar los efectos de la nutrición suministrada de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo junto con el tipo de poda de conducción sobre el rendimiento, la calidad física del fruto y los niveles de capsaicinoides del chile habanero cultivado bajo cubierta plástica en un sistema hidropónico.

Objetivo

Evaluar el efecto del número de tallos secundarios conjuntamente con el régimen de nutrición en chile habanero, sobre el desarrollo de la planta, el rendimiento, la calidad física de los frutos y la concentración de capsaicinoides.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en un invernadero del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (18°58'51" N, 99°13'57" O, 1868 msnm) en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

4.4.2 Material vegetal

Para la producción de plántulas se sembraron semillas de chile habanero 'Jaguar' en charolas de polietileno. Esta variedad presenta plantas con altura de 80-90 cm en campo abierto y hasta 1.80 m en sistemas de agricultura protegida con tutoreo; de 70 a 85 días a floración y de 115 a 120 días a la primera cosecha. Tiene de una a tres flores por nudo, las cuales pueden dar la misma cantidad de frutos. Presenta frutos uniformes de color verde esmeralda en madurez fisiológica que pasan a anaranjado intenso en la madurez total, alcanzando un valor de matiz (Hue) de 54. Los frutos tienen una longitud de 3.8 a 5.5 cm, diámetro de 2.5 a 3.0 cm y de 6.5 a 10 g de peso, con rendimientos que oscilan de 18.3 hasta 36 t ha⁻¹ (Ramírez *et al.*, 2012).

4.4.3 Manejo del experimento

Para la obtención de las plántulas, las semillas de chile habanero se sembraron en charolas de polietileno color negro de 72 cavidades con un sustrato comercial Sunshine 3[®]. La unidad experimental constó de tres bolsas de polietileno color negro de 25.5 cm de diámetro por 30 cm de altura con capacidad para 15.14 L, acomodadas en zig-zag, y llenadas con tezontle rojo, considerado un sustrato inerte desde el punto de vista químico (Ojodeagua *et al.*, 2008). En cada bolsa se colocó una plántula de chile habanero y para la toma de datos se analizó la planta que quedó en medio de las tres.

Los tratamientos aplicados comprendieron dos factores de estudio, la nutrición (régimen nutrimental y solución Steiner) y el tipo de poda de conducción (dos tallos, tres tallos, cuatro tallos y sin poda) (cuadro 1). La nutrición con solución Steiner en todo el ciclo de cultivo junto con las plantas que no se podaron sirvió como tratamiento testigo. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 4 repeticiones por tratamiento. El régimen nutrimental aplicado estuvo en función de la etapa de desarrollo del cultivo (cuadro 2).

Cuadro 1. Tratamientos conformados por el tipo de poda y de nutrición en la producción hidropónica de chile habanero bajo cubierta plástica.

Tratamientos	Tipo de poda	Tipo de nutrición
1*	Sin poda	Solución Steiner
2	Sin poda	Régimen nutrimental
3	4 tallos	Solución Steiner
4	4 tallos	Régimen nutrimental
5	3 tallos	Solución Steiner
6	3 tallos	Régimen nutrimental
7	2 tallos	Solución Steiner
8	2 tallos	Régimen nutrimental

(*) Tratamiento testigo. Diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento.

Cuadro 2. Régimen nutrimental aplicado en la producción hidropónica de chile habanero bajo cubierta plástica.

Etapa fenológica	Régimen nutrimental (me L ⁻¹)					
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Vegetativa	14	0.75	5.25	7	9	4
Floración	14	1.25	4.75	7	9	4
Fructificación	14	0.75	5.25	5	10.39	4.61

El aporte de micronutrientes fue el mismo para los distintos regímenes nutrimentales: Fe-EDTA (5 mg L⁻¹); H₃BO₃ (2.88 mg L⁻¹); MnCl₂ (1.81 mg L⁻¹); ZnSO₄ (0.22 mg L⁻¹); CuSO₄ (0.18 mg L⁻¹) y H₂MoO₄ (0.02 mg L⁻¹).

Desde el momento en que las plántulas fueron trasplantadas a las unidades experimentales se empezaron a aplicar los distintos tratamientos mediante un sistema de riego por goteo, programando con un temporizador para aplicar nueve riegos diarios, con una duración de 1 min cada riego los primeros días después del trasplante y aumentando el tiempo de riego conforme la planta lo requería durante su crecimiento.

Para prevenir el ataque de plagas y enfermedades se utilizaron productos químicos. Se aplicó Confidor® (i.a. Imidacloprid) a una dosis de 2 mL L⁻¹ para prevenir la aparición de posibles plagas como mosca blanca o trips (*Bemisia sp.*, *Trialeurodes sp.*, *Frankliniella spp.*, *Liryomisa sp.*) y Promyl® (i.a. Benomilo) 2 g L⁻¹, para prevenir de enfermedades como cenicilla (*Oidium spp.*) antracnosis (*Colletotrichum phomoides*), mancha de la hoja (*Septoria lycopersici*) y/o pudriciones (*Botrytis cinerea*), entre otras.

4.4.4 Variables de respuesta

Se midió la altura de la planta con una cinta métrica, desde la base del tallo hasta su ápice más largo; el diámetro del tallo se midió con un vernier de carátula tipo reloj y se obtuvo de la base del tallo principal, a 2 cm por encima del sustrato; el contenido relativo de clorofila se midió con el SPAD (Minolta) sobre la quinta y sexta hoja del ápice hacia abajo de cada planta; el área foliar se determinó con un integrador de área foliar (LI-COR LI3100C). La resistencia mecánica del tallo se obtuvo con un texturómetro Shimadzu Ez Test, tomando como punto para la medición el último entrenudo del tallo principal de cada planta y una penetración de 3 mm con un puntal cónico; el peso de materia fresca y seca de hoja, tallo y raíz se obtuvo con una báscula digital ADAM Core CQT5000. Para obtener el peso de materia seca, los diferentes órganos de la planta se metieron en bolsas de papel estraza y se colocaron en una estufa de circulación forzada de aire a una temperatura de 70 °C hasta que el peso de la materia seca se mantuvo constante. Para contabilizar el número de flores por planta, se tomó como parámetro para todas las plantas, las primeras seis bifurcaciones de cada tallo secundario y de ahí mismo se obtuvo el porcentaje de aborto floral. El volumen de raíz se midió con una probeta graduada de 2 L; aforando la probeta a 1 L,

introduciendo la raíz y obteniendo el registro del volumen de ésta con el aumento en el volumen de agua dentro de la probeta. Las variables destructivas se analizaron a los 156 días después del trasplante (DDT).

Los frutos se empezaron a cosechar a los 103 DDT cuando presentaron el color anaranjado intenso, realizando seis cortes en un lapso de 49 días de cosecha. En cada corte, los frutos de cada planta se contaron y se pesaron en una báscula digital EKS 402SI. Posteriormente se dividió el peso total entre el número de frutos de cada planta y se obtuvo su peso promedio individual. El rendimiento por planta se obtuvo con la suma de lo cosechado durante los seis cortes, así como el número de frutos totales. La longitud del fruto se midió desde el pedúnculo hasta su ápice con un vernier de carátula tipo reloj al igual que el diámetro en la parte media del fruto.

4.4.5 Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza con el programa SAS (Versión 9.0) y a los datos con efecto de tratamientos se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey ($P \leq 0.05$).

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por efecto del régimen nutrimental conjuntamente con la poda de conducción se obtuvieron plantas de mayor altura y con tallos más resistentes; sin embargo, el desarrollo de las plantas en la mayoría de las variables evaluadas resultó mejor a causa del régimen nutrimental sin realizar la poda. No obstante, el aborto de flor fue mayor cuando las plantas no fueron podadas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables de respuesta por el efecto conjunto de la poda y la nutrición en chile habanero cultivado bajo cubierta plástica.

Tipo de poda	Tipo de nutrición	AP (cm)	DTP (mm)	AF (cm ²)	RMT (N/cm ²)	CRC (SPAD)	NFP	ADF (%)
Sin poda	Solución Steiner*	104.6 d	19.7 a	12886 a	65.4 ab	66.5 e	127.2 b	61.5 ab
Sin poda	Régimen nutrimental	113.3 cd	21.8 a	15367 a	67.1 ab	75.2 bd	163.2 a	67.5 a
4 tallos	Solución Steiner	139 ab	16.8 ab	5134 b	67.7 ab	77.5 ac	52 cd	49.7 ac
4 tallos	Régimen nutrimental	139 ab	16.8 ab	6306 b	70.1 a	78.9 a	60.7 c	43.9 ac
3 tallos	Solución Steiner	140 ab	14.6 b	3561 b	63.2 b	78 ab	51.5 cd	30.8 c
3 tallos	Régimen nutrimental	149.3 a	14.6 b	4763 b	70.7 a	76.6 ac	48.5 cd	37.7 bc
2 tallos	Solución Steiner	126.6 bc	13.7 b	3495 b	69.7 a	72.9 d	33.7 d	25.6 c
2 tallos	Régimen nutrimental	146.6 a	13.5 b	4095 b	64.2 b	74.2 cd	49 cd	27.5 c
CV		4.94	10.73	20.8	2.86	1.71	7.6	24.13

AP (Altura de Planta); DTP (Diámetro de Tallo Principal); AF (Área Foliar); RMT (Resistencia Mecánica del Tallo); CRC (Contenido Relativo de Clorofila); NFP (Número de Flores por Planta); ADF (Aborto de Flor); (*) Tratamiento Testigo; CV (Coeficiente de Variación). Medias con la misma literal son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Ramírez-Luna *et al.* (2005) reportan más del 40 % de aborto de flor, mientras que Medina-Lara *et al.* (2008) han descrito hasta 85 % de aborto de flor en este cultivo. Por su parte, Cruz *et al.* (2012) señalan que las temperaturas altas provocan trastornos fisiológicos en plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) ocasionando un elevado aborto de flores. Patiño-Torres y Jaimez-Arellano (2016) señalan que las altas temperaturas causan aumento en la producción de etileno, lo cual provoca aborto de flores, mencionando también que altas densidades de plantas por superficie induce el aborto floral a causa de una baja intensidad de luz. De igual forma, Jaimez *et al.* (2010)

atribuyen a las altas temperaturas el mismo efecto en pimentón (*Capsicum annuum*), pero argumentan que el fenómeno se debe a una afectación del proceso de germinación del polen y del tubo polínico, además de que este proceso también puede ser diferente entre cultivares.

Por otra parte, cuando las plantas se trataron bajo el mismo régimen nutrimental pero no se podaron, se obtuvieron los valores más altos en cuanto a volumen de raíz y pesos de materia fresca (Cuadro 4), así como también el peso de materia seca de los órganos de la planta (hoja, tallo y raíz) y materia seca total (Cuadro 5).

Cuadro 4. Volumen de raíz y pesos de materia fresca de plantas de chile habanero cultivado bajo cubierta plástica.

Tipo de poda	Tipo de nutrición	VR (cm ³)	PMFH (g)	PMFT (g)	PMFR (g)	PMFTotal (g)
Sin poda	Solución Steiner*	413.3 ab	388.3 ab	531.6 b	323.3 ab	1243.3 ab
Sin poda	Régimen nutrimental	443.3 a	495 a	825 a	338.3 a	1658.3 a
4 tallos	Solución Steiner	336.6 bc	246.6 bc	391.6 bc	288.3 a-c	926.7 b-d
4 tallos	Régimen nutrimental	423.3 ab	283.3 bc	406.6 bc	336.6 a	1026.7 bc
3 tallos	Solución Steiner	270 c	153.3 c	216.6 c	228.3 bc	598.3 d
3 tallos	Régimen nutrimental	416.6 ab	220 c	331.6 bc	310 ab	861.7 b-d
2 tallos	Solución Steiner	340 bc	173.3 c	203.3 c	210 c	586.7 d
2 tallos	Régimen nutrimental	286.6 c	175 c	243.3 c	208.3 c	626.7 cd
CV		9.5	20.04	22.8	12.06	15.64

VR (Volumen de Raíz); PMFH (Peso de Materia Fresca de Hoja); PMFT (Peso de Materia Fresca de Tallo); PMFR (Peso de Materia Fresca de Raíz); PMFTotal (Peso de Materia Fresca Total); (*) Tratamiento Testigo; CV (Coeficiente de Variación). Medias con la misma literal son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Cuadro 5. Peso de materia seca de plantas de chile habanero cultivado bajo cubierta plástica.

Tipo de poda	Tipo de nutrición	PMSH (g)	PMST (g)	PMSR (g)	PMSTotal (g)
Sin poda	Solución Steiner*	83.3 ab	141.6 b	71.6 ab	298.3 b
Sin poda	Régimen nutrimental	111.6 a	226.6 a	85 a	423.3 a
4 tallos	Solución Steiner	55 bc	103.3 bc	66.6 a-c	225 bc
4 tallos	Régimen nutrimental	65 bc	103.3 bc	70 a-c	238.3 bc
3 tallos	Solución Steiner	38.3 c	55 c	51.6 cd	145 c
3 tallos	Régimen nutrimental	51.6 c	85 bc	55 b-d	191.6 bc
2 tallos	Solución Steiner	40 c	53.3 c	45 d	138.3 c
2 tallos	Régimen nutrimental	41.6 c	60 c	45 d	146.6 c
CV		18.3	23.45	11.17	16.95

PMSH (Peso de Materia Seca de Hoja); PMST (Peso de Materia Seca de Tallo); PMSR (Peso de Materia Seca de Raíz); PMSTotal (Peso de Materia Seca Total); (*) Tratamiento Testigo; CV (Coeficiente de Variación). Medias con la misma literal son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

El peso de materia seca total de las plantas (hoja + tallo + raíz) nutridas con el régimen y sin podar fue 29.5 % superior al peso de las plantas que se nutrieron con solución Steiner y tampoco recibieron poda. El porcentaje de materia seca de la parte aérea de las plantas nutridas con el tratamiento sin poda/régimen fue de 79.9 % mientras que la producción de materia seca de raíz correspondió al 20.1 %. Por efecto del mismo tratamiento también se obtuvo el mayor rendimiento (Figura 1). Estos resultados parecen tener relación con lo que señalan Peña y Zenner (2015), quienes afirman que altos porcentajes de materia seca de la parte aérea de las plantas de *Capsicum annuum* indican mayor número de hojas, fuente y producción de fotoasimilados para el llenado de los órganos exigentes. Además, Peil y Gálvez (2005) ponen de manifiesto que en las condiciones de cultivo en substratos artificiales bajo invernadero, con un aporte de agua y nutrientes próximos al óptimo, se puede lograr un crecimiento máximo de las plantas con un sistema radical reducido. En el caso del pepino, esta fracción varía entre 8 y 15 %, en la etapa de crecimiento vegetativa; y entre 3 y 7 % durante la etapa reproductiva. En el caso del tomate, la fracción de materia seca

destinada a las raíces varía entre 17 y 20 % en etapa vegetativa; y entre 1 y 10 % en el estadio reproductivo.

En cuanto al rendimiento, el mayor valor fue de 616.9 g por planta en seis cortes de fruto por efecto del tratamiento sin poda/régimen, superando en 22.8 % al rendimiento de las plantas podadas a cuatro tallos y nutridas con el régimen. Por su parte, Tucuch-Haas *et al.* (2012) reportaron un rendimiento de chile habanero de 302 g/planta en tres cortes de fruto, suministrando la solución Steiner con una relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de 10/90 %, respectivamente, en combinación con una mezcla de sustrato tezontle-fibra de coco (75-25 % respectivamente) y con granulometría de tezontle de 10-20 mm.

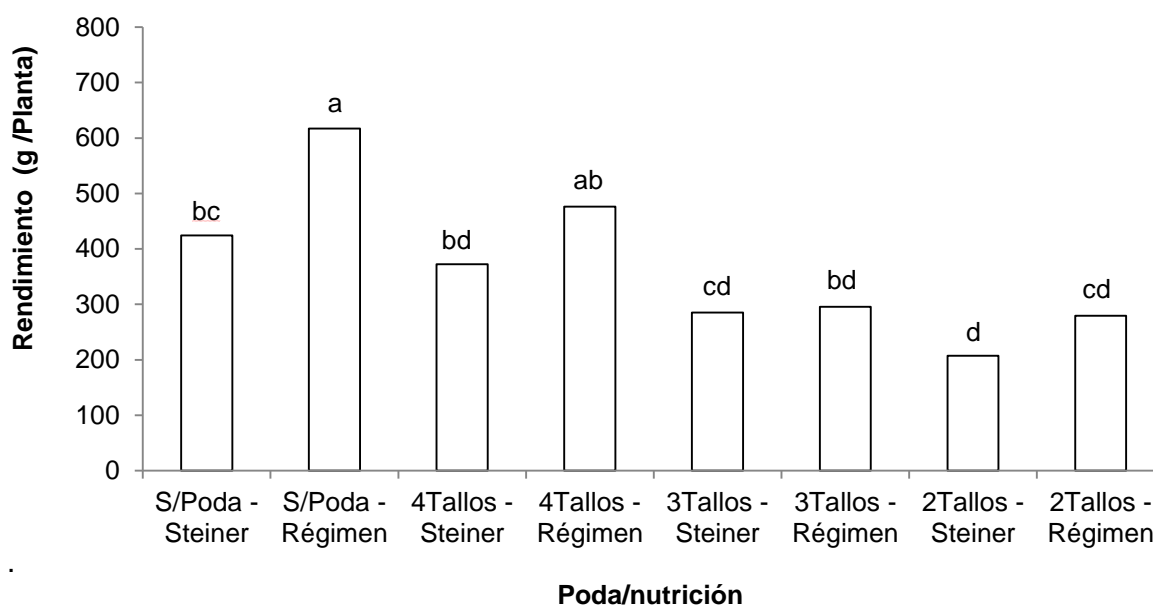


Figura 1. Rendimiento acumulado en un lapso de 49 días de cosecha de chile habanero por efecto de la poda conjuntamente con la nutrición. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Por su parte, Alejo-Santiago *et al.* (2015) evaluaron cuatro concentraciones de NO_3^- en la solución nutritiva (5, 10, 15 y 20 me L^{-1}), tomando como base para su formulación

lo propuesto por Steiner y Van Winden (1970). Señalan que al incrementar la concentración de NO_3^- en la solución nutritiva, la producción de materia seca en los diferentes órganos de la planta de chile habanero var. 'Big Brother', aumentó significativamente, observando que con la dosis de 20 me L^{-1} , la materia seca correspondiente a hojas, tallos y flores fue la más alta con respecto a los demás tratamientos, mientras que la mayor producción de materia seca total se registró en el tratamiento de 15 me L^{-1} . Lo anterior es debido a que a partir de 20 me L^{-1} , disminuye la producción de materia seca de fruto. Como consecuencia, también observaron que el incremento de la concentración de NO_3^- en la solución nutritiva, hasta una dosis de 15 me L^{-1} , provocó aumento en el rendimiento. No obstante, a partir de la dosis de 20 me L^{-1} , el rendimiento disminuye. Este aumento en materia seca de órganos y de rendimiento coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que el régimen nutrimental aplicado tuvo mayor concentración de nitrato ($14 \text{ me}\cdot\text{L}^{-1}$) en todas las etapas fenológicas del cultivo, a diferencia de la solución Steiner (12 me L^{-1}).

Por efecto del régimen nutrimental sin necesidad de podar la planta, también se obtuvo el mayor número de frutos por planta (Cuadro 6), superando con 35.5 % más frutos que las plantas nutridas con solución Steiner sin podar y hasta en 61 % la cantidad de frutos producidos por las plantas podadas a 4 tallos independientemente de la nutrición aplicada. Sin embargo, de las plantas que se podaron a dos tallos principales nutridas con el régimen, se obtuvieron frutos 47.1 % más pesados que los que se obtuvieron de las plantas sin poda más régimen nutrimental (Cuadro 6).

En cuanto a la longitud y diámetro del fruto, los valores más altos se presentaron en la mayoría de los tratamientos donde se realizó la poda a diferencia de las plantas que no fueron podadas (Cuadro 6). No obstante, se observa una tendencia, sobre todo en el diámetro de los frutos, que cuando las plantas son podadas y además reciben un régimen nutrimental, el diámetro es mayor.

Cuadro 6. Calidad y cantidad de frutos por planta de chile habanero cultivado bajo cubierta plástica.

Tipo de poda	Tipo de nutrición	Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Frutos/planta
Sin poda	Solución Steiner*	1.43 c	19.2 c	17.4 c	179.6 b
Sin poda	Régimen nutrimental	2.04 bc	20.9 bc	17.7 bc	278.6 a
4 tallos	Solución Steiner	2.57 a-c	27.3 ab	21.3 ab	103.6 bc
4 tallos	Régimen nutrimental	2.92 ab	30.8 a	22.8 a	111 bc
3 tallos	Solución Steiner	2.72 a-c	28.1 a	21.8 a	61.3 c
3 tallos	Régimen nutrimental	2.05 bc	29.9 a	21.9 a	68.6 c
2 tallos	Solución Steiner	2.59 ac	28.3 a	21.3 ab	59.3 c
2 tallos	Régimen nutrimental	3.86 a	29.4 a	23.5 a	60.6 c
CV		20.3	8.54	6.29	12.49

(*) Tratamiento Testigo; CV (Coeficiente de Variación). Medias con la misma literal son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

De acuerdo con Ramírez-Luna *et al.* (2005) las plantas de chile habanero desarrolladas en invernadero presentan mayor número de flores y frutos, pero con tamaño de fruto pequeño, en contraste con la producción en campo, donde se obtienen frutos más grandes; atribuyendo el menor tamaño de fruto, a la baja intensidad de luz que hay en el invernadero. Condición que favorece plantas más grandes, de tallos más delgados, pero de frutos pequeños. Sin embargo, en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), Aldana *et al.* (2007) afirman que el tamaño del fruto depende directamente de la cantidad de granos de polen depositados en el estigma, es decir, con menor cantidad de polen, se producen frutos más pequeños, deformes o con pocas semillas. Este problema es de gran importancia ya que el incremento de los parámetros de calidad puede aumentar la vida de anaquel y, por lo tanto, el valor económico de los mismos (Chamú-Baranda *et al.*, 2011).

4.6 CONCLUSIONES

El régimen nutrimental basado en la etapa fenológica del cultivo conjuntamente con la poda de conducción si afecta el rendimiento y la calidad de los frutos de chile habanero.

El rendimiento de chile habanero fue mayor cuando se aplicó el régimen nutrimental sin podar la planta.

El tamaño y peso de los frutos de chile habanero es mayor cuando las plantas son nutridas con base en su etapa fenológica y son podadas a 4 y 2 tallos. Sin embargo, con esta poda el rendimiento total disminuye 22.8 y 53.7 % respectivamente, en comparación con las plantas no podadas.

4.7 LITERATURA CITADA

- Aceves N., L. A.; J. F. Juárez L.; D. J. Palma L.; R. López L.; B. Rivera H.; J. A. Rincón R.; R. Morales C.; R. Hernández A.; A. Martínez S. 2008. Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en el Estado de Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, (SAGARPA), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Colegio de Postgraduados (COLPOS). 33 p.
- Aldana, J.; J. R. Cure; M. T. Almanza; D. Vecil; D. Rodríguez. 2007. Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Agronomía Colombiana* 25: 62-72.
- Alejo-Santiago, G.; G. Luna-Esquivel; R. Sánchez-Hernández; E. Salcedo-Pérez; J. D. García-Paredes; V. M. Jiménez-Meza. 2015. Determination of the nitrogen requirement for habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21 (3): 215-227.
- Armenta-Bojórquez, A. D.; G. A. Baca-Castillo; G. Alcántar-González; J. Kohashi-Shibata; J. G. Valenzuela-Ureta; A. Martínez-Garza. 2001. Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 7: 61-75.
- Berny-Mier y Teran, J. C.; L. Abdala-Roberts; A. Durán-Yáñez; F. Tut-Pech. 2013. Variación en resistencia a insectos hervívoros y virosis en líneas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en Yucatán, México. *Agrociencia* 47: 471-482.
- Borges-Gómez, L.; T. González-Estrada; M. Soria-Fregoso. 2008. Predicción de la demanda nutrimental de potasio para la producción de *Capsicum chinense* Jacq. en el sureste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 8: 69-80.
- Borges-Gómez, L.; L. Cervantes C.; J. Ruiz N.; M. Soria F.; V. Reyes O.; E. Villanueva C. 2010. Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo

- diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Terra Latinoamericana* 28: 35-41.
- Borges-Gómez, L.; C. Moo-Kauil; J. Ruíz-Novelo; M. Osalde-Balam; C. González-Valencia; C. Yam-Chimal; F. Can-Puc. 2014. Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: características físicas y químicas predominantes. *Agrociencia* 48:347-359.
- Chamú-Baranda, J. A.; A. López-Ordaz; C. Ramírez-Ayala; C. Trejo-López; E. Martínez-Villegas. 2011. Respuesta del pimiento morrón al secado parcial de la raíz en hidroponía e invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 97-110.
- Chan C., N.; E. Sauri D.; L. Olivera C.; J. I. Rivas B. 2011. Evaluación de la calidad en la industrialización del chile habanero (*Capsicum chinense*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 12 (2): 222-226.
- Cruz H., N.; F. Sánchez del C.; J. Ortiz C.; M. del C. Mendoza C. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y periodo de cosecha en chile pimiento. *Agricultura Técnica en México* 35: 73-80.
- Cruz C., J. M.; J. L. Medina A.; F. A. Larqué S. 2012. Efecto de aspersiones del dimetilsulfóxido en la productividad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (4): 785-788.
- Guzmán-Antonio, A.; L. Borges-Gómez; L. Pinzón-López; E. Ruiz-Sánchez; J. Zúñiga-Aguilar. 2012. Efecto del ácido salicílico y la nutrición mineral sobre la calidad de plántulas de chile habanero. *Agronomía Mesoamericana* 23 (2): 247-257.
- Hernández R., J.; O. Martínez V.; P. Quinto D.; J. Cuevas D.; R. Acosta O.; O. Aguilar J.; 2010. Secado del chile habanero con energía solar. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 10 (2): 120-127.
- Jaimez, R. E.; N. Nava; Y. Rivero; K. Trompiz. 2002. Efecto de diferentes intensidades de poda sobre la dinámica de floración y producción de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista de la Facultad de Agronomía* 19: 132-139.
- Jaimez, R.; B. Añez; W. Espinoza. 2010. Desfloración: su efecto sobre el aborto de estructuras reproductivas y rendimiento en pimentón (*Capsicum annumm* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 27: 418-432.

- Jarret, R. L.; Berke, T.; Baldwin, E. A.; Antonious, G. F. 2009. Variability for Free Sugars and Organic Acids in *Capsicum chinense*. *Chemistry & Biodiversity* 6: 138-145.
- López-Gómez, J. D.; O. G. Villegas-Torres; H. Sotelo N.; M. Andrade R.; P. Juárez L.; E. Martínez F. 2017. Rendimiento y calidad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) por efecto del régimen nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8 (8): 1747-1758.
- Lugo-Jiménez, N.; M Carballo-Bautista; E. Sauri-Duch; A. Centurión-Yah; E. Tamayo-Canul. 2010. Efecto del sistema de cultivo sobre la calidad microbiológica del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) después de su cosecha. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 11 (2): 171-179.
- Macías R., H.; J. A. Muñoz V.; M. A. Velásquez V.; M. C. Potisek T.; M. M. Villa C. 2013. Chile habanero: descripción de su cultivo en la península de Yucatán. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 12 (2): 37-43.
- Medina-Lara, F.; I. Echevarría-Machado; R. Pacheco-Arjona; N. Ruiz-Lau; A. Guzmán-Antonio; M. Martínez-Estevez. 2008. Influence of Nitrogen and Potassium Fertilization on Fruiting and Capsaicin Content in Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *HortScience* 43 (5): 1549-1554.
- Navarro, J. M.; P. Flores; C. Garrido; V. Martínez. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry* 96: 66-73.
- Noh-Medina, J.; L. Borges-Gómez; M. Soria-Fregoso. 2010. Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12 (2): 219-228.
- Ojodeagua A., J. L.; J. Z. Castellanos R.; J. J. Muñoz R.; G. Alcántar G.; L. Tijerina C.; P. Vargas T.; S. Enríquez R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Fitotecnia Mexicana* 31 (4): 367-374.
- Pacho-Carrillo, J. D.; R. M. Domínguez-Espinosa; C. G Cantón; A. Ponsich; R. Turner; G. Manzanilla; 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. *Tecnología, Ciencia y Educación (IMIQ)* 17 (2): 95-103.

- Patiño-Torres, A. J. y R. E. Jaimez-Arellano. 2016. Relación Fuente-Fuerza de la demanda en el aborto de estructuras reproductivas, tasa fotosintética y rendimiento en *Capsicum annuum*. *Agrociencia* 50 (5): 649-664.
- Peil, R. M. y Gálvez, J. L. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasileira de Agrociência* 11: 05-11.
- Peña B., F y I. Zenner de P. 2015. Growth of three color hybrids of sweet paprika under greenhouse conditions. *Agronomía Colombiana* 33 (2): 139-146.
- Pérez-Gutiérrez, A.; A. Pineda-Doporto; L. Latournerie-Moreno; W. Pam-Pech; C. Godoy-Ávila. 2008. Niveles de evapotranspiración potencial en la producción de chile habanero. *Terra Latinoamericana* 26: 53-59.
- Ponce V., J. J.; A. Peña-Lomelí; J. E. Rodríguez-Pérez; R. Mora-Aguilar; R. Castro-Brindis; N. Magaña L. 2012. Densidad y Poda en Tres Variedades de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horm.) Cultivado en Invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18 (3): 325-332.
- Ramírez M., M.; G. Arcos C.; H. Mata V.; E. Vázquez G. 2012. Jaguar, variedad de chile habanero para México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico 35 p.
- Ramírez-Luna, E.; C. de la C. Castillo-Aguilar; E. Aceves-Navarro; E. Carrillo-Ávila. 2005. Efecto de Productos con Reguladores de Crecimiento Sobre la Floración y Amarre de Fruto en Chile 'Habanero'. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 93-98.
- Ruiz S., E.; O. Aguilar O.; J. Cristóbal A.; J. Tun S.; L. Latournerie M.; A. Pérez G. 2009. Comparación de la efectividad de un insecticida botánico y dos químicos convencionales en el control del picudo (*Anthonomus eugenii* Cano) (Coleóptera: Curculionidae) en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Fitosanidad* 13 (2): 117-120.
- Steiner, A. A. 1984. The universal solution. ISOSC. pp. 633-649. In: Proceedings of 6th International Congress on Soilles Culture. Lunteren, The Netherlands.

- Steiner, A. A. and H. Van Widen. 1970. Recipe for Ferric Salts of Ethylenediaminetetraacetic Acid. *Plant Physiol.* 46: 862-863.
- Tucuch-Haas, C. J.; G. Alcántar-González; V. M. Ordaz-Chaparro; J. A. Santizo-Rincón; A. Larqué-Saavedra. 2012. Producción y Calidad de Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana* 30: 9-15.
- Tun D., J. de la C. 2001. Chile Habanero. Características y Tecnología de Producción. SAGARPA-INIFAP. 74 p.
- Villegas C., J. R.; V. A. González H.; J. A. Carrillo S.; M. Livera M.; F. Sánchez del Castillo; T. Osuna E. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. *Fitotecnia Mexicana* 27 (4): 333-338.

CAPÍTULO 5

EFECTO CONJUNTO DE LA PODA DE CONDUCCIÓN Y LA FERTILIZACIÓN FOLIAR EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)

5.1 RESUMEN

Debido a la escasa información sobre técnicas de manejo que repercutan en la productividad y calidad del chile habanero, se realizó una investigación en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, con el objetivo de analizar los efectos de la poda de conducción conjuntamente con la fertilización foliar sobre el rendimiento y calidad de los frutos. El cultivo se estableció en un sistema hidropónico bajo cubierta plástica. Se evaluaron diez tratamientos conformados por dos tipos de poda (sin poda y poda a cuatro tallos) más cinco fórmulas de fertilización foliar (agua, Agromil-V[®], FF-UAEM02, FF-UAEM03 y FF-UAEM04). El diseño experimental fue en bloques completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental se conformó por seis plantas, colocadas cada una en un contenedor de polietileno negro con capacidad para 15.14 L, con grava de tezontle rojo como sustrato. Los resultados indicaron que, en los tratamientos donde no se podaron las plantas, hubo una respuesta significativa cuando éstas fueron fertilizadas con la fórmula FF-UAEM02, obteniendo un rendimiento en siete cortes de 1095 g/planta, 32.3 % superior respecto al rendimiento de las plantas no podadas con aplicación foliar de agua y 69.9 % superior al mejor rendimiento de los tratamientos con plantas podadas. Por efecto del tratamiento sin poda/FF-UAEM02, el contenido de materia seca fue 35.8 % superior al que se obtuvo por el tratamiento sin poda/agua. Sin embargo, el tamaño del fruto fue mayor por efecto de la poda a 4 tallos más la aplicación de Agromil-V[®] y la fórmula FF-UAEM03, superando en 30.2 % la longitud, 21.8 % el diámetro y 35.8 % el peso de los frutos del tratamiento sin poda/FF-UAEM02.

Palabras clave: manejo agronómico, productividad, regulador de crecimiento.

5.2 SUMMARY

Due to the scarce information on management techniques that affect the productivity and quality of the habanero chili, a research was carried out in the experimental field of the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Morelos, with the objective to analyze the effects of the pruning driving in conjunction with foliar fertilization on the yield and quality of the fruits. The crop was established in a hydroponic system under plastic cover. Ten treatments consisting of two types of pruning (without pruning and pruning to four stems) plus five foliar fertilization formulas (water, Agromil-V®, FF-UAEM02, FF-UAEM03 and FF-UAEM04) were evaluated. The experimental design was in blocks completely randomized with three repetitions. The experimental unit was formed by six plants, each placed in a black polyethylene container with a capacity of 15.14 L, filled with red tezontle gravel as a substrate. The results indicated that among the treatments where the plants were not pruned, there was a significant response when they were fertilized with the formula FF-UAEM02, obtaining a yield in seven cuts of 1095 g/plant, 32.3 % higher than the yield of the plants non-pruned with foliar application of water and 69.9 % superior compared to plants driven to 4 stems and fertilized with Agromil-V®. As a result of the treatment without pruning/FF-UAEM02, the dry matter content was 35.8 % higher than the dry matter obtained by the treatment without pruning/water. However, the size of the fruit was greater due to the effect of pruning to 4 stems plus the application of Agromil-V® and the formula FF-UAEM03, exceeding by 30.2 % the length, 21.8 % the diameter and 35.8 % the weight of the fruits obtained with the treatment without pruning/FF-UAEM02.

Keywords: agronomic management, productivity, growth regulator.

5.3 INTRODUCCIÓN

A pesar de la importancia económica que tiene el chile habanero (Macías *et al.*, 2013; Nieves-González *et al.*, 2015), pocas investigaciones se han realizado para estudiar las condiciones de cultivo que puedan afectar su productividad y la calidad del fruto. Por ejemplo, de la información acerca de la poda y su efecto sobre la productividad en las plantas del género *Capsicum*, la mayor información se encuentra con el pimentón (*Capsicum annuum*) donde el momento de la poda varía (Jaimez *et al.*, 2002). De acuerdo con Cruz *et al.* (2009) la producción de pimiento bajo invernadero en el norte de Europa y de América generalmente se basa en la práctica de poda tipo “holandés”, que consiste en el uso de cultivares de ciclo indeterminado que se conducen a dos tallos hasta alcanzar 2 a 3 m de altura, con lo cual se pueden incrementar los rendimientos. De igual forma, Reséndiz-Melgar *et al.* (2010) señalan que, conduciendo a la planta de pimiento morrón con dos tallos en forma de V, lo cual se consigue con podar una de las ramas de cada bifurcación, dejando la flor formada en la horqueta, se logra que en cada nudo de los dos tallos crezca un fruto. Al limitar el número de frutos que crecen simultáneamente, este sistema puede modificar las relaciones fuente demanda, ya que con este tipo de poda se busca la distribución equilibrada de los azúcares de la fotosíntesis entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo, produciendo frutos en cada nudo donde se bifurcan los tallos (Sánchez del Castillo *et al.*, 2017a y 2017b).

Por su parte, Patiño-Torres y Jaimez-Arellano (2016) señalan que el manejo del cultivo de *C. annuum* debe propiciar la renovación de las hojas para mantener la eficiencia fotosintética y la eliminación de flores hasta el tercer nudo, para que un número mayor de hojas trascienda de órgano de demanda a órgano fuente antes de la fructificación. Con esto aumenta la disponibilidad de fotoasimilados, disminuye la competencia entre órganos, se reduce el aborto floral y mejora la calidad de los frutos. Mientras que Moreno *et al.* (2012) indican que la poda severa a una altura de 15 cm después de una cosecha puede ser una alternativa para la renovación de tejido productivo en plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.), alargando el período reproductivo de la planta.

No obstante, señalan que los frutos producidos después de la poda, aunque resultan comerciales, son menores en tamaño y peso con respecto a los obtenidos en la primera cosecha.

Sin embargo, en Chile habanero es escasa la información sobre los tipos de poda que requiere el cultivo. De acuerdo con Jaimez *et al.* (2002) se puede lograr un incremento del peso de los frutos por efecto de diferentes intensidades de poda (a los 10 y 15 nudos) llevadas a cabo en plantas de Chile habanero (*Capsicum chinense*), obteniendo frutos de mayor calidad comercial, sin embargo esto puede producir disminuciones de entre 12 a 14 % en la producción total.

Por otra parte, la fertilización foliar siempre ha demostrado una respuesta positiva en los cultivos, sin embargo, los incrementos de rendimiento por el uso de esta práctica son muy variables, lo que sugiere realizar más trabajos en busca de optimizar la capacidad productiva de las cosechas de diferentes cultivos (Trinidad y Aguilar, 1999). Por ejemplo, Trejo-Téllez *et al.* (2003) elaboraron formulaciones con fertilizantes para aplicarlas de manera foliar a los cultivos de Chile jalapeño, pimiento morrón y pepino, observando una respuesta favorable debido a la fertilización foliar sobre los rendimientos y la calidad de los frutos en cuanto a pH, contenido de azúcares y acidez titulable.

Se sabe que muchos metabolitos secundarios sintetizados en las plantas son una fuente de compuestos con capacidad antioxidante tales como tocoferoles, carotenoides, flavonoides, vitamina C, entre otros; por lo que, recientemente, se ha determinado el nivel de antioxidantes en frutas, hortalizas, especias, plantas medicinales y en alimentos procesados. Sin embargo, la información relacionada con el impacto de prácticas agrícolas que modifiquen los niveles de metabolitos secundarios en las plantas, como los antioxidantes, es escasa (Ramírez *et al.*, 2006). Por su parte, Sandoval-Rangel *et al.* (2011) aplicando soluciones foliares de glutamato monosódico (GMS) al 1 %, ácido salicílico (AS) 10^{-4} M, ácido benzoico (AB) 10^{-4} M y combinación de GMS con los AS y AB, a plantas de Chile piquín cultivado en campo

con acolchado y fertirriego, con el objetivo de evaluar el efecto de dichos ácidos en el crecimiento y la producción de frutos en la planta, encontraron que por efecto del GMS se incrementa el crecimiento y la producción de frutos, aumenta el contenido de sodio y de azúcar, mientras que por efecto del AS se reduce el crecimiento, disminuye el contenido de carbohidratos pero aumenta el nivel de capsaicina. De igual forma el AB aumenta el contenido de capsaicina, el crecimiento y la producción de frutos, pero disminuye el contenido de carbohidratos, fibra y proteína.

Con base en lo anterior, sería necesario analizar los efectos de la poda junto con la fertilización foliar sobre el rendimiento y calidad del chile habanero, cuando este es cultivado bajo cubierta plástica en sistema hidropónico.

Objetivo

Evaluar el efecto conjunto de la poda de conducción y la fertilización foliar en chile habanero cultivado bajo cubierta plástica, sobre el rendimiento y la calidad del fruto de chile habanero.

5.4 MATERIALES Y MÉTODOS

5.4.1 Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en un invernadero del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (18°58'51" N, 99°13'57" O, 1868 msnm) en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

5.4.2 Material vegetal

Se usaron semillas de chile habanero de la variedad 'Jaguar'. Esta variedad presenta plantas con altura de 80-90 cm en campo abierto y hasta 1.80 m en sistemas de agricultura protegida con tutoreo; de 70 a 85 días a floración y de 115 a 120 días a la primera cosecha. Tiene de una a tres flores por nudo, las cuales pueden dar la misma cantidad de frutos. Presenta frutos uniformes de color verde esmeralda en estado sazón que pasan a anaranjado intenso en la madurez total, alcanzando un valor de Hue= 54. Los frutos tienen una longitud de 3.8 a 5.5 cm, diámetro de 2.5 a 3.0 cm y de 6.5 a 10 g de peso promedio, con rendimientos que oscilan de 18.3 hasta 36 t ha⁻¹ (Ramírez *et al.*, 2012).

5.4.3 Manejo del experimento

Para la obtención de las plántulas, las semillas de chile habanero se sembraron en charolas de polietileno color negro de 72 cavidades con el sustrato comercial Sunshine Mix 3[®].

Los tratamientos aplicados comprendieron dos factores de estudio, el tipo de poda de conducción y la fertilización foliar (cuadro 1). Para la fertilización foliar se utilizó un producto comercial (Agromil-V[®]) y tres fórmulas distintas hechas a base de una mezcla de nutrientes. La nutrición del cultivo se realizó con base en un régimen nutrimental

aplicado en función de la etapa de desarrollo del cultivo como lo indica López-Gómez *et al.* (2017) (cuadro 2).

La unidad experimental constó de seis bolsas de polietileno color negro de 25.5 cm de diámetro por 30 cm de altura con capacidad para 15.14 litros, acomodadas en zig-zag, y llenadas con tezontle rojo, considerado un sustrato inerte desde el punto de vista químico (Ojodeagua *et al.*, 2008). En cada bolsa se colocó una plántula de chile habanero y para la toma de datos se analizaron las plantas centrales. La distancia entre plantas para los tratamientos donde no se realizó poda fue de 60 cm y para los tratamientos donde se aplicó la poda, la distancia entre plantas fue de 30 cm. En ambos casos la distancia entre hileras fue de 1.20 m, por lo que la densidad de población aproximada para las plantas que no recibieron poda fue de 13800 plantas por hectárea, mientras que para las plantas podadas fue de 27700 plantas por hectárea.

Cuadro 1. Tratamientos conformados por el tipo de poda y la fertilización foliar en la producción hidropónica de chile habanero bajo cubierta plástica.

Tratamientos	Tipo de poda	Tipo de fertilización foliar
1*	Sin poda	Agua
2	Sin poda	Agromil-V®
3	Sin poda	FF-UAEM02
4	Sin poda	FF-UAEM03
5	Sin poda	FF-UAEM04
6	4 tallos	Agua
7	4 tallos	Agromil-V®
8	4 tallos	FF-UAEM02
9	4 tallos	FF-UAEM03
10	4 tallos	FF-UAEM04

(*) Tratamiento testigo. Diseño experimental en bloques completos al azar con tres repeticiones. Las fórmulas FF-UAEM02, 03 y 04, fueron elaboradas a base de una mezcla de nutrientes con el objetivo de poder patentarlas.

Cuadro 2. Régimen nutrimental aplicado en la producción hidropónica de chile habanero bajo cubierta plástica.

Etapa fenológica	Régimen nutrimental (me L ⁻¹)					
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Vegetativa	14	0.75	5.25	7	9	4
Floración	14	1.25	4.75	7	9	4
Fructificación	14	0.75	5.25	5	10.39	4.61

El aporte de micronutrientes fue el mismo para los distintos regímenes nutrimentales: Fe-EDTA (5 mg L⁻¹); H₃BO₃ (2.88 mg L⁻¹); MnCl₂ (1.81 mg L⁻¹); ZnSO₄ (0.22 mg L⁻¹); CuSO₄ (0.18 mg L⁻¹) y H₂MoO₄ (0.02 mg L⁻¹).

La aplicación de los distintos tratamientos comenzó desde el momento en que las plántulas fueron trasplantadas a las unidades experimentales mediante un sistema de riego por goteo, programando con un temporizador para aplicar nueve riegos diarios, con una duración de 1 min cada riego los primeros días después del trasplante y aumentando el tiempo de riego conforme la planta lo requería durante su crecimiento.

Para prevenir el ataque de plagas y enfermedades se utilizaron productos químicos. Por ejemplo, se aplicó Confidor® (i.a. Imidacloprid) para prevenir la aparición de posibles plagas como mosca blanca o trips y fungicidas como Promyl® (i.a. Benomilo) y Manzate (i.a. Mancoceb) para prevenir de enfermedades como cenicilla, antracnosis, mancha de la hoja y/o pudriciones, entre otras.

5.4.4 Variables de respuesta

Se midió la altura de la planta con una cinta métrica, desde la base del tallo hasta el ápice del tallo más largo; el diámetro del tallo se midió con un vernier graduado y se obtuvo de la base del tallo principal, a 2 cm por encima del sustrato; el contenido de clorofila se midió con un SPAD-502 (Konica Minolta) considerando la quinta hoja después del ápice de cada tallo.

Los frutos se empezaron a cosechar a los 144 DDT cuando presentaron el color anaranjado intenso, realizando 7 cortes de fruto, uno por semana. Una vez cosechados, los frutos de cada planta se contaron y se pesaron en una báscula digital EKS 402SI. El peso total se dividió entre el número de frutos de cada planta y se obtuvo el peso promedio por fruto. La longitud del fruto se midió desde el pedúnculo hasta el ápice del fruto con un vernier graduado al igual que el diámetro en la parte media del fruto. Mientras que el rendimiento por planta se obtuvo con la suma de lo cosechado durante el lapso de siete semanas.

Las variables destructivas se midieron a los 188 días después del trasplante (DDT). El área foliar se determinó con un integrador de área foliar (LI-COR, LI3100C). El peso de materia fresca y seca de hoja, tallo y raíz se obtuvo con una báscula digital (OHAUS CS 2000). Para obtener el peso de materia seca, los diferentes órganos de la planta (tallo, hoja y raíz) se metieron en bolsas de papel estraza y se pusieron a secar en una estufa de circulación forzada de aire a una temperatura de 70 °C hasta que el peso de la materia seca se mantuvo constante. El volumen de raíz se midió con una probeta graduada de 2 L, aforándola a 1 L y posteriormente introduciendo la raíz al agua, la diferencia de volúmenes fue la correspondiente al órgano involucrado.

Análisis estadístico

5.4.5 Análisis estadístico

A los datos obtenidos se le realizó un análisis de varianza con el programa SAS (Versión 9.0) y a los datos con efecto de tratamientos se les realizó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey ($P \leq 0.05$).

5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la mayoría de las variables evaluadas, los resultados indicaron que por lo menos un tratamiento fue estadísticamente distinto al resto de los tratamientos.

La altura de la planta fue superior cuando las plantas se condujeron a 4 tallos y no se aplicó ningún fertilizante foliar; sin embargo, por efecto del tratamiento donde no se podó y se aplicó el fertilizante foliar FF-UAEM02 se obtuvo el mayor diámetro de tallo principal, así como mayores valores en área foliar y volumen de raíz (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables morfológicas del chile habanero por efecto de la poda y la fertilización foliar.

Tipo de Poda	Fertilización foliar	AP (cm)	DTP (mm)	AF (cm ²)	CRC (SPAD)	VR (cm ³)
Sin poda	Agua	196.3 ab	16.3 ab	23195 a-c	57.7 a	280 ab
Sin poda	Agromil-V®	189.3 ab	15.1 ab	27040 ab	59.7 a	303.3 ab
Sin poda	FF-UAEM02	190 ab	17.6 a	28653 a	60 a	360 a
Sin poda	FF-UAEM03	197.3 ab	17.5 a	23220 a-c	56.6 a	290 ab
Sin poda	FF-UAEM04	182 b	16.5 a	23633 a-c	57.3 a	286.6 ab
4 tallos	Agua	207.6 a	13.6 ab	12330 c	55.9 a	203.3 b
4 tallos	Agromil-V®	202.6 ab	14 ab	13233 c	58 a	216.6 ab
4 tallos	FF-UAEM02	206 ab	14.7 ab	13080 c	59.2 a	246.6 ab
4 tallos	FF-UAEM03	202 ab	12.5 b	13187 c	55 a	236.6 ab
4 tallos	FF-UAEM04	207.3 a	14 ab	14499 bc	60.9 a	220 ab
CV (%)		4.14	9.1	24.2	4.72	19.72

AP (Altura de la Planta); DTP (Diámetro de Tallo Principal); AF (Área Foliar); CRC (Contenido Relativo de Clorofila); VR (Volumen de Raíz). CV (Coeficiente de Variación). Medias con la misma literal son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

De manera general se pudo observar que el rendimiento fue superior cuando las plantas no recibieron poda de conducción a diferencia de las que fueron podadas, sin embargo, entre las que no se podaron hubo una respuesta significativa cuando las plantas fueron fertilizadas con la formula FF-UAEM02 (Figura 1).

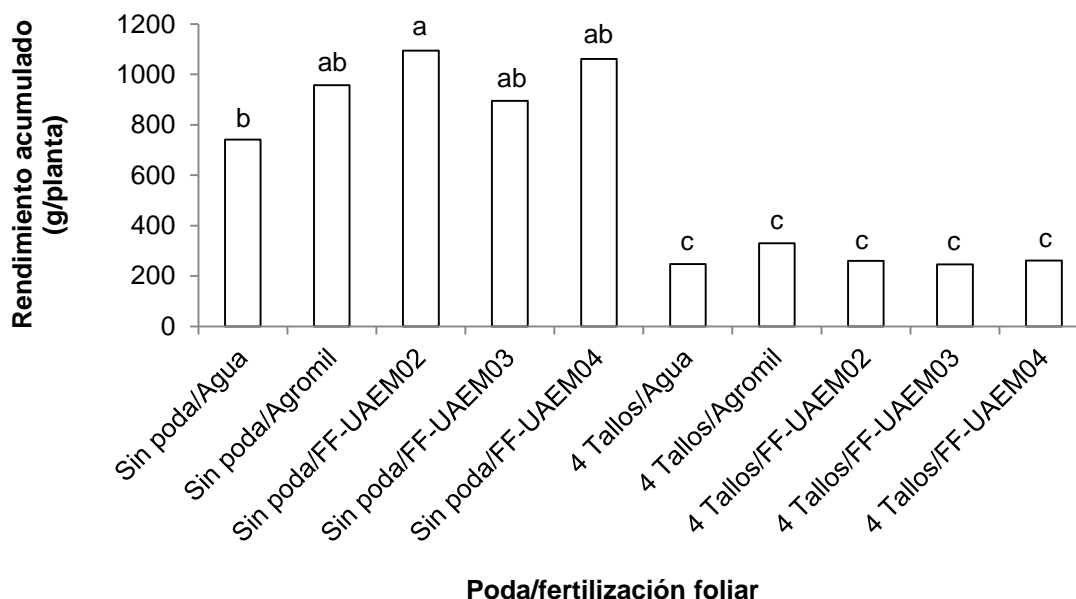


Figura 1. Rendimiento acumulado en siete cortes de chile habanero por efecto de la poda conjuntamente con la fertilización foliar. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

El mayor rendimiento obtenido en un lapso de siete cortes fue de 1095 g/planta por efecto del tratamiento sin poda/FF-UAEM02, 32.3 % superior respecto al rendimiento que se logró en las plantas no podadas con aplicación foliar de agua y 69.9 % superior al mejor rendimiento de los tratamientos con plantas podadas. Sin embargo, López-Gómez *et al.* (2017) lograron un rendimiento de 1054 g/planta en seis cortes de chile habanero, variedad ‘Jaguar’ sin la aplicación de ningún fertilizante foliar.

Por su parte, Ramírez-Luna *et al.* (2005) señalan que con el uso del producto Maxigrow®, se incrementa la inducción y amarre de flor de chile habanero a diferencia de cuando no se aplica ningún regulador de crecimiento sobre las plantas, aumentando

en 44 % para condiciones conjuntas de campo e invernadero, no obstante, señalan que su efecto es igual al de los productos comerciales Biocrop, Bioforte y Biozyme, mencionando además que gracias a la aplicación de este regulador se alcanza un rendimiento medio de 45.1 t ha⁻¹ bajo invernadero. Sin embargo, no se reporta el lapso de tiempo en que se obtiene dicho rendimiento. En la presente investigación, el rendimiento estimado que se podría obtener en siete cortes, considerando la densidad de población en los dos tipos de poda, sería de 15.1 t ha⁻¹ por efecto del tratamiento sin poda/FFUAEM-02. Mientras que por efecto del tratamiento 4 tallos/Agromil-V[®], se esperaría obtener un rendimiento de 9.1 t ha⁻¹, pero con frutos de mayor tamaño y peso.

En cuanto al número de frutos por planta acumulado en siete cortes, este fue mayor en todos tratamientos donde las plantas que no recibieron poda (Figura 2).

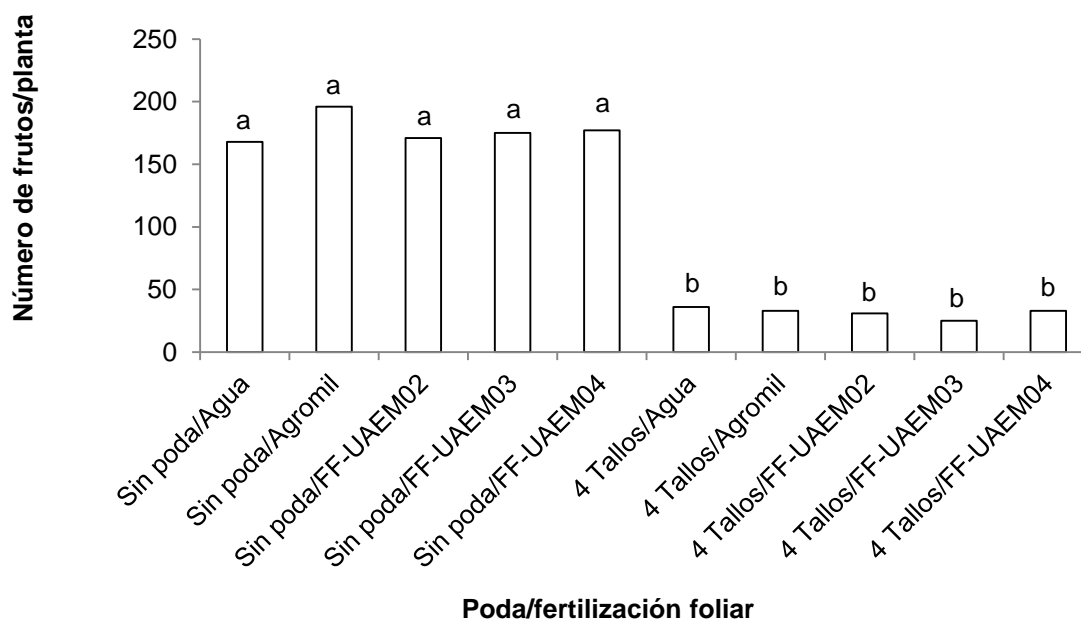


Figura 2. Número de frutos por planta de chile habanero por efecto de la poda conjuntamente con la fertilización foliar. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

En cuanto al peso de materia seca sobresale el tratamiento donde no se realizó poda de conducción y se aplicó la fórmula FF-UAEM02 (Cuadro 4). Del total de la materia seca el 34 % correspondió a las hojas, el 51.1 % al tallo y el 14.9 % correspondió a la raíz, superando 35.8 % al peso total de materia seca que se obtuvo con el tratamiento sin poda/agua. La distribución de la biomasa seca fue similar a lo obtenido por López-Gómez *et al.* (2017) en chile habanero cultivado bajo cubierta plástica, con 29 % en hojas, 53 % en tallo y 18 % en raíz. Por su parte, Peil y Gálvez (2005) señalan que optimizando el aporte de agua y nutrientes, se puede lograr un crecimiento máximo de las plantas con un sistema radical reducido en condiciones de cultivo con sustratos artificiales bajo invernadero. La fracción de materia seca de raíz puede variar, por ejemplo, en pepino va de 8 a 15 % en la etapa vegetativa y entre 3 y 7 % durante la etapa reproductiva. En el caso del tomate, la fracción puede variar entre 17 y 20 % en etapa vegetativa y entre 1 y 10 % en la etapa reproductiva.

Cuadro 4. Peso de materia fresca y seca de las plantas de chile habanero por efecto conjunto de la poda y la fertilización foliar.

Tipo de Poda	de Fertilización foliar	PMFH	PMFT	PMFR	PMFTo	PMSH	PMST	PMSR	PMSTo
(g)									
Sin poda	Agua	595.3 a-c	860.0 ab	252.3 ab	1707.7 a-c	85.6 ab	158.6 bc	28.6 ab	283 bc
Sin poda	Agromil-V®	628.3 ab	933.0 ab	272.0 ab	1833.3 a	89 ab	170 a-c	39.6 ab	300.3 bc
Sin poda	FF-UAEM02	713.6 a	1074.7 a	311.0 a	2099.3 a	130.6 a	255 a	55.3 a	441 a
Sin poda	FF-UAEM03	611.0 ab	919.7 ab	267.3 ab	1798.0 a	72.6 b	126 bc	40.3 ab	239 bc
Sin poda	FF-UAEM04	594.6 a-c	908.0 ab	251.6 ab	1754.3 ab	101.3 ab	198.3 ab	41.3 ab	339.3 ab
4 tallos	Agua	326.3 c	511.3 b	168.0 b	1005.7 d	59.3 b	97.3 c	28.3 b	185 c
4 tallos	Agromil-V®	419.3 bc	586.7 b	180.6 ab	1186.7 b-d	71.3 b	108 c	33.3 b	212.6 bc
4 tallos	FF-UAEM02	352.6 bc	597.7 b	208.6 ab	1159.0 cd	64.3 b	100.3 c	31 b	195.6 c
4 tallos	FF-UAEM03	329.0 c	578.0 b	202.0 ab	1109.0 d	61.3 b	102 c	24.3 b	187.6 c
4 tallos	FF-UAEM04	386.3 bc	583.3 b	200.3 ab	1170.0 b-d	71 b	106 c	31 b	208 c
CV (%)		19.4	21.2	20.1	13.5	20.3	21.6	17.2	17.0

PMFH (Peso de Materia Fresca de Hoja); PMFT (Peso de Materia Fresca de Tallo); PMFR (Peso de Materia Fresca de Raíz); PMFTo (Peso de Materia Fresca Total); PMSH (Peso de Materia Seca de Hoja); PMST (Peso de Materia Seca de Tallo); PMSR (Peso de Materia Seca de Raíz); PMSTo (Peso de Materia Seca Total). CV (Coeficiente de Variación). Medias con la misma literal son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

La calidad del fruto también resultó afectada por la poda de las plantas, así como por la fertilización foliar. De manera general, los frutos fueron de mayor tamaño y peso en los tratamientos donde se realizó la poda de conducción a 4 tallos (Cuadro 5). Sin embargo, el tamaño del fruto fue mayor por efecto de la poda a 4 tallos más la aplicación de Agromil-V® y la fórmula FF-UAEM03, superando en 30.2 % la longitud, 21.8 % el diámetro y 35.8 % el peso de los frutos del tratamiento sin poda/FF-UAEM02.

Cuadro 5. Calidad física del fruto y número de frutos de chile habanero por efecto conjunto de la fertilización foliar y la poda de conducción.

Tipo de poda	Fertilización foliar	LF (mm)	DF (mm)	PF (g)
Sin poda	Agua	31.6 c	21.6 c	4.47 b
Sin poda	Agromil-V®	34.7c	21.6 c	4.94 ab
Sin poda	FF-UAEM02	34.4 c	22.3 bc	6.43 ab
Sin poda	FF-UAEM03	34.1 c	22.1 c	5.19 ab
Sin poda	FF-UAEM04	34.4 c	23.2 a-c	6.15 ab
4 tallos	Agua	47.3 ab	28.3 ab	7.14 ab
4 tallos	Agromil-V®	49.3 a	27.1 a-c	10.1 a
4 tallos	FF-UAEM02	36 bc	24.2 a-c	8.49 ab
4 tallos	FF-UAEM03	42.8 a-c	28.5 a	9.92 a
4 tallos	FF-UAEM04	42 a-c	25.3 a-c	8.04 ab
<i>CV (%)</i>		<i>10.82</i>	<i>8.55</i>	<i>25.03</i>

LF (Longitud de Fruto); DF (Diámetro de Fruto); PF (Peso de Fruto). CV (Coeficiente de Variación). Medias con la misma literal son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

En cuanto al tamaño y peso de los frutos, Ramírez *et al.* (2012) afirman que la longitud del fruto de chile habanero, variedad 'Jaguar', es de 3.8 a 5.5 cm, el diámetro de 2.5 a 3 cm y el peso de 6.5 a 10 g fruto⁻¹. No obstante, no señalan si ese tamaño de fruto se obtiene bajo condiciones de invernadero o a cielo abierto.

Dicho tamaño fue superior a lo reportado por López-Gómez *et al.* (2017), donde se indica que por efecto de un régimen de nutrición (14 me L⁻¹ de NO₃⁻ en la etapa vegetativa, 12:1:7 me L⁻¹ de NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻ en la etapa de floración y 14:5 me L⁻¹ de NO₃⁻:K⁺ en la etapa de fructificación) del chile habanero variedad 'Jaguar', sin haber podado las plantas y sin aplicación de ningún estimulante foliar, se obtienen frutos de 3.48 cm de longitud, 2.29 cm de diámetro y un peso de 3.45 g/fruto.

Por su parte, Tucuch-Haas *et al.* (2012) indican que el tamaño del chile habanero cv. "Criollo Naranja" desarrollado bajo invernadero en condiciones similares al presente estudio, tiene en promedio 3.58 cm de longitud, 2.47 cm de diámetro y un peso de 5.51 g/fruto. Mientras que Tapia-Vargas *et al.* (2016) mencionan que el chile habanero negro producido bajo invernadero en un sistema hidropónico y con aplicación de un complejo hormonal (Formax-F®) hecho a base de citocininas, el tamaño del fruto es de 2.92 cm de longitud y 2.44 cm de diámetro.

Este tamaño pequeño de fruto, de acuerdo con Ramírez-Luna *et al.* (2005) puede atribuirse a que las plantas de chile habanero desarrolladas en invernadero tienen menor intensidad de luz, condición que favorece plantas más grandes, tallos delgados, pero de frutos pequeños. Por su parte, Aldana *et al.* (2007) mencionan que en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), el tamaño del fruto está ligado con la cantidad de granos de polen depositados en el estigma, es decir, con menor cantidad de polen, se producen frutos más pequeños, deformes o con pocas semillas.

Sin embargo, de acuerdo con Graillet *et al.* (2014), el uso de hormonas ayudan a obtener un mayor número de flores y frutos por planta, así como mayor peso del fruto. No obstante, el comportamiento puede ser atribuido a los componentes y concentraciones de los elementos en la formulación de cada producto regulador, observándose un efecto mayor en formulaciones con auxinas, giberelinas y citocininas (Ramírez-Luna *et al.*, 2005).

En este sentido, se podría inferir que debido a la poda conjuntamente con la fertilización foliar, hubo mayor paso de luz y aire entre las plantas, favoreciendo la polinización de las flores, además de brindar una mayor disponibilidad de nutrientes y hormonas de crecimiento para las flores y frutos cuajados, dando como resultado mejor calidad de los frutos.

5.6 CONCLUSIONES

Existe respuesta significativa en el rendimiento y la calidad del fruto de chile habanero por efecto de la poda de conducción conjuntamente con la fertilización foliar.

Independientemente de la fertilización foliar, las plantas que no reciben poda tienen mayor número de frutos y rendimiento que las que si son podadas.

Con la aplicación de la fórmula de fertilización FF-UAEM02 en plantas no podadas, el rendimiento es 32 % mayor, respecto a las plantas no podadas con aplicación foliar de agua.

Los frutos de chile habanero obtenidos de las plantas podadas a 4 tallos y fertilizadas de manera foliar con Agromil-V[®], son más grandes y pesados en comparación con los que se obtienen de plantas sin poda con cualquier fertilizante foliar aplicado.

5.7 LITERATURA CITADA

- Berny-Mier y Teran, J. C.; L. Abdala-Roberts; A. Durán-Yáñez; F. Tut-Pech. 2013. Variación en resistencia a insectos hervívoros y virosis en líneas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en Yucatán, México. *Agrociencia* 47: 471-482.
- Borges-Gómez, L.; L. Cervantes C.; J. Ruiz N.; M. Soria F.; V. Reyes O.; E. Villanueva C. 2010. Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Terra Latinoamericana* 28: 35-41.
- Borges-Gómez, L.; C. Moo-Kauil; J. Ruíz-Novelo; M. Osalde-Balam; C. González-Valencia; C. Yam-Chimal; F. Can-Puc. 2014. Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: características físicas y químicas predominantes. *Agrociencia* 48:347-359.
- Cruz H., N.; F. Sánchez del C.; J. Ortiz C.; M. del C. Mendoza C. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y periodo de cosecha en chile pimiento. *Agricultura Técnica en México* 35: 73-80.
- Graillet J., E. M.; J. A. Hernández H.; L. C. Alvarado G.; A. Rutereta A. 2014. Evaluación de cuatro reguladores de crecimiento en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) en Acayucan, Veracruz. México. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2 (4): 748-755.
- Guzmán-Antonio, A.; L. Borges-Gómez; L. Pinzón-López; E. Ruiz-Sánchez; J. Zúñiga-Aguilar. 2012. Efecto del ácido salicílico y la nutrición mineral sobre la calidad de plántulas de chile habanero. *Agronomía Mesoamericana* 23 (2): 247-257.
- Hernández R., J.; O. Martínez V.; P. Quinto D.; J. Cuevas D.; R. Acosta O.; O. Aguilar J.; 2010. Secado del chile habanero con energía solar. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 10 (2): 120-127.
- Jaimez, R. E.; N. Nava; Y. Rivero; K. Trompiz. 2002. Efecto de diferentes intensidades de poda sobre la dinámica de floración y producción de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq). *Revista de la Facultad de Agronomía* 19: 132-139.

- Jarret, R. L.; Berke, T.; Baldwin, E. A.; Antonious, G. F. 2009. Variability for Free Sugars and Organic Acids in *Capsicum chinense*. *Chemistry & Biodiversity* 6: 138-145.
- López-Gómez, J. D.; O. G. Villegas-Torres; H. Sotelo N.; M. Andrade R.; P. Juárez L.; E. Martínez F. 2017. Rendimiento y calidad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) por efecto del régimen nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8 (8): 1747-1758.
- Lugo-Jiménez, N.; M Carballo-Bautista; E. Sauri-Duch; A. Centurión-Yah; E. Tamayo-Canul. 2010. Efecto del sistema de cultivo sobre la calidad microbiológica del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) después de su cosecha. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 11 (2): 171-179.
- Macías R., H.; J. A. Muñoz V.; M. A. Velásquez V.; M. C. Potisek T.; M. M. Villa C. 2013. Chile habanero: descripción de su cultivo en la península de Yucatán. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 12 (2): 37-43.
- Moreno, E.; T. Russián L.; C. Ruiz S. 2012. Uso de la poda para extender el ciclo productivo del cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.). *Revista científica UDO Agrícola* 12 (3): 559-562.
- Nieves-González, F.; Alejo-Santiago, G.; Luna-Esquivel, G.; Lemus-Flores, C.; Juárez-López, P. y Salcedo-Pérez, E. 2015. Extracción y Requerimiento de Fósforo en Chile Habanero (*Capsicum Chinense* Jacq.) 'Big Brother'. Venezuela. *Interciencia*, 40 (4): 282-286.
- Ojodeagua A., J. L.; J. Z. Castellanos R.; J. J. Muñoz R.; G. Alcántar G.; L. Tijerina C.; P. Vargas T.; S. Enríquez R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Fitotecnia Mexicana* 31 (4): 367-374.
- Patiño-Torres, A. J. y R. E Jaimez-Arellano. 2016. Relación Fuente-Fuerza de la demanda en el aborto de estructuras reproductivas, tasa fotosintética y rendimiento en *Capsicum annuum*. *Agrociencia* 50 (5): 649-664.
- Peil, R. M. y Gálvez, J. L. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasileira de Agrociência* 11: 05-11.
- Ponce V., J. J.; A. Peña-Lomelí; J. E. Rodríguez-Pérez; R Mora-Aguilar; R. Castro-Brindis; N. Magaña L. 2012. Densidad y Poda en Tres Variedades de Tomate

- de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horm.) Cultivado en Invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18 (3): 325-332.
- Ramírez M., M.; G. Arcos C.; H. Mata V.; E. Vázquez G. 2012. Jaguar, variedad de chile habanero para México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico 35 p.
- Ramírez-Luna, E.; C. de la C. Castillo-Aguilar; E. Aceves-Navarro; E. Carrillo-Ávila. 2005. Efecto de Productos con Reguladores de Crecimiento Sobre la Floración y Amarre de Fruto en Chile 'Habanero'. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 93-98.
- Reséndiz-Melgar R. C., E. C. Moreno-Pérez, F. Sánchez-Del Castillo, J. E. Rodríguez-Pérez y A. Peña-Lomelí (2010) Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16: 223-229.
- Sánchez del Castillo, F.; E. C. Moreno-Pérez; E. C. Reséndiz-Melgar; M. T. Colinas-León; J. E. Rodríguez-Pérez. 2017a. Producción de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) en ciclos cortos. *Agrociencia* 51 (4): 437-446.
- Sánchez del Castillo, F.; E. C. Moreno-Pérez; F. J. Martínez-Gaspar; M. T. Colinas-León; J. A. Ramírez-Árias. 2017b. Effect of plant row arrangement on yield components of bell pepper. . *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23 (3): 147-161.
- Sandoval-Rangel, A.; A. Benavides-Mendoza; M. A. Alvarado-Vázquez; R. Foroughbakhch-Pournavab; M. A. Nuñez-González; V. Robledo-Torres. 2011. Influencia de ácidos orgánicos sobre el crecimiento, perfil bromatológico y metabolitos secundarios en chile piquín. *Terra Latinoamericana* 29: 395-401.
- Tapia-Vargas, M.; A. Larios-Guzmán; D. Díaz-Sánchez; G. Ramírez-Ojeda; A. Hernández-Perez; I. Vidales-Fernández; H. Guillén-Andrade. 2016. Producción hidropónica de chile habanero negro (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 39 (3): 241-245.

- Trejo-Téllez, L. I.; M. N. Rodríguez-Mendoza; G. Alcántar-González; A. Vázquez-Alarcón. 2003. Fertilización específica para corregir deficiencias nutrimentales en tres tipos de suelo. *Terra Latinoamericana* 21 (3): 365-372.
- Trinidad S., A. y D. Aguilar M. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *TERRA* 17 (3): 247-255.
- Tun D., J. de la C. 2001. Chile Habanero. Características y Tecnología de Producción. SAGARPA-INIFAP. 74 p.
- Villegas C., J. R.; V. A. González H.; J. A. Carrillo S.; M. Livera M.; F. Sánchez del Castillo; T. Osuna E. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. *Fitotecnia Mexicana* 27 (4): 333-338.

CONCLUSIONES GENERALES

Con el régimen nutrimental basado en el aporte de nutrimentos de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo de chile habanero 'Jaguar', se mejoran algunas características en el desarrollo del cultivo, logrando incrementos en el rendimiento y mejorando la calidad del fruto.

La concentración de los capsaicinoides (CAP y DHCAP) en frutos de chile habanero 'Jaguar', puede ser modificada debido al régimen nutrimental que se suministra al cultivo.

El uso de la poda a 2, 3 y 4 tallos promueve que los frutos de chile habanero 'Jaguar' sean de mayor tamaño, sin embargo, disminuye la cantidad de frutos por planta a diferencia de cuando las plantas no son podadas

Cuando las plantas de chile habanero 'Jaguar' son podadas a 4 tallos y se aplica de manera foliar el producto Agromil-V®, se obtienen frutos de mayor tamaño y peso en comparación con los que se obtienen de plantas sin poda con cualquiera de los fertilizantes foliares aplicados en esta investigación.