



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**SOLUCIONES NUTRITIVAS PARA CADA
ETAPA FENOLÓGICA DEL CHILHUACLE
(*Capsicum annuum* L.)**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y DESARROLLO RURAL**

PRESENTA:

EVELIA FAJARDO REBOLLAR

**DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Oscar Gabriel Villegas Torres**



"LA RESPUESTA UNIVERSITARIA
AL CAMPO"

Cuernavaca, Mor., junio de 2018.

**SOLUCIONES NUTRITIVAS PARA CADA ETAPA FENOLÓGICA DEL
CHILHUACLE (*Capsicum annuum* L.)**

Tesis realizada por **Evelia Fajardo Rebollar** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

COMITÉ ASESOR

Director de tesis _____
Dr. Oscar Gabriel Villegas Torres

Asesor _____
Dra. María Andrade Rodríguez

Asesor _____
Dr. Héctor Sotelo Nava

Asesor _____
Dr. Edgar Martínez Fernández

Asesor _____
Dr. José Luis Viveros Ceballos

Cuernavaca, Mor., junio de 2018.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a *Dios*, por ser mi fortaleza y la paz que encuentro en este mundo.

A las personas que más quiero y respeto, *a mis padres José y Ema*, gracias a su amor, consejos y por estar conmigo de manera incondicional en cualquier momento de mi vida, he logrado culminar mis estudios de maestría.

En especial quiero dedicar este trabajo a dos personas que son parte de mí y yo una parte de ellos, *mis hermanos José y Yaneli*, a quienes quiero expresarles que este logro que hoy termino les sea de inspiración para que continúen con sus estudios en lo que más les apasiona.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias, y a todos los docentes que gracias a ellos me permitieron estudiar y adquirir conocimientos relacionados con mi trabajo de investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado durante mis estudios de maestría.

Al Dr. Oscar G. Villegas Torres, por su tiempo, su paciencia, su apoyo, y su conocimiento que me brindo en cada clase, cada sesión y cada consulta, pero sobre todo para la realización de esta tesis. Mi agradecimiento es por creer en mí y por darme la oportunidad de estudiar una especie que se volvió de mi total interés.

Agradezco ampliamente a mi comité asesor, Dra. María Andrade Rodríguez, Dr. Héctor Sotelo Nava, Dr. Edgar Martínez Fernández y Dr. José Luis Viveros Ceballos, quienes siempre estuvieron presentes en cada reunión, se mostraron muy atentos y en completa disposición de ayudarme durante el transcurso de este proyecto.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
RESUMEN.....	vi
SUMARY.....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
objetivos.....	3
hipótesis.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 El chile (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	4
2.2 Descripción botánica del chilhuacle negro.....	5
2.3 Etapas fenológicas del chilhuacle negro.....	6
2.4 Situación actual del chilhuacle a nivel nacional y regional.....	7
2.5 Problemática del cultivo.....	7
2.6 Nutrición del cultivo.....	9
2.6.1 Nitrógeno.....	9
2.6.2 Fosforo.....	10
2.6.3 Potasio.....	11
2.6.4 Calcio.....	11
2.6.5 Magnesio.....	12
2.7 Producción hidropónica.....	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1 Localización del experimento.....	14
3.2 Material vegetal.....	14
3.3 Manejo agronómico.....	14
3.4 Tratamientos, diseño experimental y variables respuesta.....	16
3.4.1 Etapa vegetativa.....	16
3.4.2 Etapa reproductiva.....	17

3.4.3	Etapa de fructificación.....	19
3.5	Herramienta estadística.....	20
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1	Las etapas fenológicas del chilhuacle.....	21
4.2	Efecto de la concentración de NO_3^- en la solución nutritiva suministrada durante la etapa vegetativa del chilhuacle sobre el crecimiento y producción de materia seca.....	25
4.3	Efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ de la solución nutritiva suministrada durante la etapa reproductiva del chilhuacle sobre el crecimiento, floración y producción de materia seca.....	28
4.4	Efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva suministrada durante la etapa de fructificación del chilhuacle sobre el crecimiento, producción de materia seca y rendimiento.....	34
5.	CONCLUSIONES.....	47
6.	LITERATURA CITADA.....	48
7.	ANEXOS.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Etapa vegetativa del chilhuacle.....	22
Figura 2. Etapa vegetativa del chilhuacle.....	23
Figura 3. Etapa de fructificación del chilhuacle.....	24
Figura 4. Aborto de flor en la etapa reproductiva del chilhuacle.....	31
Figura 5. Aborto de flores en la etapa de fructificación del chilhuacle...	39
Figura 6. Frutos maduros de chilhuacle negro en tallos principales.....	43
Figura 7. Frutos maduros de chilhuacle negro.....	44
Figura 8. Desarrollo del fruto de chilhuacle desde la antesis a verde maduro.....	45
Figura 9. Frutos de chilhuacle negro. A, maduro; B, deshidratado.....	46

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Composición química de las soluciones nutritivas para la etapa vegetativa del chilhuacle (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	17
Cuadro 2. Composición química de las soluciones nutritivas para la etapa reproductiva del chilhuacle.....	18
Cuadro 3. Composición química de las soluciones nutritivas para la etapa de fructificación del chilhuacle.....	19
Cuadro 4. Duración de las etapas fenológicas del chilhuacle y temperatura promedio en cada etapa.....	21
Cuadro 5. Crecimiento de las plantas por efecto de la concentración de NO_3^- de la solución nutritiva suministrada en la etapa vegetativa del chilhuacle.....	26
Cuadro 6. Producción de materia seca por efecto de la concentración de NO_3^- en la solución nutritiva suministrada en la etapa vegetativa del chilhuacle.....	27
Cuadro 7. Partición de materia seca por efecto de la concentración de NO_3^- en la solución nutritiva suministrada en la etapa vegetativa del chilhuacle.....	27
Cuadro 8. Crecimiento de las plantas por efecto de las relaciones NO_3^- : H_2PO_4^- : SO_4^{2-} de la solución nutritiva suministrada en la etapa reproductiva del chilhuacle.....	29
Cuadro 9. Producción de materia seca por efecto de la relación NO_3^- : H_2PO_4^- : SO_4^{2-} de la solución nutritiva suministrada en la etapa reproductiva del chilhuacle.....	30
Cuadro 10. Producción de botones y flores, y porcentaje de aborto floral por efecto de la relación NO_3^- : H_2PO_4^- : SO_4^{2-} de la solución nutritiva suministrada en la etapa reproductiva del chilhuacle...	32
Cuadro 11. Partición de materia seca por efecto de la relación NO_3^- : H_2PO_4^- : SO_4^{2-} de la solución nutritiva suministrada en la etapa reproductiva del chilhuacle.....	33

Cuadro 12.	Crecimiento de las plantas por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa de fructificación del chilhuacle.....	34
Cuadro 13.	Calidad de frutos por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa de fructificación del chilhuacle.....	37
Cuadro 14.	Variación en componentes de rendimiento por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa de fructificación del chilhuacle.....	38
Cuadro 15.	Producción de frutos, porcentaje de aborto de flor y número de tallos principales por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa de fructificación del chilhuacle.....	41
Cuadro 16.	Materia seca de hoja, tallo y raíz por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa de fructificación del chilhuacle.....	42

RESUMEN

El desconocimiento de las necesidades nutrimentales del chilhuacle durante su ciclo de producción ha sido una de las causas de la disminución del rendimiento, por tal motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de distintas soluciones nutritivas en tres etapas fenológicas con la finalidad de incrementar el crecimiento, rendimiento y calidad de los frutos. En la vegetativa se evaluaron tres concentraciones de NO_3^- , en la reproductiva nueve relaciones $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$, y en la de fructificación nueve relaciones de $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$. El diseño experimental fue bloques completos al azar, con cinco repeticiones, y una planta por unidad experimental. Las soluciones nutritivas se suministraron mediante el sistema de riego por goteo y se utilizaron contenedores de bolsas de polietileno negro con capacidad de 15 L, distribuidas en tres bolillos a una distancia entre plantas de 50 cm (etapa vegetativa) y 75 cm (etapa reproductiva y fructificación), el sustrato fue grava de tezontle rojo. En la etapa vegetativa (29 días) del chilhuacle con 14 me L^{-1} de NO_3^- se favoreció la altura, el diámetro de tallo, volumen de raíz, biomasa seca de tallo y de la planta completa; mientras que en la reproductiva (11 días), la relación $10:0.75:9.25 \text{ me L}^{-1}$ de $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ redujo el aborto floral e incrementó el número de botones por planta; en tanto que en la etapa reproductiva (184 días) la relación $14:9 \text{ me L}^{-1}$ de $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ favoreció el diámetro ecuatorial de los frutos al igual que su peso de biomasa fresca y seca.

Palabras claves: fenología, etapa vegetativa, etapa reproductiva, etapa de fructificación, soluciones nutritivas.

SUMMARY

The ignorance of the nutritional needs of the chilhuacle during its production cycle has been one of the causes of the decrease in yield, for this reason, the objective of this study was to evaluate the effect of different nutritive solutions in three phenological stages in order to increase the growth, yield and quality of the fruits. In the vegetative three concentrations of NO_3^- were evaluated; in the reproductive nine relations the NO_3^- : H_2PO_4^- : SO_4^{2-} , and in the fruiting nine relations of NO_3^- : K^+ . The experimental design was randomized complete blocks, with five repetitions, and one plant per experimental unit. The nutrient solutions were supplied by the drip irrigation system. Containers of black polyethylene bags with a capacity of 15 L were used, distributed in "three bobbin" at a distance between plants of 50 cm (vegetative stage) and 75 cm (reproductive stage and fructification), the substrate was red tezontle gravel. In the vegetative stage (29 days) of chilhuacle with 14 me L^{-1} of NO_3^- height, stem diameter, root volume, dry biomass of stem and whole plant were favored; while in the reproductive (11 days), the ratio 10:0.75:9.25 me L^{-1} of NO_3^- : H_2PO_4^- : SO_4^{2-} reduced floral abortion and increased the number of buttons per plant; while in the reproductive stage (184 days) the ratio 14:9 me L^{-1} of NO_3^- : K^+ favored the equatorial diameter of the fruits as well as its weight of fresh and dry biomass.

Key words: phenology, vegetative stage, reproductive stage, fruiting stager, nutrient solutions.

1. INTRODUCCIÓN

México es el país con la mayor diversidad de chiles (Latournerie *et al.*, 2002; López *et al.*, 2016), mismos que son de gran importancia en la alimentación y cultura de los mexicanos (Long-Solís, 1986). Entre las especies cultivadas, el chilhuacle o chile huacle (*Capsicum annuum* L.) (Cruz, 2015) es el fruto más antiguo de uno de los municipios de San Juan Bautista Cuicatlán, en la región de la Cañada Oaxaqueña (López, 2005; López y Pérez-Bennetts, 2015; López *et al.*, 2016). El fruto seco tiene reconocimiento internacional al citarse en libros de gastronomía como el ingrediente principal en la elaboración del “Mole Negro Oaxaqueño” (Long-Solís, 1986; Agroproduce, 2005; Aguilar-Rincón *et al.*, 2010; López *et al.*, 2016; Sánchez *et al.*, 2016; García-Gaytán, 2016; García-Gaytán, 2017), mientras que en fresco es conocido como “Texmole”, dos platillos típicos en la región de la Cañada Oaxaqueña (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). Por su exquisito y peculiar sabor, el chilhuacle es utilizado en la elaboración de mole y otros platillos típicos por lo que su uso es común en celebraciones populares como fiestas decembrinas, bodas, fiestas religiosas y fieles difuntos (López, 2005). Aguilar-Rincón *et al.* (2010), López y Pérez-Bennetts (2015), Lorenzo (2016), López *et al.* (2016) mencionan que el chilhuacle puede ser de tres colores: negro, amarillo y rojo; sin embargo, el de color negro es el más comercializado y de mejor precio.

El fruto seco del chilhuacle puede llegar a valer de \$250 a \$350 pesos el kilogramo en campo durante el temporal, \$400 a \$450 en las festividades del pueblo “Todos los Santos” (01 y 02 de noviembre) y fiestas decembrinas (15 al 30 diciembre), y de \$600 a \$800 en mercados fuera de la región. Debido al precio alto, las industrias del sector alimenticio han sustituido el chilhuacle por otras variedades de chiles anchos para la elaboración del mole negro oaxaqueño.

A pesar de que el chilhuacle es de gran demanda en mercados regionales y nacionales, la superficie sembrada se ha mantenido en 10 ha (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010), en las cuales se produce en condiciones de cielo abierto, riego por gravedad y en superficie de 5,000 a 20,000 m² por productor (López *et al.*, 2016). Aunado a

la reducida área cultivada, el número de productores también ha disminuido considerablemente, atribuible a la escasa precipitación pluvial, temperaturas elevadas, alta incidencia de enfermedades de origen viral, ataque de plagas del fruto, carencia de variedades mejoradas, manejo postcosecha inadecuado (Agroproduce, 2005; López *et al.*, 2016) y desconocimiento de las necesidades nutrimentales del cultivo (Espinoza, 2011). En cuanto al manejo postcosecha, el fruto es deshidratado exponiéndolo directamente a los rayos solares; esta forma de secar el fruto eleva el costo porque a diario se deben sacar, voltear y meter a las áreas de almacenamiento (López, 2005; López y Pérez-Bennetts, 2015). Con base en lo antes expuesto, se puede indicar al manejo de la nutrición y postcosecha como aspectos importantes para abordar en futuras investigaciones con la finalidad de incrementar la superficie cultivada.

Por otro lado, el cultivo del chilhuacle tradicionalmente se realiza en campo abierto en pequeñas superficies con uso moderado de agroquímicos y riego rodado; en estas condiciones el rendimiento es de 600 a 1000 kg ha⁻¹ (Agroproduce, 2005; López *et al.*, 2016). Debido a lo anterior, existe interés para producirlo en condiciones protegidas. Sedgley (1991), Díaz *et al.* (1999), Jovicich *et al.* (1999) y Sánchez del Castillo *et al.* (1999) mencionan que el uso de invernaderos, microtúneles y acolchado puede aumentar la producción y propiciar mayor uniformidad, mejorar el tamaño y calidad de los frutos, pero sin descuidar la aplicación adecuada de N, P, K, Ca y Mg (Willcutts *et al.*, 1998; Reta *et al.*, 2007; Noh-Medina, 2010). Por su parte, Armenta–Bojórquez *et al.* (2001) indican que es recomendable suministrar los nutrientes esenciales de acuerdo con el desarrollo de las plantas, sin embargo, se carece de información científica de este aspecto para el chilhuacle, por tal motivo, en la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos.

Objetivos

Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de NO_3^- en la etapa vegetativa del chilhuacle para favorecer el crecimiento de las plantas.

Determinar el efecto de diferentes relaciones $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ en la etapa reproductiva del chilhuacle con la finalidad de aumentar el número y cuajado de flores.

Cuantificar el efecto de diferentes relaciones $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ en la etapa de desarrollo de fruto del chilhuacle para incrementar el rendimiento y la calidad de los frutos.

Hipótesis

Existe por lo menos una concentración de NO_3^- en la solución nutritiva que favorece el crecimiento de las plantas del chilhuacle en la etapa vegetativa.

La relación 12:1:7 me L^{-1} de $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ de la solución nutritiva incrementa el número de flores por planta y disminuye el aborto de las mismas.

El rendimiento y la calidad física de los frutos es favorecida con la relación 12: 7 me L^{-1} de $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El chile (*Capsicum annuum* L.)

El chile, maíz, frijol (López, 2003) y calabaza fueron las primeras especies vegetales domesticadas en Mesoamérica para la producción agrícola (Maroto, 1986; Barreiro, 1998; Moreno *et al.*, 2001). El chile es una de las especies más cultivadas y de importancia económica en algunos países (McLeod *et al.*, 1979). México se considera centro de origen y domesticación (Hawkes, 1991) por existir la mayor diversidad genética de *Capsicum* (Latournerie *et al.*, 2002); es el primer exportador de chile verde a nivel mundial y el sexto de chile seco. Los principales países importadores del chile producido en México son Estados Unidos, Japón, Canadá, Reino Unido y Alemania (SIAP, 2014).

México cuenta con una gran diversidad de chiles distinguidos por sabores, colores y grado de picor (Morán-Bañuelos *et al.*, 2008). Los más comercializados en nuestro país son los serranos, árbol, jalapeños, guajillos, pasilla, anchos, piquines, habanero, manzano (Laborde y Pozo, 1982; Hernández-Verdugo *et al.*, 1999), mulatos y el pimiento dulce. La producción de chiles secos es importante para la cocina mexicana al utilizarse en distintos platillos tradiciones de cada región, como son: la elaboración de moles, caldos, sopas, adobos, salsas, entre otros.

El estado de Oaxaca tiene gran diversidad de chiles endémicos, entre los que se encuentran los chiles de agua, jalapeño, taviche, soledad, costeño, tusta, pasilla y huacle (Valentín, 2011). El chile huacle, chilhuacle, chile viejo (Cruz, 2015) o chile negro es considerado el fruto más antiguo cultivado en la región Cañada de los valles de Oaxaca (López, 2005; López y Pérez-Bennetts, 2015; López *et al.*, 2016); tiene reconocimiento regional, nacional e internacional al citarse en libros de gastronomía como el ingrediente principal para la elaboración del “Mole Negro Oaxaqueño” (Long-Solís, 1986; Agroproduce, 2005; Aguilar-Rincón *et al.*, 2010; López *et al.*, 2016; Sánchez *et al.*, 2016; García-Gaytán, 2016; García-Gaytán, 2017), un platillo “Gourmet” de sabor particular y de aromas penetrantes.

El chilhuacle puede encontrarse en mercados locales de la región oaxaqueña en colores como rojo, amarillo y negro (Castro *et al.*, 2007; Aguilar-Rincón *et al.*, 2010; Galeote, 2015, Cruz, 2015), este último es el fruto más comercializado y de mayor demanda en los mercados locales y regionales. La importancia del chilhuacle es gastronómica, regional, social, cultural y económica porque es utilizado en la elaboración de platillos en las fiestas de los fieles difuntos, decembrinas, bodas y religiosas (López, 2005).

2.2 Descripción botánica del chilhuacle negro

De acuerdo con el Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS, por sus siglas en inglés) (2016), la clasificación taxonómica de la especie de chile a la cual pertenece el chilhuacle es la siguiente:

Clase: Magnoliopsida
Subclase: Asteridae
Orden: Solanales
Familia: Solanaceae
Subfamilia: Solanoideae
Tribu: Solaneae
Género: *Capsicum*
Especie: *Capsicum annuum*

Toledo (2015) menciona que el chilhuacle y otros chiles (mulato, ancho, cristalino, miahuateco y dulce) son una variante de los chiles anchos; por ello comparten características en color y también en tamaño.

López (2005), López y Pérez-Bennetts (2015) describen al chilhuacle como una solanácea, de ciclo anual, herbácea, crecimiento determinado que alcanza una altura promedio de 1.45 m. La raíz es pivotante con una longitud de 70 a 120 cm. El tallo principal es herbáceo, semileñoso con escasa pubescencia (Andrés, 2006),

de crecimiento limitado que ramifica en 3 o 4 tallos secundarios entre los 10 y 40 cm de altura. Las hojas son de forma ovalada, color verde oscuro, con ápice acuminado, base atenuada y margen laminar entero; ampollado medio en la superficie de la hoja, pinnadamente nervadas y escasa pubescencia. Las flores exhiben posición intermedia, con anteras de color morado y filamento blanco; el estigma es de tipo exerto (Valdez, 2016). La corola es de color blanco, pétalos blancos en número de seis y deciduos. Las flores son frágiles y se presentan en cada nudo del tallo. El fruto es una baya de 10 cm de largo y 8 cm de ancho aproximadamente (Toledo, 2015), de forma trapezoidal, posición pendiente, textura lisa en la superficie, ápice agudo color verde e intensidad media antes de la madurez y de color café oscuro e intensidad media y brillantez fuerte en su madurez, aunque también existen frutos de color rojo y amarillo. En los tres casos, los frutos presentan una forma angular predominante en la sección transversal, con tres o cuatro lóculos. Andrés (2006) considera los frutos de forma acampanulada de color rojo oscuro casi negro por la variabilidad de la especie.

2.3 Etapas fenológicas del chilhuacle negro

Nuez *et al.* (1996) distinguen tres etapas fenológicas del chile: 1) Etapa de desarrollo de la plántula hasta la primera ramificación. 2) Etapa de rápido desarrollo de brotes y formación de flores. 3) Etapa de lento crecimiento y desarrollo de frutos.

La etapa de desarrollo de la plántula hasta la primera ramificación dura de 35 a 45 días en almacigo. La siembra es en suelo ya que con el uso de charola de polietileno se incrementan los costos de producción (López *et al.*, 2016). Se recomienda que la plántula presente de 7 a 9 hojas al momento del trasplante.

Etapa de rápido desarrollo de brotes y formación de flores. López y Pérez-Bennetts (2015) mencionan que en temperatura de 28 °C y fotoperiodo de 10 horas luz, la floración ocurre 25 días después del trasplante.

Etapa de lento crecimiento y desarrollo de frutos. En el momento que se inicia el crecimiento activo de los frutos, el vegetativo disminuye. La fructificación comienza a los 45 días y la cosecha en 105 días (López *et al.*, 2016), realizando de 6 a 7 cortes por temporada (Valdez, 2016).

2.4 Situación actual del chilhuacle a nivel nacional y regional

La Cañada es una de las ocho regiones del estado de Oaxaca (Cano y Serrano, 2003). En esta región y principalmente en el municipio de San Juan Bautista Cuicatlán se producen comercialmente tres tipos de chiles endémicos: chilhuacle, coxle y achilito (López *et al.*, 2016), pero el de mayor importancia económica y social es el primero. López *et al.* (2016) señalan que en este municipio se produce en superficies de 5,000 y 20,000 m² por productor, conformando una superficie anual de aproximadamente 10 hectáreas, en condiciones de campo abierto y riego por gravedad; además de que el uso de tecnología y prácticas tradicionales han mantenido un rendimiento de 1 t ha⁻¹ de chile seco.

López *et al.* (2016) estimaron los costos de producción de chilhuacle durante el ciclo otoño invierno 2014-2015: la inversión total fue \$ 84,900.00/ha. La relación beneficio-costo fue de 2.94, considerado aceptable, ya que por cada peso invertido el productor obtiene 2.94 pesos. La rentabilidad fue de 194 % lo cual significa que el productor recupera la totalidad de su inversión en tan solo un ciclo productivo; sin embargo, cultivar chilhuacle significa alto riesgo por la incidencia de enfermedades virales en la región.

2.5 Problemática del cultivo

El chilhuacle presenta problemas de índole sanitario y nutricionales que afectan directamente el rendimiento. López *et al.* (2016) y Espinoza (2011) indican que las plagas de importancia en el cultivo de chile son la paratíozoa (*Bactericera cockerelli* Sulc.), mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius, *Bemisia argentifolii* Bellows &

Perring, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood), áfidos, principalmente *Myzus persicae* Sulzer y minadores. En la región de la Cañada, Oax., durante los últimos años han causado daños severos los virus como Virus Mosaico del Tabaco, Virus Jaspeado del Tabaco, Virus Mosaico del pepino y el Geminivirus Huasteco del chile; éstos pueden afectar hasta el 100 % de los cultivos. En el ciclo otoño-invierno 2014-2015 se obtuvieron pérdidas de hasta el 80 % por enfermedades virales. Además de los problemas virales en chile, Sánchez *et al.* (2013) determinaron que la marchitez del chile (*Phytophthora capsici*) también puede provocar afectaciones hasta el 100 % debido a las altas temperaturas y humedad relativa. Para este estudio se sugirió que las densidades de población, fórmulas de fertilización y el uso de portainjertos CM-334 (material criollo de Morelos con resistencia a *P. capsici* en raíz, tallo y hojas) puede ser una alternativa viable para controlar la marchitez en chile y reducir el uso excesivo de agroquímicos para su control.

Actualmente, los problemas de origen agronómico han determinado que el fruto de chile en seco aumente su precio, lo cual significa una ganancia considerable para los productores de la región, pero también se limita la producción y escases en los mercados debido a los altos costos de producción que genera cultivar el chilhuacle por la infinidad de agroquímicos aplicados constantemente para reducir riegos de enfermedades. Esto conlleva a la disminución de la superficie cultivada y el incremento del riesgo de extinción (Galeote, 2015).

La nutrición del chilhuacle se considera una problemática prioritaria al desconocerse fórmulas de fertiirrigación o nutrición edáfica (Espinoza, 2011). La nutrición se realiza con fines de obtener la máxima expresión en cuanto a rendimiento, crecimiento y desarrollo armónico del cultivo, reducción de enfermedades y deficiencias nutricionales. Velasco-Velasco (1999) manifiesta que el suministro de nutrientes a las plantas está relacionado con la tolerancia a las enfermedades. Algunos síntomas relacionados con las deficiencias nutricionales son achaparramientos, clorosis, marchitamientos, moteados, formación de rosetas, muerte temprana, manchas en las hojas y crecimiento anormal.

2.6 Nutrición del cultivo

López *et al.* (2016) citan que la fertilización es una actividad común en los productores de chilhuacle. Se usan las dosis 160-120-80 o 120-100-70 con triple 17, fosfato diamónico (18-46-00) y urea (46-00-00). La aplicación de los fertilizantes se realiza en tres momentos: la primera a los 20 días después del trasplante (ddt), 35 ddt y por último a los 45 o 60 ddt.

El chilhuacle es un cultivo de ciclo largo por lo cual la demanda de nutrientes es continua. Galvis (1998) y Noh-Medina *et al.* (2010) recomiendan la optimización de los recursos con el fin de reducir costos de producción y el impacto negativo sobre el ambiente, al mismo tiempo que se mejore la calidad de los productos agrícolas y el rendimiento.

Reta *et al.* (2007) y Noh-Medina *et al.* (2010) determinaron que el N, P, K, Ca y Mg son los nutrientes más importantes en cuanto a crecimiento, rendimiento y calidad de producción. Salazar-Jara y Juárez-López (2012) reportaron que en Chile la mayor concentración de K, Ca y Mg se encontró en las hojas, P y S en frutos, y N en hojas y frutos.

2.6.1 Nitrógeno

El nitrógeno (N) es constituyente de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos (Harrison, 2003; Mayz-Figueroa, 2004; Sánchez *et al.*, 2006); es nutriente primario de alta demanda, la planta lo absorbe en distintas cantidades dependiendo su crecimiento (San Juan, 2014); el contenido de clorofila está correlacionado positivamente con la concentración de N en las hojas (Costa *et al.*, 2001), es esencial en la división y expansión celular (Pérez y Castro, 2010). El N está disponible para las plantas como N_2 , NH_3 , NO_3^- , NH_4^+ y en compuestos orgánicos (Sánchez *et al.*, 2006); en forma aniónica (NO_3^-), catiónica (NH_4^+) (Mayz-Figueroa, 2004), molecular [$CO(NH_2)_2$] y aminoácidos (Näsholm *et al.*, 2009). La concentración adecuada de N produce en las plantas mayor cantidad de clorofila,

asimilación y síntesis de productos orgánicos, vigor vegetativo, verde intenso en hojas (Zevada, 2005), producción de frutos y semillas (Rodríguez, 1982). San Juan (2014) menciona que las deficiencias de N se manifiestan en plantas débiles, raquíticas, crecimiento lento, maduración precoz y rendimiento bajo, mientras que en las plantas con exceso de N el follaje es más extenso, de color verde oscuro, susceptibles a enfermedades y plagas por la alta cantidad de aminoácidos, azúcares y nitratos en la savia los cuales funcionan como atrayentes para los insectos (Cisneros y Godfrey, 2001). Sánchez *et al.* (2006) mencionan que el N es uno de los fertilizantes más baratos en la agricultura; su uso puede ser contaminante del agua superficial y subterránea, por lixiviación y erosión del suelo (Urzúa *et al.*, 2001).

2.6.2 Fósforo

El fósforo (P) es el segundo macronutriente primario requerido por plantas y microorganismos (Alexander, 1980). El P forma parte de las moléculas que acumulan energía como adenosin trifosfato (ATP), fosfoproteínas, fosfolípidos, enzimas y ácidos nucleicos (ADN y RNA) (Munera y Meza, 2012); participan en la síntesis de proteínas, fotosíntesis, metabolismo de carbohidratos y maduración de frutos (Fernández, 2007). En el suelo, el P se encuentra en forma orgánica e inorgánica (Boschetti *et al.*, 2003). Los fosfatos inorgánicos son inmóviles en el suelo, en consecuencia, no son aprovechados por las plantas (Peix *et al.*, 2001), La raíz lo absorbe en pequeñas cantidades y lo transporta vía xilema (Fernández, 2007;) en forma de ortofosfato primario (H_2PO_4^-) o como ortofosfato secundario (HPO_4^-) (Munera y Meza, 2012). Boschetti *et al.* (2003) reportaron que un incremento de P niveles aumenta el peso de materia seca de la planta, crecimiento de raíces centrales y laterales, mientras que la deficiencia afectan negativamente la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, por lo tanto inhibe la síntesis de RNA, provocan desequilibrio en azúcares y almidón, causan pigmentación púrpura en el borde de las hojas maduras, crecimiento lento, retardo en la maduración, disminución en el rendimiento, mala calidad de frutos, en algunas plantas se presenta el enrollamiento de las hojas y retardan la floración. Gran parte del P es

destinado al fruto y a las semillas para su desarrollo, en consecuencia, su deficiencia puede reducir el número, tamaño y viabilidad de las semillas (Munera y Meza, 2012). Munera y Meza (2012) mencionan que el P es un elemento móvil dentro de las plantas desde las hojas maduras hasta los brotes nuevos, por lo que, en caso de deficiencia de este nutrimento los primeros síntomas se manifiestan en las hojas maduras.

2.6.3 Potasio

El potasio (K) es un macronutriente esencial suministrado en grandes cantidades para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Kant y Kafkafi, 2000). Las funciones del K son activadoras del metabolismo de proteínas, carbohidratos, participa en el proceso de apertura y cierre de estomas, interviene en la asimilación de carbono (C), fotosíntesis, síntesis de proteínas, formación de almidón, translocación de proteínas y azúcares (Fuentes, 2014). La planta lo absorbe en forma K^+ (móvil), fácilmente soluble en agua. El K participa en transporte de fotoasimilados en el floema, crecimiento celular, activación enzimática, intercambio iónico transmembranal, neutralización aniónica y potencial osmótico (Fassbender y Bornemisza, 1987; Buckman y Brady, 1977), resistencia a sequía, heladas y retención de agua (Arruda y Malavolta, 2001). Las plantas con deficiencia de K son susceptibles a enfermedades y sequía, presentan escaso desarrollo radical y tallos débiles (Fuentes, 2014), menor espesor de cutícula y pared celular, manchas cloróticas entre nervaduras de las hojas maduras (Arruda y Malavolta, 2001).

2.6.4 Calcio

El calcio (Ca) es un nutriente requerido en el crecimiento celular; en combinación con la calmodulina, aporta firmeza a la pared celular y estabilidad a la membrana, como resultado contribuye en la integridad celular, en consecuencia, proporciona mayor vida de anaquel del fruto (Suzuki *et al.*, 2003; Hirschi, 2004; Park *et al.*, 2005), regula la hidratación celular (antagonista de K y Mg); es activador de

enzimas (amilasa, ATPasa). Park *et al.* (2005) indican que el Ca se absorbe en forma iónica (Ca^{2+}). En tomate, la pudrición apical del fruto es una deficiencia localizada de Ca (Bennett, 1993; Ho y White, 2005).

2.6.5 Magnesio

El magnesio (Mg) es un nutriente esencial por formar parte del núcleo de la clorofila, ribosomas, enzimas (RNA-polimerasa y polinucleótido-fosfolilasa). Zevada (2005) menciona que el Mg se absorbe en forma de Mg^{2+} : Participa en la síntesis de aceites vegetales, clorofila, forma parte de los pectatos (Ca y Mg), se encuentra en las semillas, meristemos y frutos (Rodríguez, 1982). La deficiencia se manifiesta como clorosis intervenal en hojas viejas y defoliación intensa (Zevada, 2005).

2.7 Producción hidropónica

Actualmente la producción de alimentos se realiza con tecnologías que permiten cultivar en condiciones adversas del medio. El controlar variables del clima dentro de un espacio ha dado la oportunidad a los productores el poder cubrir la demanda de alimentos que requiere una población. Los invernaderos, microtúnel, malla sombra, entre otros, tienen la finalidad de modificar el medio físico para producir alimentos cuando las condiciones a cielo abierto no son idóneas (Ortiz-Cereceres *et al.*, 2009). El sistema de riego, dispositivos para manipular humedad relativa, temperatura y luz, software, soluciones nutritivas e hidroponía son tecnologías importantes para incrementar el rendimiento de los cultivos (Ortiz-Cereceres *et al.*, 2009).

La hidroponía es una tecnología que permite a la planta crecer en solución nutritiva directamente o en sustratos (arena, grava, vermiculita, lana de roca, musgo, fibra de coco, aserrín, etc.), los cuales sirven de sostén para las raíces (Lara, 1999; Ramos-Gourcy y Luna-Jiménez, 2006; Saavedra *et al.*, 2010). Un sustrato es cualquier material diferente al suelo que proporciona a la planta anclaje para el

desarrollo de su sistema radical, pero también puede proporcionar algunos nutrimentos (Pastor, 1999). La hidroponía permite que la planta crezca y desarrolle satisfactoriamente puesto que la raíz se encuentra en contacto directo con solución nutritiva (Saavedra *et al.*, 2010). Existen diferentes soluciones nutritivas, entre ellas, la de Steiner (1984) y la de Hoagland son las más utilizadas en cultivos hidropónicos o semihidropónicos. Estas soluciones nutritivas contienen todos los nutrimentos esenciales para que la planta realice sus funciones vitales. Gómez-Hernández y Sánchez del Castillo (2003) indican que las soluciones nutritivas se pueden utilizar concentradas o diluidas en función de la especie, etapa fenológica, época del año y región.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del experimento

Se realizaron tres experimentos, uno por cada etapa fenológica del chilhuacle, 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.

3.2 Material vegetal

En los tres experimentos se usaron semillas de chilhuacle negro procedentes de la región de San Juan Bautista Cuicatlán, Oaxaca, denominado también "chile viejo" en náhuatl (Cruz, 2015). El fruto del chile viejo o chilhuacle es una baya de forma trapezoidal con un tamaño medio de 10 cm de largo y 8 cm de ancho (Toledo, 2015), de color verde intenso en su madurez y negro al deshidratarse (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). El rendimiento promedio es 1 t ha⁻¹ de fruto deshidratado (López *et al.*, 2016).

3.3 Manejo agronómico

Para la producción de las plántulas de chilhuacle, las semillas se sembraron en charolas de polietileno de 200 cavidades en un sustrato comercial formulado para almácigo a base de turba (Sunshine 3[®]); el suministro de nutrimentos se realizó con la solución nutritiva universal (Steiner, 1984) diluida 20 %. El trasplante se realizó cuando el 50 % de las plántulas presentaron la décima hoja verdadera con una longitud de 5 ± 1 mm. La duración de esta fase fue de 73 días.

Las etapas vegetativa, reproductiva y fructificación se desarrollaron en sistema hidropónico de circuito abierto con riego por goteo, de tal manera que se tuvieron

tres módulos hidropónicos, uno para cada experimento. Se utilizaron contenedores de polietileno negro (15 L) y tezontle rojo con granulometría menor a 0.5 mm de diámetro como sustrato, el cual se considera inerte desde el punto de vista químico (Ojodeagua *et al.*, 2008). Se tuvo una planta de chilhuacle negro por contenedor. La distancia entre plantas varió en función de la etapa fenológica evaluada: 50 cm para la vegetativa y 75 cm para las reproductiva y fructificación, en arreglo topológico “tres bolillo”.

En los tres experimentos se utilizó la solución nutritiva universal (Steiner, 1984) como base para realizar las modificaciones de aniones y de cationes. También se consideró al aporte de los iones del agua utilizada para preparar las soluciones, y antes de agregar los fertilizantes en las dosis calculadas, se ajustó el pH a 5.5 con ácido sulfúrico. Se dieron 11 riegos por planta por día con una duración de 3 min por riego. En los anexos 1, 2 y 3 se desglosan los costos de las soluciones nutritivas.

En las plantas destinadas a evaluar la etapa vegetativa, después del trasplante se eliminaron los brotes axilares con la finalidad de favorecer el crecimiento de los primeros tres o cuatro tallos principales, mismos que se tutoraron con hilo de polipropileno sostenido del invernadero. La nutrición de las plantas se realizó conforme a lo descrito en el Cuadro 1.

Las plantas designadas para evaluar la etapa reproductiva se condujeron también a cuatro tallos principales, para ello se eliminaron los brotes vegetativos axilares. En esta etapa ya fue necesario realizar la polinización de las flores, la cual se hizo de forma manual haciendo vibrar a las plantas por medio de los tutores. La nutrición de estas plantas en su etapa vegetativa se realizó con la solución nutritiva universal (Steiner, 1984), mientras que para la etapa reproductiva fue conforme a lo indicado en el Cuadro 2.

Las plantas asignadas para evaluar la etapa de fructificación también se condujeron a cuatro tallos principales debido a que Langlé (2011) reportó incremento significativo en el peso del fruto y rendimiento por planta en comparación con las

plantas sin podar o con dos tallos. Se detuvo el crecimiento longitudinal de los tallos principales a los 20 entrenudos eliminando la yema terminal al momento que el 50 % de las plantas presentaron esta condición. En esta etapa la polinización de las flores se realizó diariamente de forma manual durante 184 días. La nutrición de estas plantas en su etapa vegetativa y reproductiva se realizó con la solución nutritiva universal (Steiner, 1984), mientras que en la reproductiva se hizo de acuerdo con lo descrito en el Cuadro 3. La maduración de frutos inició a los 139 días después del trasplante. El indicador de cosecha fue cuando los frutos presentaron un color café brillante y una textura suave al tacto.

En los tres experimentos, para el control de plagas y enfermedades se realizaron aplicaciones de insecticidas como Dinamo[®], Disparo[®], Foley[®], Beal leaf[®]; fungicidas como Oxicob[®] y un bactericida Agri-Gent Plus 800[®] en dosis de 1 mL L⁻¹; además, se realizaron aplicaciones semanales de productos orgánicos como Micro vida[®] (bioinsecticida y biofungicida) en dosis de 3 mL L⁻¹ para evitar resistencias en el control de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), trips (*Frankliniella occidentalis*) y bacteria (*Xanthomonas campestris pv. Vesicatoria*) en la etapa de plántula.

3.4 Tratamientos, diseño experimental y variables de respuesta

3.4.1 Etapa vegetativa

La etapa vegetativa inició desde el trasplante hasta que el 50 % de las plantas presentaron el primer botón floral. Se generaron tres soluciones nutritivas resultado de modificar la concentración de NO₃⁻ (10, 12 y 14 me L⁻¹), manteniendo constante la relación SO₄²⁻:H₂PO₄⁻ (7:1), las relaciones entre K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ (7:9:4), la concentración total de aniones y de cationes en 20 me L⁻¹, respectivamente (Cuadro 1).

El diseño experimental fue bloques completos al azar, con cinco repeticiones por tratamiento. La unidad experimental se conformó de seis contenedores con una

planta por contenedor distribuidas en “tres bolillo” a una distancia de 50 cm; la unidad de muestreo fueron las dos plantas centrales.

Cuadro 1. Composición química de las soluciones nutritivas para la etapa vegetativa del chilhuacle (*Capsicum annuum* L.).

Tratamiento	Concentración de macronutrientes (me·L ⁻¹)					
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1	10	1.25	8.75	7	9	4
2	12	1	7	7	9	4
3	14	0.75	5.25	7	9	4

Las variables de respuesta se evaluaron cuando el 50 % de las plantas presentaron visualmente el primer botón floral. Altura de la planta con un flexómetro (Pretul®) desde la base del tallo hasta el ápice del tallo más largo. Diámetro del tallo principal a 1 cm por encima del sustrato con un vernier digital (Stainless Hardened®). Contenido relativo de clorofila (CRC) con SPAD 502 Plus (Minolta®) en hojas recientemente maduras. Área foliar determinada con un integrador de área foliar (LICOR, LI-3100). Longitud de raíz con un flexómetro (Pretul®) desde la base del tallo hasta el ápice de la raíz más larga. Volumen de raíz con una probeta de 50 mL por el método de desplazamiento de agua. En una probeta con una cantidad conocida de agua se sumergió la raíz completa; la diferencia entre el volumen final y el inicial fue el volumen de raíz. Biomasa seca de los órganos de la planta (tallo, hojas y raíz), para ello se utilizó una secadora digital de circulación forzada de aire (Luzeren, DGH9070A,) a una temperatura de 65 °C durante 72 h, el peso de la biomasa seca se determinó en una balanza analítica.

3.4.2 Etapa reproductiva

La etapa reproductiva inició cuando el 50 % de las plantas presentaron visualmente el primer botón floral y finalizó en el momento que el 50 % de las plantas tuvieron

el primer fruto con una longitud de 10 ± 1 mm. Se generaron nueve soluciones nutritivas con diferentes relaciones $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$, las cuales fueron el resultado de combinar 10, 12 y 14 me L^{-1} de NO_3^- con 0.75, 1.00 y 1.25 me L^{-1} de H_2PO_4^- , considerando la concentración total de aniones de 20 me L^{-1} ; en las nueve soluciones se mantuvieron constantes las relaciones entre $\text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (7:9:4) y la concentración total de cationes en 20 me L^{-1} (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición química de las soluciones nutritivas para la etapa reproductiva del chilhuacle.

Tratamiento	Concentración de macronutrientes (me·L ⁻¹)					
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1	10	0.75	9.25	7	9	4
2	10	1	9	7	9	4
3	10	1.25	8.75	7	9	4
4	12	0.75	7.25	7	9	4
5	12	1	7	7	9	4
6	12	1.25	6.75	7	9	4
7	14	0.75	5.25	7	9	4
8	14	1	5	7	9	4
9	14	1.25	4.75	7	9	4

El diseño experimental fue bloques completos al azar con cinco repeticiones por tratamiento y la unidad experimental fue un contenedor de 15 L con una planta distribuidas en “tres bolillo” a una distancia de 75 cm.

Las variables de respuesta evaluadas de la misma manera que en la etapa vegetativa fueron: altura de la planta, diámetro del tallo principal, contenido relativo de clorofila, área foliar, longitud de raíz, volumen de raíz, peso de biomasa seca de

hojas, tallo y raíz. En este caso se consideraron botones por planta, flores por planta y porcentaje de aborto floral.

3.4.3 Etapa de fructificación

La etapa de fructificación inició a partir de que el 50 % de las plantas presentaron el primer fruto con una longitud de 10 ± 1 mm. Se evaluaron nueve soluciones nutritivas como resultado de la combinación de 10, 12 y 14 me L⁻¹ de NO₃⁻ con 5, 7 y 9 me L⁻¹ de K⁺; en las nueve soluciones se mantuvo constante la relación de SO₄²⁻:H₂PO₄⁻ (7:1) y de Ca²⁺:Mg²⁺ (9:4), la concentración total de aniones (20 me L⁻¹) y de cationes (20 me L⁻¹) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición química de las soluciones nutritivas para la etapa de fructificación del chilhuacle.

Tratamiento	Concentración de macronutrientes(me·L ⁻¹)					
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1	10	1.25	8.75	5	10.39	4.61
2	10	1.25	8.75	7	9	4
3	10	1.25	8.75	9	7.61	3.39
4	12	1	7	5	10.39	4.61
5	12	1	7	7	9	4
6	12	1	7	9	7.61	3.39
7	14	0.75	5.25	5	10.39	4.61
8	14	0.75	5.25	7	9	4
9	14	0.75	5.25	9	7.61	3.39

El experimento se realizó en un diseño bloques completos al azar con cinco repeticiones por tratamiento teniendo como unidad experimental un contenedor de 15 L con una planta distribuidas en “tres bolillo” a una distancia de 75 cm.

Las variables de respuesta morfológicas fueron las mismas que en la etapa reproductiva solo que el área foliar y la biomasa seca de las hojas fue estimada considerando los entrenudos del 10 al 15 de los dos tallos principales y de los dos secundarios, también se determinó la longitud y diámetro del fruto medido con vernier digital (Stainless Hardened®) con base en la NORMA NNX-FF-107/1-SCFI-2006. Grosor del pericarpio promedio de dos lóculos en el centro del fruto después de hacer un corte perpendicular al eje central determinado con vernier digital (Stainless Hardened®) (Espinoza, 2011). Sólidos solubles totales (SST) en grados Brix cuantificados con un refractómetro portátil (Atago®, PAL-1 3810), semillas por fruto, frutos de los tallos principales, porcentaje de aborto de flor, tallos totales por planta, biomasa fresca y seca de fruto, rendimiento de biomasa fresca y seca de fruto. El rendimiento de fruto por planta se obtuvo considerando la cosecha durante 18 semanas.

3.5 Herramienta estadística

Los datos obtenidos de los tres experimentos se sometieron al análisis de varianza y a los datos con diferencia estadística se les realizó la prueba de comparación múltiple de medias LSD ($P \leq 0.05$). Para dicho análisis estadístico se utilizó el software Statistical Analysis System

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Las etapas fenológicas del chilhuacle

Soto-Ortiz *et al.* (2006) y Soto-Ortiz y Silvertooth (2008) mencionan que las diferentes etapas fenológicas de un cultivo tienen sus propios requerimientos nutrimentales puesto que varían sus características morfológicas. Rylsky (1998) describe tres fases de crecimiento representativo de los *Capsicum*: 1) Fase inicial o logarítmica que comprende planta joven donde el área foliar y la raíz son reducidos; 2) Fase vegetativa o exponencial, es de crecimiento rápido y mayor asimilación de nutrientes destinados para la formación de frutos; 3) Fase de asimilación en el desarrollo de frutos para proseguir a una estabilización en el crecimiento de las plantas. De esta manera durante la etapa vegetativa crecen las raíces, tallos y hojas; en la reproductiva, aparecen las flores y con ello se llevan a cabo los procesos de polinización y fecundación; y en la etapa de fructificación, crecen los frutos. También es importante considerar otros factores como el manejo, la temperatura, intensidad luminosa y humedad relativa con la finalidad de disminuir la abscisión de frutos para obtener una producción redituable. En el Cuadro 4 se muestran datos sobre la duración de las etapas fenológicas del chilhuacle.

Cuadro 4. Duración de las etapas fenológicas del chilhuacle y temperatura promedio en cada etapa.

Etapa I (Días)	Etapa II (Días)	Etapa III (Días)	Edad (Días)
29	11	184	224
Temperatura promedio (°C)			TPC
21.4	22.5	20.9	21.6

Etapa I, inició en el trasplante cuando las 50 % de las plántulas presentaron la décima hoja verdadera con una longitud de 5 ± 1 mm y finalizó cuando el 50 % de las plantas presentaron visualmente el primer botón floral. Etapa II, inició cuando el 50 % de las plantas presentaron el primer botón floral hasta que el 50 % presentaron el primer fruto con una longitud de 10 ± 1 mm. Etapa III, inició cuando el primer fruto tuvo 10 ± 1 mm de longitud en el 50 % de las plantas hasta el término de la cosecha. TPC: temperatura promedio (°C) durante el ciclo productivo del chilhuacle.

La etapa vegetativa (Etapa I) duró 29 días desde el trasplante hasta la aparición de los primeros botones florales (Figura 1). La temperatura promedio para esta etapa fue de 21 °C, la cual puede considerarse adecuada ya que Cano y Serrano (2003) reportan para el chilhuacle temperaturas mínimas entre 10 a 15 °C y máximas de 25 a 30 °C para un crecimiento equilibrado. La Etapa I se caracteriza por el crecimiento de raíces, tallos y hojas, sin embargo, ya se están diferenciando los meristemas florales. Moreno-Pérez *et al.* (2011) mencionan que el proceso productivo de las hortalizas inicia desde la obtención de plántulas vigorosas hasta plantas adultas con características como grosor del tallo, crecimiento de raíz, área foliar, grosor de la lámina foliar y materia seca para obtener un buen establecimiento y la máxima expresión de productividad del cultivo.



Figura 1. Etapa vegetativa del chilhuacle.

La etapa reproductiva (Etapa II) tuvo una duración de 11 días considerando la aparición visual del primer botón floral hasta la presencia del primer fruto con una longitud de 10 ± 1 mm (Figura 2). En esta etapa la temperatura promedio fue de 22.5 °C, la cual se considera adecuada para la floración dado que Cano y Serrano (2003) reportan temperaturas máximas para la especie de 25 a 30 °C. Cabe mencionar que la temperatura y el aborto de flores están estrechamente

relacionados (Romero *et al.*, 1998); una temperatura superior a 30 °C en combinación con luminosidad excesiva y demasiados tallos provocan la caída de las flores reduciendo el rendimiento. Esta etapa se caracteriza por la presencia visual de botones florales, crecimiento de raíz, de nuevos tallos y de hojas, por lo que es de esperarse competencia por fotoasimilados entre los órganos reproductivos y los vegetativos. El incremento de materia seca expresada en los diferentes órganos en formación y crecimiento implica mayor demanda de nutrimentos, la cual debe ser satisfecha por la solución nutritiva con la finalidad de mantener el crecimiento vegetativo, la producción de flores y reducir el aborto de éstas. Esta etapa fue de rápida formación y cuajado en el primer botón floral, lo cual coincide con Azofeifa y Moreira (1998) que afirman que la asimilación de fotoasimilados es más rápida en la etapa de formación de frutos en comparación con la etapa vegetativa. Por ello, la planta reduce su crecimiento en ese momento para destinar energía a la formación de frutos.



Figura 2. Etapa reproductiva del chilhuacle.

La etapa de fructificación (Etapa III) tardó 184 días, iniciando con el primer fruto de una longitud de 10 ± 1 mm hasta el final de la cosecha (Figura 3). El primer corte de frutos maduros se realizó a los 69 días después del trasplante. La temperatura promedio para esta etapa fue de 20.9 °C, que de acuerdo con Cano y Serrano

(2003) está en el intervalo apropiado porque las máximas para el chilhuacle son de 25 a 30 °C. Según Romero *et al.* (1998) con temperatura mayor a 35 °C y aire seco, la fructificación disminuye o está ausente; y con temperatura menor a 10 °C los frutos son de tamaño reducido. Galeote (2015) menciona que con temperatura ambiental baja los frutos son deformes, se disminuye la viabilidad del polen y se pueden formar frutos partenocárpicos.



Figura 3. Etapa de fructificación del chilhuacle.

La humedad relativa (HR) promedio en el invernadero fue de 49.5 % en etapa vegetativa, 39.0 % en floración y 63.2 % en la etapa de desarrollo de frutos. La HR promedio durante el ciclo de producción del chilhuacle (224 días contados a partir del trasplante) fue de 50 %. La variación de la HR durante el año repercute en el crecimiento de la planta. La HR superior a 80 % propicia la incidencia de patógenos y dificultan la polinización; mientras que una HR baja induce el cierre de estomas, con ello se disminuye la tasa fotosintética y la velocidad de crecimiento de la planta (Huertas, 2008).

4.2 Efecto de la concentración de NO_3^- en la solución nutritiva suministrada durante la etapa vegetativa del chilhuacle sobre el crecimiento y producción de materia seca

La etapa vegetativa del chilhuacle inició en el trasplante [73 días después de la siembra (dds)] y concluyó con la aparición del primer botón floral en el 50 % de las plantas (102 dds); duró 29 días, con temperatura promedio de 21.4 °C y humedad relativa de 49.5 %, la cual puede considerarse de corta duración ya que Azofeira y Moreira (2005) mencionan 40 días para el chile jalapeño y Noh-Medina *et al.* (2010) indican 50 días en chile habanero. En programas de nutrición es importante considerar la duración de la etapa vegetativa de acuerdo con la especie y variedad ya que algunas características importantes son la división celular y rápido crecimiento de raíces, tallos y hojas, implicando distribución de biomasa a estos órganos y demanda de nutrimentos (Azofeira y Moreira, 2005), sobre todo del nitrógeno (N) debido a su función estructural (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2004).

Con relación al efecto de la concentración de NO_3^- en la solución nutritiva en el crecimiento de las plantas de chilhuacle, 10, 12 y 14 me L⁻¹ tuvieron efecto estadísticamente similar en la concentración relativa de clorofila, área foliar y longitud de raíz (Cuadro 5), al igual que en la acumulación de biomasa seca de hojas y raíz (Cuadro 6). Los valores promedio para las variables antes citadas en el orden de aparición fueron las siguientes: 50.35 unidades SPAD, 292.4 cm², 18 cm, 1.23 g y 0.5 g.

Las variables altura de planta, diámetro de tallo principal, volumen de raíz, materia seca de tallo y de la planta completa si resultaron afectadas por la concentración de NO_3^- de la solución nutritiva (cuadros 5 y 6). En este sentido, con 14 me L⁻¹ de NO_3^- las plantas fueron 11.51 % más altas y 21 % más diámetro de tallo que las nutridas con 12 me L⁻¹. También con 14 me L⁻¹ de NO_3^- las plantas presentaron 30.55 % más raíces que las nutridas con 10 y 12 me L⁻¹ de NO_3^- (Cuadro 5).

Cuadro 5. Crecimiento de las plantas por efecto de la concentración de NO_3^- de la solución nutritiva suministrada en la etapa vegetativa del chilhuacle.

Concentración de NO_3^- (me L^{-1})	AP (cm)	DTP (mm)	CRC (SPAD)	AF (cm^2)	LR (cm)	VR (cm^3)
10	32.30ab	4.57ab	50.08a	285.49a	18.35a	7.00b
12	30.40b	4.14b	49.94a	269.07a	17.03a	7.40b
14	33.90a	5.01a	51.03a	322.64a	17.41a	9.40a
DMS	1.92	0.71	2.40	56.44	2.78	1.36
CV (%)	6.43	16.82	5.15	20.81	17.05	18.51

Medias con la misma literal en columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba LSD ($P \leq 0.05$). AP: altura de planta; DTP: diámetro de tallo principal; CRC: contenido relativo de clorofila en unidades SPAD; AF: área foliar; LR: longitud de raíz; VR: volumen de raíz; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

En cuanto a la acumulación de materia seca, en el tallo se incrementó 31 % con 10 y 14 me L^{-1} en comparación con las plantas nutridas con 12 me L^{-1} de NO_3^- . Al considerar la materia seca de la planta completa, las plantas nutridas con 14 me L^{-1} de NO_3^- produjeron 22.63 % y 11.19 % más en comparación con las que recibieron 12 me L^{-1} y 10 me L^{-1} de NO_3^- , respectivamente (Cuadro 6). Espinoza (2011) reporta resultados favorables en altura de la planta, diámetro del tallo, peso de materia fresca y seca de hoja, tallo y raíz con 12 me L^{-1} de NO_3^- durante la etapa vegetativa del chilhuacle, lo cual difiere con los resultados obtenidos en el presente experimento ya que las plantas nutridas con 14 me L^{-1} de NO_3^- presentaron incremento significativo en altura, diámetro de tallo principal, volumen de raíz y acumulación de materia seca en la planta completa.

Las plantas con altura, diámetro de tallo, volumen de raíz, materia seca de tallo y total sobresalientes (Cuadro 7) destinaron 44.57 % de su materia seca a las hojas, 37.42 % al tallo y 18 % a la raíz, por lo cual, esta partición de materia seca puede considerarse equilibrada en la etapa vegetativa del chilhuacle. Peil y Gálvez (2005) manifiestan que la distribución de materia seca es el resultado final de un conjunto ordenado de procesos metabólicos y de transporte que conlleva un flujo de asimilados a través de un sistema de fuente-demanda. Sin embargo, existe una relación entre tallo y hojas representativamente en plantas jóvenes, donde la

distribución de materia seca inicia con un descenso e incrementa con la edad y el tamaño de la planta (Harssema, 1977; Horie *et al.*, 1979; Nilwik, 1981); mientras en plantas adultas la relación tallo/hojas parece ser constante e independiente de la edad y tamaño de la planta (Schapendonk and Brouwer, 1984).

Cuadro 6. Producción de materia seca por efecto de la concentración de NO_3^- en la solución nutritiva suministrada en la etapa vegetativa del chilhuacle.

Concentración de NO_3^- (me L^{-1})	MSH (g)	MST (g)	MSR (g)	MSTOT (g)
10	1.21a	0.96a	0.50a	2.68ab
12	1.17a	0.79b	0.47a	2.43b
14	1.33a	1.11a	0.53a	2.98a
DMS	0.22	0.15	0.09	0.42
CV (%)	19.87	17.58	19.38	17.01

Medias con la misma literal en columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba LSD ($P \leq 0.05$). MSH: peso de materia seca de hoja; MST: peso de materia seca de tallo; MSR: peso de materia seca de raíz; MSTOT: peso de materia seca de la planta completa; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Cuadro 7. Partición de materia seca por efecto de la concentración de NO_3^- en la solución nutritiva suministrada en la etapa vegetativa del chilhuacle.

Concentración de NO_3^- (me L^{-1})	PMSH (g)	PMST (g)	PMSR (g)
10	45.18ab	35.96a	18.85a
12	48.01a	32.53b	19.45a
14	44.57b	37.42a	18.00a
DMS	3.17	2.85	1.89
CV (%)	7.46	8.70	10.88

Medias con la misma literal en columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba LSD ($P \leq 0.05$). PMSH: materia seca destinada a hoja; PMST: materia seca destinada a tallo; PMSR: materia seca destinada a raíz; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

4.3 Efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ de la solución nutritiva suministrada durante la etapa reproductiva del chilhuacle sobre el crecimiento, floración y producción de materia seca

La etapa reproductiva del chilhuacle inició a los 102 dds cuando el 50 % de las plantas presentaron visualmente el primer botón floral y finalizó 113 dds en el momento que el 50 % de las plantas tuvieron el primer fruto con una longitud de 10 ± 1 mm. La duración de esta etapa fue de 11 días con una temperatura promedio de 22.5 °C. La floración es la etapa más corta, de rápido crecimiento, mayor asimilación de nutrientes (Rylsky, 1998), incremento de tallos y hojas (Nuez *et al.*, 2003) y cuajado de frutos (Urrestarazu, 2000), por tal razón, el suministro adecuado de todos los nutrimentos esenciales, en especial del P en este periodo de tiempo es posible que tenga repercusiones importantes en el rendimiento final de la planta debido a su participación en todos los procesos metabólicos de las plantas, como la fotosíntesis y respiración (Raghothama, 2000).

La metodología propuesta por Steiner (1984) permite realizar modificaciones a las relaciones mutuas entre aniones y cationes. En la etapa reproductiva se consideró variar de manera simultánea las concentraciones relativas entre $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-$, pero automáticamente se alteró la concentración de SO_4^{2-} . Las relaciones mutuas entre los cationes se mantuvieron constantes en todos los tratamientos, por lo que de acuerdo con Steiner (1984) el efecto sobre las variables morfológicas y de acumulación de materia seca se le puede atribuir a las relaciones entre aniones. Por el número de variables morfológicas y de producción de materia seca afectadas favorablemente sobresalieron las plantas nutridas con las relaciones 10:1.25:8.75 (siete variables sobresalientes) y 12:1:7 (seis variables destacadas) de $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ (cuadros 8, 9 y 10). Con la relación 10:1.25:8.75 se incrementó 7.38% el diámetro de tallo principal en comparación con el tallo de las plantas nutridas con 12:1:7, aunque fue estadísticamente similar al de las plantas con la relación 10:0.75:9.25 (Cuadro 8). También con 10:1.25:8.75 se favoreció 8.29 % la CRC, 5.98 % la materia seca de tallos, 24.52 % la de raíz y 6.44 % de la planta completa (cuadros 8 y 9), con respecto a las mismas variables de las plantas nutridas con 12:1:7 de $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$. Determinar el CRC tiene aplicación práctica porque presenta correlación positiva con la concentración de N en los tejidos de las hojas

y de esta manera se puede cuantificar de forma no destructiva posibles deficiencias y excesos de este nutrimento esencial (Schröder *et al.*, 2000; Argenta *et al.*, 2001; Scharf *et al.*, 2006; Varvel *et al.*, 2007). En este sentido la CRC relacionada con el crecimiento favorable de la planta de chilhuacle en la etapa reproductiva puede ser considerada en el rango de 47.66 a 49.72 unidades SPAD.

Cuadro 8. Crecimiento de las plantas por efecto de las relaciones $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa reproductiva del chilhuacle.

Relaciones $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ (me L^{-1})	AP (cm)	DTP (mm)	CRC (SPAD)	AF (cm^2)	LR (cm)	VR (cm^3)
10:0.75:9.25	48.92ab	6.39a	57.04ab	844.84ab	21.00a	10.00c
10:1:9	44.66b	5.77ab	56.82ab	790.40ab	22.26a	11.00c
10:1.25:8.75	48.12ab	6.40a	59.50a	921.81ab	24.18a	15.60ab
12:0.75:7.25	48.06ab	6.03ab	58.06ab	761.00ab	22.90a	14.00a-c
12:1:7	49.72a	5.96ab	54.94b	959.01a	23.04a	16.80a
12:1.25:6.75	48.22ab	6.11ab	56.46ab	808.10ab	22.80a	11.60a-c
14:0.75:5.25	48.62ab	6.00ab	58.10ab	711.81b	23.50a	14.60a-c
14:1:5	46.62ab	6.24ab	55.70ab	718.13b	21.78a	11.80b-c
14:1.25:4.75	45.08ab	5.51b	58.88ab	759.39ab	21.96a	9.60c
DMS	4.92	0.76	4.05	200.54	3.55	5.24
CV (%)	8.03	9.81	5.49	19.25	12.19	31.83

Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba LSD ($P \leq 0.05$). AP: altura de planta; DTP: diámetro de tallo principal; AF: área foliar; CRC: contenido relativo de clorofila en unidades SPAD; LR: longitud de raíz; VR: volumen de raíz; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Por otro lado, las plantas tratadas con la relación 12:1:7 fueron de 3.32 % más altas, con mayor área foliar (4.03%) y volumen de raíz (7.69 %) comparando las mismas variables de las plantas nutridas con 10:1.25:8.75 de $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ (Cuadro 8). El volumen radical influye en el éxito del establecimiento y desarrollo del cultivo,

pues de la raíz depende en gran medida la absorción de agua y nutrientes (Córdoba-Rodríguez *et al.*, 2011), sin embargo, no es determinante en la producción de materia seca como lo demuestran los datos obtenidos con las plantas de chilhuacle. Al respecto, las plantas nutridas con 12:1:7 de $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ presentaron materia seca de hojas, tallo, raíz y de la planta completa similar desde el punto de vista estadístico ($P \leq 0.05$) en comparación con las nutridas con 10:0.75:9.25, a pesar de que las plantas con la primera relación tuvieron 68 % más volumen de raíz que las segundas (cuadros 8 y 9).

Cuadro 9. Producción de materia seca por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa reproductiva del chilhuacle.

Relaciones $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ (me L ⁻¹)	MSH (g)	MST (g)	MSR (g)	MSTOT (g)
10:0.75:9.25	3.84ab	1.51ab	4.10ab	9.46ab
10:1:9	3.45ab	1.28b	3.52b	8.26b
10:1.25:8.75	3.97a	1.98a	4.43a	10.40a
12:0.75:7.25	3.60ab	1.45b	3.76ab	8.82ab
12:1:7	3.99a	1.59ab	4.18ab	9.77ab
12:1.25:6.75	3.55ab	1.31b	3.92ab	8.80ab
14:0.75:5.25	3.65ab	1.45b	4.26ab	9.37ab
14:1:5	3.13b	1.25b	3.63ab	8.03b
14:1.25:4.75	3.33ab	1.33b	3.58ab	8.26b
DMS	0.77	0.48	0.88	1.81
CV (%)	16.72	25.77	17.37	15.60

Medias con la misma literal en columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba LSD ($P \leq 0.05$). MSH: peso de materia seca de hoja; MST: peso de materia seca de tallo; MSR: peso de materia seca de raíz; MSTOT: peso de materia seca de la planta completa; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Las nueve relaciones de aniones evaluadas indujeron que las plantas presentaran estadísticamente similar ($P \leq 0.05$) número de flores (3.4 en promedio) al finalizar la

etapa, sin embargo, en cuanto al número promedio de botones (14.1) sobresalieron las plantas nutridas con 10:0.75:9.25 y 12:1:7 (en me L⁻¹) de NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻, lo cual representó 6.81 % de incremento con respecto al número de botones producidos por las plantas que recibieron la relación 10:1.25:8.75 (Cuadro 10). En la primera relación de aniones (10:0.75:9.25) el porcentaje de aborto de flor fue de 2.05 y en la segunda (12:1:7) de 7.03, lo cual indica mayor probabilidad de retención de flores con la relación mutua (en me L⁻¹) 10 de NO₃⁻: 0.75 de H₂PO₄⁻:9.25 de SO₄²⁻ (Figura 4). A parte de la nutrición, se reporta que en especies del género *Capsicum*, las plantas tienden alcanzar porcentajes muy altos de aborto de las flores, lo cual puede ser inducido por factores como luz (Wien *et al.*, 1990; Turner y Wien, 1994; Marcelis *et al.*, 2004), humedad relativa (Bakker, 1989; Marlow, 2008), temperaturas inferiores de 10 °C afectan la germinación del polen y desarrollo del tubo polínico (Reddy y Kakani, 2007), competencia por fotoasimilados entre los órganos vegetativos y reproductivos en crecimiento (Aloni *et al.*, 1991), desequilibrios fisiológicos y hormonales (Blanusa *et al.*, 2006; Ramírez *et al.*, 2010).



Figura 4. Aborto de flor en la etapa reproductiva del chilhuacle.

Cuadro 10. Producción de botones y flores, y porcentaje de aborto floral por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa reproductiva del chilhuacle.

Relaciones $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ (me L ⁻¹)	NBP**	NFP*	PAF**
10:0.75:9.25	14.00a	3.20a	2.05
10:1:9	12.00ab	2.80a	2.83
10:1.25:8.75	13.20ab	4.00a	2.64
12:0.75:7.25	12.60ab	4.20a	5.11
12:1:7	14.20a	3.00a	7.03
12:1.25:6.75	11.60ab	3.20a	7.17
14:0.75:5.25	10.80b	3.60a	4.13
14:1:5	11.80ab	4.00a	6.61
14:1.25:4.75	11.80ab	2.80a	5.53
DMS	2.99	1.59	6.11
CV (%)	7.1	17.91	nd

Medias con la misma literal en columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba LSD ($P \leq 0.05$). NBP: número de botones por planta; NFP: número de flores por planta; PAF: porcentaje de aborto de flor; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; nd: no determinada. **Los datos originales se transformaron con el logaritmo; *: Los datos originales se transformaron con la raíz cuadrada.

En la etapa reproductiva del chilhuacle, la materia seca se repartió 40 % a hoja, 43.72 % a tallo y 16.09 % a raíz (Cuadro 11). Esto difiere con Peil y Gálvez (2005) al establecer que la mayor acumulación de biomasa es en las hojas, posteriormente en los tallos y por último en la raíz. En las plantas de chilhuacle se destinó mayor biomasa al tallo, seguido por las hojas y en tercer lugar a la raíz, lo cual puede atribuirse a la formación de tejido secundario en tallos implicando mayor porcentaje de pared celular secundaria lo que representa más acumulación de celulosa en comparación con las paredes primarias de las células de las hojas.

Cuadro 11. Partición de materia seca por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa reproductiva del chilhuacle.

Relaciones $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$ (me L ⁻¹)	PMSH (g)	PMST (g)	PMSR (g)
10:0.75:9.25	40.67a	43.31a	16.01a
10:1:9	41.74a	42.60a	15.65a
10:1.25:8.75	38.44a	42.92a	18.63a
12:0.75:7.25	40.17a	43.18a	16.63a
12:1:7	40.81a	42.78a	16.40a
12:1.25:6.75	40.28a	44.59a	15.12a
14:0.75:5.25	39.11a	45.45a	14.43a
14:1:5	38.83a	45.51a	15.65a
14:1.25:4.75	40.51a	43.17a	16.31a
DMS	3.83	4.31	3.65
CV (%)	7.43	7.65	17.51

Medias con la misma literal en columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba LSD ($P \leq 0.05$). PMSH: materia seca destinada a hoja; PMST: materia seca destinada a tallo; PMSR: materia seca destinada a raíz; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

4.5 Efecto de la relación NO_3^- : K^+ de la solución nutritiva suministrada durante la etapa de fructificación del chilhuacle sobre el crecimiento, producción de materia seca y rendimiento

La etapa de fructificación del chilhuacle tuvo una duración de 184 días con una temperatura promedio de 20.9 °C, considerada desde que 50 % de las plantas presentaron el primer fruto (113 dds) con una longitud de 10 ± 1 mm hasta la última cosecha (297 dds). Con relación a variables de crecimiento, las nueve relaciones NO_3^- : K^+ evaluadas tuvieron efecto estadísticamente similar ($P \leq 0.05$) en la altura de planta, diámetro del tallo principal, área foliar estimada y volumen de raíz. Los valores para dichas características fueron, en el mismo orden de aparición: 1.68 m, 20 mm, 1384 cm² y 102 cm³ (Cuadro 12). Espinoza (2011) reportó que con la solución nutritiva de Steiner (1984) las plantas de chilhuacle presentaron mayor altura, diámetro del tallo y volumen de raíz, lo cual difirió con los datos obtenidos en el presente experimento. Es probable que la diferente respuesta se deba a factores del ambiente físico de la zona de producción como la fluctuación de la temperatura, radiación y humedad relativa.

El contenido relativo de clorofila (CRC) fue diferente en función de la relación NO_3^- : K^+ de la solución nutritiva (Cuadro 12). Las plantas nutridas con 10 de NO_3^- y 9 de K^+ (en me L⁻¹) presentaron el mayor CRC, 7.01 % superior en comparación con las que recibieron 12:5, 18.38 % con respecto a las tratadas con 10:7, 37.07 % con relación al cuarto grupo de repuesta conformado por las plantas nutridas con 10: 5, 14:5, 14:7 y 14:9 de NO_3^- : K^+ , y 49.93 % correspondientes al quinto grupo de respuesta representado por la plantas a las que se les agregó solución nutritiva con relación NO_3^- : K^+ 12:7 y 12:9. Los datos anteriores indican que el incremento del CRC no tuvo relación directa con el aumento del NO_3^- en la solución ya que las plantas con mayor cantidad clorofila se nutrieron con 10 me L⁻¹ NO_3^- con respecto a las nutridas con 14 me L⁻¹ NO_3^- . La modificación de la respuesta por la presencia de diferentes concentraciones de K^+ revela interacción con el NO_3^- . La clorofila en las plantas es importante porque es el pigmento responsable de la captación de la energía luminosa durante el proceso de la fotosíntesis y su concentración tiene relación directa con la intensidad del color verde (Rincón-Castillo y Ligarreto, 2010),

por lo que era de esperarse variaciones en la intensidad del color verde en las plantas de chilhuacle debido a las diferencias en el CRC.

Cuadro 12. Crecimiento de las plantas por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa de fructificación del chilhuacle.

Relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ (me L^{-1})	AP (m)	DTP (mm)	CRC (SPAD)	AFE (cm^2)	VR (cm^3)
10:5	1.76a	20.67a	70.78cd	1673.6a	101.0a
10:7	1.65a	19.05a	75.48abc	1168.6a	100.0a
10:9	1.74a	20.39a	89.36a	1546.8a	124.0a
12:5	1.65a	21.35a	83.50ab	1463.7a	96.0a
12:7	1.63a	20.69a	59.32d	1722.5a	92.0a
12:9	1.63a	20.69a	58.80d	1115.6a	112.0a
14:5	1.71a	20.53a	65.26cd	1228.5a	90.0a
14:7	1.77a	20.30a	62.36cd	930.1a	103.0a
14:9	1.65a	19.68a	62.36cd	1612.5a	104.0a
DMS	0.17	2.98	14.79	952.85	35.35
CV (%)	8.20	11.38	16.47	52.85	26.77

Medias con la misma literal en columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba LSD ($P \leq 0.05$). AP: altura de planta; DTP: diámetro de tallo principal; CRC: contenido relativo de clorofila en unidades SPAD; AFE: área foliar estimada; VR: volumen de raíz; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Los frutos de chilhuacle obtenidos en el estudio presentaron diámetro longitudinal similar con promedio de 60.76 mm, independientemente de las diferentes relaciones $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$, al igual que el grosor del pericarpio (2.99 mm) y número de semillas por fruto (131) (Cuadro 13).

El diámetro ecuatorial del fruto se afectó significativamente por las relaciones $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ (Cuadro 13). Se tuvieron tres grupos de respuesta: los frutos más grandes obtenidos con la relación 14:9, lo que representó 2.6 % de incremento con respecto

al segundo grupo (relaciones $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$, 10:5 y 10:9) y 5.8% en relación con el tercer grupo (10:7, 12:5, 12:7, 12:9, 14:5, y 14:7).

También en el peso de materia fresca de fruto se manifestaron diferencias significativas (Cuadro 13). Los frutos con mayor peso fueron de las plantas nutridas con 14:9 de me L^{-1} de $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$, 6.79 % con más de materia fresca que los frutos de plantas del segundo grupo ($\text{NO}_3^-:\text{K}^+$, 10:5, 10:9, 12:5, 12:7, 14:5 y 14:7), y 12.84 % que los del tercer grupo ($\text{NO}_3^-:\text{K}^+$, 10:7 y 12:9). El peso de la materia seca de los frutos sufrió cambios por las relaciones $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de las soluciones nutritivas (Cuadro 14). Con la relación 14:9, los frutos alcanzaron la mayor acumulación de materia seca, lo que representó 7.07 % más en relación con los frutos las plantas tratadas con las relaciones $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$, 10:5, 10:7, 10:9, 12:5, 12:7, 14:5 y 14:7, y 11.5 % con la relación 12:9.

Pineda-Barreto (2000) indica que el tamaño final del fruto tiene correlación positiva con el número de semillas y de lóculos, los cuales están influenciados por la cantidad de asimilados provenientes de las hojas, temperatura ambiental y la intensidad luminosa; mientras que Arjona *et al.* (1992) atribuyen la variación del peso de la materia fresca y seca al componente genético y ambiente, esto implica la velocidad de crecimiento, tamaño final y forma del fruto. En chilhuacle el diámetro ecuatorial y la acumulación de materia fresca y seca en los frutos fueron independientes del número de semillas, pero si estuvieron influenciados por la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución con la que se nutrieron a las plantas de los diferentes tratamientos.

Los SST estuvieron en mayor concentración en los frutos de las plantas nutridas con 12:7 me L^{-1} de $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$, 5.28 % más que en los frutos del segundo grupo de respuesta ($\text{NO}_3^-:\text{K}^+$, 10:5, 10:7, 10:9, 12:9, 14:5, 14:7 y 14:9) y 9.46 % en comparación con los frutos de las plantas que recibieron 12:5 me L^{-1} de $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ (Cuadro 13).

Cuadro 13. Calidad de frutos por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa de fructificación del chilhuacle.

Relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ (me L ⁻¹)	DL (mm)	DE (mm)	PMFF (g)	GP (mm)	SST (°Brix)	NS**
10:5	61.83a	53.59ab	39.82ab	2.94a	8.73ab	127.00a
10:7	59.23a	52.01b	37.09b	2.94a	8.78ab	133.40a
10:9	59.06a	53.14ab	39.47ab	2.94a	8.99ab	134.40a
12:5	62.65a	51.77b	38.92ab	3.05a	8.56b	129.60a
12:7	62.52a	51.87b	39.08ab	3.07a	9.37a	129.60a
12:9	59.68a	51.01b	36.74b	2.99a	8.86ab	123.00a
14:5	61.92a	52.05b	38.71ab	3.06a	9.21ab	144.80a
14:7	60.08a	51.86b	38.00ab	2.97a	9.26ab	127.60a
14:9	59.90a	54.80a	41.65a	3.02a	8.85ab	131.00a
DMS	4.08	2.63	4.05	0.22	0.76	0.07
CV (%)	5.21	3.90	8.11	5.77	6.58	2.72

Medias con la misma literal en columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba LSD ($P \leq 0.05$). DL: diámetro longitudinal; DE: diámetro ecuatorial; PMFF: peso de materia fresca de fruto; GP: grosor del pericarpio; SST: concentración de sólidos solubles totales; NS: número de semillas totales; **: los datos se transformaron con logaritmo para el análisis estadístico; DMS, diferencia mínima significativa; CV, coeficiente de variación.

En cuanto a componentes del rendimiento, las diferentes relaciones $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ evaluadas tuvieron efecto estadísticamente similar ($P \leq 0.05$) en el número de frutos por planta (53), rendimiento de materia fresca (1416 g) y seca de frutos (253 g) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Variación en componentes de rendimiento por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa de fructificación del chilhuacle.

Relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ (me L ⁻¹)	NFP**	PMSF (g)	RMFF (g)	RMSF (g)
10:5	62.2a	6.87ab	1652.5a	289.50a
10:7	49.8a	6.75ab	1306.0a	244.1a
10:9	57.6a	6.82ab	1360.0a	238.0a
12:5	53.2a	6.69ab	1388.9a	247.0a
12:7	50.6a	7.03ab	1234.5a	224.7a
12:9	44.8a	6.51b	1242.7a	221.1a
14:5	54.6a	6.68ab	1690.0a	298.3a
14:7	54.2a	6.64ab	1566.3a	274.7a
14:9	49.4a	7.26a	1307.2a	240.5a
DMS	19.98	0.73	477.8	84.7
CV (%)	7.58	8.30	26.18	25.99

Medias con la misma literal en columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba LSD ($P \leq 0.05$). NFP: número de frutos por planta; PMSF: peso de materia seca de fruto; RMFF: rendimiento de materia fresca de frutos; RMSF: rendimiento de materia seca de frutos; **: los datos se transformaron con logaritmo para el análisis estadístico.

El número de frutos en los tallos principales varió significativamente generándose siete grupos de respuesta (Cuadro 15). Las plantas nutridas con 14:5 ($\text{NO}_3^-:\text{K}^+$) presentaron el mayor número promedio de frutos en los tallos principales, 8.51 % más que las del segundo grupo que recibieron 10:5, 10.86 % en comparación con 12:5, 24.39 % con relación a 14:7, 41.66 % respecto con 10:7, 10:9 y 14:9, 54.54 % con 12:7, y 75.86 % que las plantas nutridas con la relación 12:9 ($\text{NO}_3^-:\text{K}^+$).

El porcentaje de aborto de flor también se modificó por las relaciones $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva (Cuadro 15). En este caso el menor porcentaje lo indujo la relación 10:5 con un valor de 50.41 %; tomando como base este número, el resto de las relaciones $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ propiciaron aún más el aborto de flor: 10:7, 1.46 %; 14:5, 6.24 %; 12:5 y 14:7, 13.42 %; 14:9, 20.71 %; 10:9, 22.53 %; 12:7, 30.33 %; 12:9, 39.69 %. Con ninguna de las relaciones $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ evaluadas en este experimento se logró la reducción por debajo del 50 % de aborto de flor (Figura 5).



Figura 5. Aborto de flores en la etapa de fructificación del chilhuacle.

Es probable que modificando las condiciones ambientales del invernadero pueda reducirse aún más el porcentaje de aborto de flor puesto que en Chile habanero se han reportado un aborto de hasta un 40 % por cuestiones de déficit hídrico (Ramírez-Luna *et al.*, 2005), humedad relativa menor a 80 % (Marcelis *et al.*, 2004) e intensidad luminosa elevada (Kato y Tanaka, 1971; Wien *et al.*, 1990). Según Ramírez-Luna *et al.* (2005) la caída de flores y frutos inmaduros puede representar un factor limitante que afecta el rendimiento total de un cultivo. En *Capsicum* existe una gran variedad de chiles con pérdidas económicas significativas cuando la caída de flores sobrepasa lo estimado. Es probable que en chilhuacle se pueda reducir el porcentaje de aborto de flor mediante un régimen nutrimental adecuado, modificando las condiciones ambientales y manipulando las relaciones fuente-demanda a través de podas, todo ello con la finalidad de incrementar el rendimiento de materia seca. Al respecto, Turner y Wien (1994) y Aloni *et al.* (1996) indicaron que existe una fuerte demanda de carbohidratos por las flores fecundadas y los frutos en desarrollo, que se encuentran en constante competencia. Según González-Real *et al.* (2009), durante este periodo, la asimilación de CO₂ y concentración de N es más alta en las hojas cercanas a los frutos. Patiño-Torres y Jaimez-Arellano (2016) sugieren que el aumentar los carbohidratos disponibles para las plantas, se reduce la tasa de aborto. Por su parte, Patiño-Torres y Jaimez-Arellano (2016) mencionan que el manejo del cultivo es fundamental para disminuir

el aborto de flores. Esto lo observaron en pimiento cultivado en condiciones de invernadero: dejando el tallo principal y los dos secundarios, eliminando las flores de los tres primeros entrenudos y dejando las flores de los siguientes tres entrenudos, se redujo el aborto floral y se mejoró la calidad de los frutos. Patiño-Torres y Jaimez-Arellano (2016) mencionan que al aumentar la tasa de acumulación de materia seca durante el desarrollo de los frutos, existe una reducción inicial de la fuerza de la demanda (por la eliminación de flores) y un aumento en el crecimiento vegetativo previo a la fructificación. Paz-Pellat *et al.* (2009) consideran que el contenido de materia seca en hojas y la superficie foliar están asociados a factores ambientales como la temperatura y radiación solar principalmente, pero factores disponibilidad de agua, nutrientes, presencia de plagas y enfermedades, existencia de competencia intraespecífica, entre otros, pueden afectar la producción de materia seca.

Por otro lado, Khah y Passam (1992) afirman que cuando los *Capsicum* se encuentran en condiciones protegidas, se reduce el tamaño y el número de semillas por fruto. Sin embargo, hay evidencia que sustentan mayor rendimiento del chilhuacle en condiciones protegidas que a cielo abierto. Lorenzo (2016) cultivó tres genotipos de chilhuacle (amarillo, rojo y negro) en condiciones de casa sombra y campo abierto. El diámetro longitudinal de fruto (15.95 cm, 17.57 cm), grosor del pericarpio (0.23 cm, 0.20 cm), número de lóculos (3.50 cm, 3.25 cm) y número de frutos (5.32, 4.85) fueron estadísticamente similares ($P \leq 0.05$) entre cultivares. Sin embargo, en diámetro ecuatorial de fruto (14.45 cm, 14.85 cm), peso de materia fresca de fruto (55.97 g, 53.77 g) y peso de materia seca de fruto (20.75 g, 17.35 g) si se manifestaron diferencias altamente significativas entre las dos condiciones de producción, en donde sobresalieron los frutos de las plantas cultivadas en condiciones protegidas.

En cuanto al número de tallos principales por planta se tuvieron tres grupos de respuesta (Cuadro 15). Las que produjeron en promedio 3.7 tallos (relación $\text{NO}_3^- : \text{K}^+ 10:5$), lo cual representa 20.52 % mayor en comparación con las que tuvieron en promedio 3.07 (relaciones relación $\text{NO}_3^- : \text{K}^+ 10:7, 10:9, 12:5, 12:7, 12:9, 14:5$ y $14:9$), y 54.16 % con relación a las de menor presencia de tallos principales (2.4; relación $\text{NO}_3^- : \text{K}^+ 14:7$).

Cuadro 15. Producción de frutos, porcentaje de aborto de flor y número de tallos principales por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa de fructificación del chilhuacle.

Relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ (me L ⁻¹)	NFTP**	PAF**	NTP*
10:5	18.80ab	50.41e	3.70a
10:7	14.80bcd	51.15de	2.80ab
10:9	14.80bcd	61.77abc	3.00ab
12:5	18.40abc	56.34bcde	3.10ab
12:7	13.20cd	65.70ab	3.00ab
12:9	11.60d	70.42a	3.20ab
14:5	20.40a	53.56cde	3.40ab
14:7	16.40a-d	58.03bcde	2.40b
14:9	13.60bcd	60.85abcd	3.00ab
DMS	5.28	16.36	1.08
CV (%)	9.76	3.59	14.60

Medias con la misma literal en columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba LSD ($P \leq 0.05$). NFTP: número de frutos de tallos principales; PAF: porcentaje de aborto de flor; NTP: número de tallos principales; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; **: los datos se transformaron con logaritmo para el análisis estadístico; *: los datos se transformaron con raíz cuadrada para el análisis estadístico.

Respecto a la producción de materia seca, sólo se manifestaron diferencias significativas en la de raíz (Cuadro 16). Con la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ 10:7, las plantas acumularon 31.31% más de materia seca que las plantas de las relaciones 10:5, 10:9, 12:5, 12:9, 14:5, 14:7 y 14:9, mientras que fue de 74.78 % en comparación con la raíz de las plantas nutridas con la relación 12:7. La acumulación de materia seca en hojas, tallos y en la planta completa fue estadísticamente similar ($P \leq 0.05$), con valores de 12.6 g, 124.4 g y 164.9 g, respectivamente. Si bien factores ambientales como la temperatura, radiación solar, disponibilidad de agua y la incidencia de plagas y enfermedades pueden afectar la producción de materia seca (Paz-Pellat *et al.*, 2009), se considera que el efecto observado en las plantas de los diferentes tratamientos se debió a la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva puesto que todas las plantas estuvieron aleatorizadas en el mismo invernadero.

Cuadro 16. Materia seca de hoja, tallo y raíz por efecto de la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ de la solución nutritiva suministrada en la etapa de fructificación del chilhuacle.

Relación $\text{NO}_3^- : \text{K}^+$ (me L^{-1})	MSH (g)	MST (g)	MSR (g)	MSTOT (g)
10:5	14.80a	149.60a	39.80ab	204.20a
10:7	11.40a	101.60a	41.60a	154.60a
10:9	13.40a	130.40a	31.00ab	174.80a
12:5	13.20a	122.60a	33.40ab	169.20a
12:7	15.00a	119.40a	23.80b	158.20a
12:9	10.80a	106.00a	26.40ab	143.20a
14:5	12.40a	134.80a	35.00ab	182.20a
14:7	9.40a	107.20a	29.00ab	145.60a
14:9	13.00a	112.00a	27.20ab	152.20a
DMS	7.23	53.73	16.82	66.86
CV (%)	44.56	34.64	40.92	31.47

Medias con la misma literal en columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba LSD ($P \leq 0.05$). MSH: materia seca de hoja; MST, materia seca de tallo; MSR: materia seca de raíz; MSTOT, materia seca de la planta completa; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

El número de frutos en los 3-4 tallos principales es importante porque son los más grandes en comparación con los formados en tallos de mayor jerarquía, pero también debe estar correlacionada con el tamaño mayor del fruto debido a la diversidad observada. Tal es el caso de las plantas nutridas con 14:5 en comparación con las de 14:9 me L^{-1} de $\text{NO}_3^- : \text{K}^+$. A pesar de que las plantas nutridas con la relación $\text{NO}_3^- : \text{K}^+$ 14:5 tuvieron 50 % más frutos en los tallos principales (Cuadro 15) y 11.98 % menos flores abortadas (Cuadro 15) en comparación con las plantas que recibieron 14:9, éstas produjeron frutos con mayor diámetro ecuatorial (5.28%) (Cuadro 13), con más peso de materia fresca (7.59 %) (Cuadro 13) y seca (8.68 %) (Cuadro 14). Sin embargo, en ambos casos con la misma concentración de NO_3^- (14 me L^{-1}) pero diferente en K^+ (5 y 9) presentaron estadísticamente similar CRC (63.81 unidades SPAD) (Cuadro 12), SST (9.03 °Brix) (Cuadro 13), número promedio de frutos por planta (52) (Cuadro 14), número

promedio de tallos principales (3.2) (Cuadro 15) y peso promedio de materia seca de raíz (31.1 g) (Cuadro 16). Dichos datos indican que los frutos de las plantas nutridas con la relación $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ 14:9 son más grandes por el hecho de presentarse en menor cantidad en los tallos principales (Figura 6); es decir, menor demanda por el número de frutos, pero mayor oferta de fotoasimilados ya que no se mostraron diferencia significativa en CRC (Cuadro 12) con relación a las plantas nutridas con 14:5, al igual que el área foliar estimada promedio (1384 cm^2 por planta) (Cuadro 12) y la acumulación promedio de materia seca en hojas (12.6 g) (Cuadro 16). López-Gómez *et al.* (2017) reportaron que en chile habanero var. Jaguar la relación 14:5 me L^{-1} de $\text{NO}_3^-:\text{K}^+$ en la solución nutritiva suministrada en la etapa de fructificación incrementó el peso de materia fresca del fruto. Esta diferencia en la demanda de K^+ , con la misma concentración de NO_3^- (14 me L^{-1}) puede atribuirse al efecto de especie ya que el chilhuacle es *Capsicum annuum*, mientras que el chile habanero es *Capsicum chinense*, lo cual está aún más evidenciado por Gromaz *et al.* (2015) quienes mencionan que en *Physalis peruviana* la relación 12.41 de NO_3^- y 5.00 de K^+ (me L^{-1}) favoreció el número total de frutos, producción de total, porcentaje de frutos comerciales, firmeza de frutos y acidez, mientras que la relación 7.91 de NO_3^- y 4.00 de K^+ (me L^{-1}) aumentó la concentración de sólidos solubles totales ($^\circ\text{Brix}$).



Figura 6. Frutos maduros de chilhuacle negro en tallos principales.

La evaluación de los frutos maduros empezó a los 69 días después de iniciar la etapa de fructificación, es decir, a los 99 días después del trasplante. El índice de cosecha fue el color café brillante, pericarpio blando y suave (Figura 7). La cosecha tuvo una duración de 18 semanas (126 días).



Figura 7. Frutos maduros de chilhuacle negro.

Con respecto al desarrollo de frutos, Gómez (2000) indica que el crecimiento comienza después de anthesis hasta la maduración del fruto. Cuando los frutos se encuentran inmaduros las células del mesocarpio contienen plastidios, esto se relaciona con el contenido de clorofila (Macrae *et al.*, 1993); en cambio, cuando están en madurez fisiológica o intermedia, la clorofila y las antocianinas se degradan por el cambio de pH ocasionado por los ácidos orgánicos en la vacuola (González *et al.*, 2001), los sistemas oxidativos y las clorofilas (Méndez *et al.*, 2004).

Según García-Gaytán *et al.* (2017) los frutos de chilhuacle inician su desarrollo a los 7 DDP (días después de la polinización) y la maduración a partir de los 78 DDP. A los días 15 DDP, el cáliz es de mayor tamaño al fruto de manera ascendente al pedúnculo. Los días 20 a 27 DDP, el crecimiento es alargado y el grosor de pedúnculo aumenta, para posteriormente descender lentamente con el transcurso de los días. Cuando estos han alcanzado su tamaño y forma, se presenta un color negro o morado oscuro y el cáliz está hundido completamente (42 a 54 DDP). A

partir de los 60 hasta 78 DDP, el fruto ya ha desarrollado completamente e inicia su maduración (Figura 8).



Figura 8. Desarrollo del fruto de chilhuacle desde la antesis a verde maduro.

El color durante la maduración de los frutos de *Capsicum* corresponde la cantidad de cloroplastos que son transformados en cromoplastos, los cuales contienen carotenoides que son responsables del color amarillo, naranja o rojo, es decir, el color de un fruto maduro depende de la calidad y cantidad carotenoides presentes (Macrae *et al.*, 1993). En el caso del chilhuacle negro, es posible que el color se deba a la presencia de antocianinas, más que a los carotenoides. García-Gaytán *et al.* (2017) estableció cuatro colores del chilhuacle durante su periodo de desarrollo: verde en estado inmaduro, verde intenso en estado inmaduro, verde maduro y negro en maduración; Lorenzo (2016) como color negro o amarillo en maduración y negro al deshidratarse; Valdez (2016) de un color marrón oscuro al chilhuacle negro; M (2016) como un fruto verde oscuro en estado inmaduro, de brillantez fuerte y negro oscuro en maduración; López (2005), López y Pérez-Bennetts (2015) y López *et al.* (2016), de color café oscuro con intensidad media y brillantez fuerte en maduración; Langlé (2011) en estado maduro de color rojo oscuro y casi negro en deshidratación; y Aguilar-Rincón *et al.* (2010) como verde intenso en madurez y negro en deshidratación completa.

El chile es un fruto no climatérico, es decir, que después de su desprendimiento de la planta los patrones de respiración transcurren lentamente después de ser cosechados hasta que alcanzan su punto de maduración (Villacencio *et al.*, 2001). En chilhuacle, el corte en estado inmaduro del fruto provoca que su maduración no

presente el color café (indicador de color en frutos maduros en la planta) sino directamente pasar al negro mientras transcurre la deshidratación al mismo tiempo.

El proceso de deshidratación del chilhuacle es una etapa importante, porque de la calidad del fruto seco depende su aceptación por los compradores. García-Gaytán *et al.* (2017) indican que el chilhuacle presenta tres etapas de deshidratación del fruto: a) frutos maduros; b) deshidratación del fruto, pericarpio delgado y blando; c) deshidratación completa del fruto con pericarpio duro, peso ligero y las semillas aplastadas y amarillas (Figura 9).



Figura 9. Frutos de chilhuacle negro. A, maduro; B, deshidratado.

5. CONCLUSIONES

Es conveniente realizar el cambio en la composición química de la solución nutritiva de acuerdo con las etapas fenológicas del cultivo porque la demanda nutrimental es específica y su duración depende de las condiciones ambientales en la zona de producción, sobre todo de la temperatura promedio. En este sentido, la duración de la etapa vegetativa del chilhuacle fue de 29 días con temperatura promedio de 21.4 °C, de la reproductiva 11 días (22.5 °C), mientras que de la de fructificación fue de 184 días (20.9 °C), en consecuencia, la duración del ciclo completo del chilhuacle fue de 224 días a partir del trasplante.

En la etapa vegetativa del chilhuacle con 14 me L⁻¹ de NO₃⁻ se favoreció la altura, el diámetro de tallo, volumen de raíz, materia seca de tallo y de la planta completa.

En la reproductiva del chilhuacle la relación 10:0.75:9.25 me L⁻¹ de NO₃⁻:H₂PO₄⁻:SO₄²⁻ redujo el aborto floral e incrementó el número de botones por planta.

En la etapa de fructificación la relación 14:9 me L⁻¹ de NO₃⁻:K⁺ favoreció el diámetro ecuatorial de los frutos al igual que su peso de materia fresca y seca.

6. LITERATURA CITADA

- Aguilar-Rincón, H. A.; T. Corona T.; P. López L.; L. Latournerie M.; M. Ramírez M.; H. Villalón M.; J. A. Aguilar C. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Posgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Agroproduce. 2005. Sistema-producto Chile. Fundación Produce Oaxaca. Núm. 04, Año 01. Oaxaca, México.
- Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. AGT editor, México. 491 p.
- Aloni, B.; L. Karni; Z. Zaidman; A. A. Schaffer. 1996. Changes of carbohydrates in pepper (*Capsicum annuum* L.) flowers in relation to their abscission under different shading regimes. *Annals of Botany* 78(2): 163-168.
- Andrés J., F. 2006. Caracterización morfológica de la diversidad de chiles nativos (*Capsicum* spp) del estado de Oaxaca. Tesis Profesional. Chapingo, México. 60 p.
- Argenta, G.; P. R. F. D. Silva.; C. G. Bortolini.; E. L. Forsthofer.; M. L. Strieder. 2001. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 13(2): 158-167.
- Arjona D., H. E.; M. L. Montalvo; M. A. Soto. 1992. Evaluación del comportamiento agronómico de tres híbridos y dos cultivares de pepino cohombro (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá. COMALFI. Santafé de Bogotá, Colombia. 19(1): 11-14.
- 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(1): 61-75.
- Arruda, S. R.; E. Malavolta. 2001. Nutricao e adubacao potassica em Eucalyptus. *Informacoes Agronomicas, POTAFOS. Encarte Técnico* 91: 1-10.
- Azofeifa, A.; M. A. Moreira. 2005. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* cv. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1): 77-84.

- Bakker, J. C. 1989. The effects of temperature on flowering, fruit set and fruit development of glasshouse sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Horticultural Science* 64(3): 313-320.
- Barranco R., T. 2016. Caracterización fenotípica del chile huacle (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de agricultura orgánica y agricultura convencional en invernadero. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México. 75 p.
- Barreiro, P. M. 1998. Una hortaliza de México para el mundo. *Claridades Agropecuarias* 56.
- Blanusa, T.; M. A. Else.; W. J. Davies.; C. J. Atkinson. 2006. Regulation of sweet cherry fruit abscission: The role of photo-assimilation, sugars and abscisic acid. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 81(4): 613-620.
- Bennett, W. F. 1993. Plant nutrient utilization and diagnostic plant symptoms. pp. 1-7. *In: W. F. Bennett (Ed.). Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. The American Phytopathological Society. St Paul, MN, USA.*
- Boschetti, N. G.; C. E. Quintero.; R. A. Benavidez.; L. Giuffre. 2003. Cuantificación de las fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo en suelos de la Mesopotamia Argentina. *Ciencia del suelo* 21(1): 1-8.
- Buckman, H. O. B.; N. C. S. Barceló. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Limusa. Barcelona, España. 590 p.
- Cano G. M. A.; V. Serrano A. 2003. Caracterización del medio físico del estado de Oaxaca y sus distritos políticos. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico Número 4. Oaxaca, México. 24 p.
- Cárdenas-Navarro, R.; J. M. Sánchez-Yáñez.; R. Farías-Rodríguez.; J. J. Peña-Cabriales. 2004. Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(2): 173-178.
- Castro, G. F. H.; L. P. López.; H. S. Montes.; J. F. Andrés. 2007. Caracterización morfológica de la diversidad de chiles nativos (*Capsicum* spp) en el estado de Oaxaca. Memorias Cuarta Convención Mundial de Chile.

- Cisneros, J. J.; L. D. Godfrey. 2001. Midseason pest status of the cotton aphid (Homoptera: Aphididae) in California Cotton-Is Nitrogen a Key Factor?. *Environmental Entomology* 30(3): 501-510.
- Córdoba-Rodríguez, D.; J. J. Vargas-Hernández; J. López-Upton; A. Muñoz-Orozco. 2011. Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia* 45(4): 493-506.
- Costa, C.; L. M. Dwyer; P. Dutilleul; D. W. Stewart; B. L. Ma; J. D. Smith. 2001. Interrelationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. *Journal of Plant Nutrition* 24(8): 1173-1194.
- Cruz F., S. 2015. Evaluación del comportamiento de genotipos de chile Huacle (*Capsicum annuum* L.) con fertilización orgánica en invernadero. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México. 57 p.
- Díaz, L.; A. Viloria de Z.; L. Arteaga de R. 1999. Crecimiento vegetativo del pimentón en función de la densidad de plantas y edad del cultivo. *Bioagro* 11(2): 69-73.
- Espinoza R., M. 2011. Respuesta del chile huacle (*Capsicum* sp.) a cuatro soluciones nutritivas en cultivo sin suelo y bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Conservación y aprovechamiento de recursos naturales (Producción y Protección Vegetal). Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca, México. 62 p.
- Fassbender, H. W.; E. Bornemisza. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. San José, Costa Rica. 420 p.
- Fernández, M. T. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. *Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la caña de azúcar* 41(2): 51-57.
- Fuentes M., J. M. 2014. Evaluación de cuatro niveles de potasio (KCl) sobre el rendimiento y calidad del plátano (musa paradisiaca, *Musaceae*), en aldea San Isidro, Malacatán, San Marcos. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo con énfasis en Gerencia Agrícola. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Universidad Rafael Landívar. Quetzaltenango, Guatemala. 60 p.

- Galvis S., A. 1998. Diagnóstico y simulación del suministro de nitrógeno edáfico para cultivos anuales. Tesis de Doctorado en Ciencias. Especialidad en Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 105 p.
- Gaoleote C., G. 2015. Producción orgánica de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero: evaluación de genotipos, tipos de sustrato y aplicación de *Azospirillum* sp. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México. 84 p.
- García-Gaytán, V.; S. García-Morales; H. V. Silva-Rojas; L. I. Trejo-Téllez; F. C. Gómez-Merino. 2016. First report of powdery mildew in chilhuacle chili (*Capsicum annuum* L.) caused by *Leveillula taurica* in Southern Mexico. *APS Journals* 100(11): 2325.
- García-Gaytán, V.; F. C. Gómez-Merino; L. I. Trejo-Téllez; G. A. Baca-Castillo; S. García-Morales. 2017. The chilhuacle chili (*Capsicum annuum* L.) in Mexico: Description of the variety, its cultivation, and uses. *International Journal of Agronomy*. 13 p.
- Gómez, A. D. 2000. Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en función del clima. Tesis de posgrado. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 70 p.
- Gómez-Hernández, T.; Sánchez-del Castillo, F. 2003. Soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo. *Terra Latinoamericana* 21(1): 57-63.
- González, D. V.; M. S. Hernández; A. Herrera; J. A. Barrera; O. Martínez; Páez, D. 2001. Desarrollo del fruto e índices de cosecha de la carambola (*Averrhoa carambola* L.) producida en el piedemonte amazónico colombiano. *Agronomía Colombiana* 18(1-2): 7-13.
- González-Real, M. M.; H. Q. Liu; A. Baille. 2009. Influence of fruit sink strength on the distribution of leaf photosynthetic traits in fruit-bearing shoots of pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Environmental and Experimental Botany* 66(2): 195-202.

- Gromaz, A. P.; J. F. Torres-Rubio; N. Pascual-Seva; A. San-Bautista; S. V. López-Galarza; B. Pascual-España; B. Alargada; J. V. Maroto. 2015. Aplicación de diferentes soluciones nutritivas y dosis de riego en cultivo protegido de *Physalis peruviana* L. Universitat Politècnica de València. XXXIII Congreso Nacional de Riegos. 16-18 junio de 2015. Valencia, España. 1-9 p. (DOI:<http://dx.doi.org/10.4995/CNRiegos.2015.1501>)
- Harrison, J.; M. A. P de Crescenzo; O. Sené; B. Hirel. 2003. Does lowering glutamine synthetase activity in nodules modify nitrogen metabolism and growth of *Lotus japonicus*?. *Plant physiology* 133(1): 253-262.
- Harssema, H. 1977. Root temperature and growth of young tomato plants. Communications Agricultural University. Edition number 443. Mededelingen Landbouwhogeschool. Wageningen, Nederland. 85 p.
- Hawkes, J. G. 1991. Centros de diversidad genética vegetal en Latinoamérica. *Diversity* 7(1): 7-9.
- Hernández-Verdugo, S.; P. Aranda-Dávila; K. Oyama. 1999. Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. Review of taxonomy, origin and domestication of the genus *Capsicum*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 64: 65-84.
- Hirschi, K. D. 2004. The calcium conundrum. Both versatile nutrient and specific signal. *Plant physiology* 136(1): 2438-2442.
- Ho, L. C.; P. J. White. 2005. A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. *Annals of Botany* 95(4): 571-581.
- Horie, T.; C. T. de Wit; J. Goudriaan; J. Bensink. 1979. A formal template for the development of cucumber in its vegetative stage (I, II and III). *Proceedings Nederlandse Academie Wetenschappen. Serie C* 82: 433-479.
- Huertas, L. 2008. El control ambiental en invernaderos: radiación. *Horticultura internacional* 61: 54-55.
- ITIS. Integrated Taxonomic Information System. 2016. [En línea]. Disponible en: <http://http://www.itis.gov> (Consultado el día 09 de octubre 2016).
- Jovicich, E.; D. J. Cantliffe; G. J. Hochmuth. 1999. Plant density and shoot pruning on yield and quality of a summer greenhouse sweet pepper crop in North Central Florida. Proceedings 28th National Agricultural Plastics Congress. 184-190 p.

- Kant, S.; U. Kafkafi. 2000. Absorción de potasio por los cultivos en distintos estadios fisiológicos. Faculty of Agricultural, Food and Environmental Quality Sciences. The Hebrew University of Jerusalem. Rehovot, Israel. 38 p.
- Kato, T.; M. Tanaka. 1971. Studies on the fruit setting and development of sweet peppers. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 40(4): 359-366.
- Khah, E. M.; H. C. Passam. 1992. Flowering, fruit set and development of the fruit and seed of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivated under conditions of high ambient temperature. *Journal of Horticultural Science* 67(2): 251-258.
- Laborde C., J. A.; O. Pozo C. 1982. Presente y pasado del chile en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Publicación Especial No. 85, México. 80 p.
- Langle A., L. A. 2011. Respuesta del chile huacle (*Capsicum* spp.) a diferentes densidades de plantación y podas bajo manejo intensivo en invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Conservación y aprovechamiento de los recursos naturales. Instituto Politécnico Nacional. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. 40 p.
- Lara, H. A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra Latinoamericana* 17(3): 221-229.
- Latournerie, L.; J. L. Chávez; M. Pérez; G. Castañón; S. A. Rodríguez; L. M. Arias.; P. Ramírez. 2002. Valoración *in situ* de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annuum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(1): 25-33.
- Long-Solís, J. 1986. *Capsicum* y cultura: La historia del chilli. Fondo de Cultura Económica. México, DF. 203 p.
- López-Gómez, J. D.; O. G. Villegas-Torres; H. Sotelo-Nava; M. Andrade-Rodríguez; P. Juárez-López; E. Martínez-Fernández. 2017. Rendimiento y calidad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) por efecto del régimen nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(8): 1747-1758.
- López, L. P.; D. Pérez-Bennetts. 2015. El chile huacle (*Capsicum annuum*) en el estado de Oaxaca, México. *Revista Agroproductividad* 8(1): 35-39.

- López, L. P. 2005. El Chilhuacle: Un chile propio de la región Cañada de Oaxaca. Fundación PRODUCE Oaxaca. Revista *Agroproduce*. p. 19.
- López L., P.; R. Rodríguez H.; E. Bravo M. 2016. Impacto económico del chile huacle (*Capsicum annuum* L.) en el estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agronegocios* 38: 317-328.
- López R., G. O. 2003. Chili: La especia del Nuevo Mundo. *Ciencias* 69: 67-75.
- Lorenzo C., E. 2016. Rendimiento y calidad del chile huacle (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de producción orgánica en casa sombra y campo abierto. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México. 59 p.
- Macrae, R.; R. K. Robinson; M. J. Sadler. 1993. Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition. Academic Press, Nueva York. pp. 3496-3504.
- Marcelis, L. F. M.; E. Heuvelink; L. R. B. Hofman-Eijer; J. D. Bakker; L. B. Xue. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany* 55(406): 2261-2268.
- Marlow, D. 2008. Flores y frutos consejos para prevención de aborto de flores en hortalizas a campo abierto o en estructuras pasivas. Meister Media Worldwide, Ohio (EUA).
- Maroto, J. V. 1986. Horticultura herbácea especial. Cuarta edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 704 p.
- Mayz-Figueroa, J. 2004. Fijación biológica de nitrógeno. *Revista UDO Agrícola* 4(1): 1-20.
- McLeod, M. J.; W. H. Eshbaugh; S. I. Guttman. 1979. Preliminary biochemical systematic study of the genus *Capsicum-Solanaceae*. Linnean Society symposium series.
- Méndez, M. A.; G. A. Ligarreto; M. S. Hernández; L. M. Melgarejo. 2004. Evaluación del crecimiento y determinación de índices de cosecha en frutos de cuatro materiales de ají (*Capsicum* sp.) cultivados en la Amazonía colombiana. *Agronomía Colombiana* 22(1): 7-17.
- Morán-Bañuelos, S. H.; V. H. Aguilar-Rincón; T. Corona-Torres; F. Castillo-González; R. M. Soto-Hernández; R. S. Miguel-Chávez. 2008. Capsaicinoides en chiles nativos de Puebla, México. *Agrociencia* 42(7): 807-816.

- Moreno, L. L.; J. L. C. Servia; M. Pérez; C. F. Hernández; R. Martínez; L. M. Arias; G. C. Nájera. 2001. Exploración de la diversidad morfológica de chiles regionales en Yaxcabá, Yucatán, México. *Agronomía mesoamericana* 12(1): 41-47.
- Moreno-Pérez, E. D. C.; F. Sánchez-del Castillo; L. González-Molina; C. A. Pérez-Mercado; N. Magaña-Lira. 2011. Efectos del volumen de sustrato y niveles de NPK en el crecimiento de plántulas de pepino. *Terra Latinoamericana* 29(1): 57-63.
- Munera, G.; D. Meza. 2012. El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. *Manual. Universidad Tecnológica de Pereira*. 52 p.
- Näsholm, T.; K. Kielland; U. Ganeteg. 2009. Uptake of organic nitrogen by plants. *New Phytologist* 182(1): 31-48.
- Nilwik, H. J. M. 1981. Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) 1. The influence of irradiance and temperature under glasshouse conditions in winter. *Annals of Botany* 48(2): 129-136.
- NMX-FF-107/1-SCFI-2006. Productos alimenticios, chiles secos enteros (guajillo, ancho, mulato, de árbol, puya y pasilla), Parte 1: Especificaciones y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación, México, DF.
- 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.
- Nuez, F., R. Gil; J. Costa. 2003. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- Nuez, V. F.; R. O. Gil; J. G. Costa. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Mundi-Prensa. Madrid, España. 586 p.
- 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. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31 (4): 367-374.
- Ortiz-Cereceres, J.; F. Sánchez-Castillo; M. C. Castillo M.; A. Torres-García. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32(4): 289-294.

- Park, S.; N. H. Cheng; J. K. Pittman; K. S. Yoo; J. Park; R. H. Smith; K. D. Hirschi. 2005. Increased calcium levels and prolonged shelf life in tomatoes expressing *Arabidopsis* H⁺/Ca²⁺ transporters. *Plant Physiology* 139(3): 1194-1206.
- Pastor S., J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana* 17(3): 231-235.
- Patiño-Torres, A. J.; R. E. Jaimez-Arellano. 2016. Relación fuente-fuerza de la demanda en el aborto de estructuras reproductivas, tasa fotosintética y rendimiento en *Capsicum annum*. *Agrociencia* 50(5): 649-664.
- Paz-Pellat, F.; M. Odi-Lara; A. Cano-González; M. A. Bolaños-González; A. Zarco-Hidalgo. 2009. Equivalencia ambiental en la productividad de la vegetación. *Agrociencia* 43(6): 635-648.
- Peil, R. M.; J. L. Gálvez. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Agrociencia* 11(1): 05-11.
- Peix, A.; A. A. Rivas-Boyerero; P. F. Mateos; C. Rodríguez-Barrueco; E. Martínez-Molina; E. Velázquez. 2001. Growth promotion of chickpea and barley by a phosphate solubilizing strain of *Mesorhizobium mediterraneum* under growth chamber conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 33(1): 103-110.
- Pérez G. M.; R. Castro B. 2010. El chile manzano. Universidad autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 128 p.
- Pineda-Barreto, H. M. 2000. Evaluation of the agronomic behaviour of 10 tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum* Mill) in the environment of Roldanillo (Valle del Cauca, Colombia). Tesis de Licenciatura. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogota, Colombia. 73 p.
- Raghothama, K. G. 2000. Phosphate transport and signaling. *Current opinion in plant biology* 3(3): 182-187.
- 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. D. L. 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(1): 93-98.
- Ramos-Gourcy, F.; A. de Luna-Jiménez. 2006. Evaluación de tres variedades de chile (*Capsicum annuum* L.) en cuatro concentraciones de una solución hidropónica bajo invernadero. *Investigación y Ciencia* 14(34): 6-11.
- Reddy, K. R.; V. G. Kakani. 2007. Screening *Capsicum* species of different origins for high temperature tolerance by *in vitro* pollen germination and pollen tube length. *Scientia horticulturae* 112(2): 130-135.
- Reta, S. D. G.; J. A. Cueto W.; A. Gaytán M.; J. Santamaría C. 2007. Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agricultura Técnica en México* 33(2): 145-151.
- Rincón-Castillo, Á.; G. A. Ligarreto. 2010. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11(2): 122-128.
- Rodríguez, S. F. 1982. Fertilizantes: nutrición vegetal. AGT Editor. 2da. reimpresión. D.F., México. pp. 157-158.
- Romero, E. R.; J. A. Rodríguez R.; J. L. Vidal; S. Gianfrancisco; S. David; M. E. Amado. 1998. Influencia de la temperatura en el crecimiento y productividad de pimiento cultivado en invernáculo no calefaccionado. Resúmenes de la I Reunión de Producción Vegetal del NOA. Octubre de 1998, Tucumán, Argentina. pp. 89-91.
- Rylski, I. 1986. Pepper (*Capsicum*). pp. 341-353. *In*: Monselise, S. P. (Ed.). CRC Handbook of fruit set and development.
- Saavedra, H. M.; T. J. Mullen; P. Zhang; D. C. Dewey; S. A. Claridge; P. S. Weiss. 2010. Hybrid strategies in nanolithography. *Reports on Progress in Physics* 73(3): 036501.
- Salazar-Jara, F. I.; P. Juárez-López. 2013. Requerimiento Macronutricional en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). *Revista Bio Ciencias* 2(2): 27-34.
- Sánchez del Castillo, F.; C. J. Ortiz C.; M. del C. Mendoza C.; V. A. González H.; M. T. Colinas L. 1999. Características morfológicas asociadas con un

- arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33: 21-29.
- Sánchez, H. C.; M. A. Sánchez. H.; L. González M. 2013. Alternativas tecnológicas para la producción de chile huacle (*Capsicum annuum* L.). pp. 85-106. *In*: Vicente, P. A. J.; y F. Rogelio F. (Eds.). Estrategias de desarrollo solidario para zonas pobres de México. México, D.F. 162 p.
- Sánchez, H. C.; M. Á. Sánchez H.; M. González M.; A. J. Vicente Pinacho. 2016. Mejoramiento participativo del chile huacle en Cuicatlán, Oaxaca, México. pp. 135-149. *In*: Damián. J.; R. García B.; F. Garza V.; B. López A.; J. A. Rosales B. (Eds.). Conocimiento multidisciplinario. Hablando de Emprendurismo Educación y Derecho. Oaxaca, México. 348 p.
- Sánchez, L.; J. M. Soto; J. M. Ruiz; L. Romero S. 2006. Asimilación de nitrógeno en raíces y hojas de frijol ejotero: deficiencia vs toxicidad de nitrógeno. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(3): 187-195.
- San Juan M., E. 2014. Diagnóstico de nitrógeno en chile de agua identificada por reflectancia. Tesis de Maestro en Ciencias. Posgrado en Edafología. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 64 p.
- SAS Institute, 1994. The SAS system for Windows. Release 6.10. SAS Institute. North Caroline, USA.
- Schapendonk, A. H. C. M.; P. Brouwer. 1984. Fruit growth of cucumber in relation to assimilate supply and sink activity. *Scientia Horticulturae* 23(1): 21-33.
- Scharf, H. P.; U. Mansmann; K. Streitberger; S. Witte.; J. Krämer; C. Maier; N. Víctor. 2006. Acupuncture and knee osteoarthritis: a three-armed randomized trial. *Annals of Internal Medicine* 145(1): 12-20.
- Schröder, J. J.; J. J. Neeteson; O. Oenema; P. C. Struik. 2000. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production?: Reviewing the state of the art. *Field Crops Research* 66(2): 151-164.
- Sedgley, R. H. 1991. An appraisal of the Donald ideotype after 21 years. *Field Crops Research* 26(2): 93-112.
- Servicio de información agroalimentaria (SIAP). 2014. México es el primer mundial en la producción de chile verde. [En línea]. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/prensa/mexico-es-primer-lugar-mundial-en-la-produccion-de-chile-verde-38656> (consultado el 27 mayo de 2018).

- Soto-Ortiz, R.; J. C. Silvertooth; A. Galadima. 2006. Crop phenology for irrigated chiles (*Capsicum annuum* L.) in Arizona and New Mexico. *Vegetable Report*.
- Soto-Ortiz, R.; J. C. Silvertooth. 2008. A crop phenology model for irrigated New Mexico chile (*Capsicum annuum* L.) type varieties. [En línea] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266287992_A_Crop_Phenology_Model_for_Irrigated_New_Mexico_Chile_Capsicum_annuum_L_Type_Varieties (Consultado el día 26 de noviembre 2017)
- Steiner, A. A. 1984. The universal solution. ISOSC. pp. 633-649. In: Proceedings of 6th International Congress on Soilles Culture. Lunteren, The Netherlands.
- Suzuki, K.; M. Shono; Y. Egawa. 2003. Localization of calcium in the pericarp cells of tomato fruits during the development of blossom-end rot. *Protoplasma* 222(3-4): 149-156.
- Toledo A., R. 2015. Diversidad morfológica, genética y bioquímica de poblaciones nativas de chiles anchos de México. Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de recursos genéticos y productividad genética. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 192 p.
- Turner, A. D.; H. C. Wien. 1994. Dry matter assimilation and partitioning in pepper cultivars differing in susceptibility to stress-induced bud and flower abscission. *Annals of Botany* 73(6): 617-622.
- Urrestarazu, G. M. 2000. Manual de cultivos sin suelo. Mundi-Prensa. Almería. España. 113-144 p.
- Urzúa, H.; J. M. Urzúa; R. Pizarro. 2001. Pre-selección de cepas de *Rhizobium leguminosarum* bv. *Viceae* en vicia forrajera, para abonos verdes. *Ciencia e Investigación Agraria* 28(1): 3-6 p.
- Valdez G., V. P. 2016. Etnobotánica y morfología de *Capsicum annuum* var. *annuum* L. (Chile Huacle). Tesis de Licenciatura. Ingeniero en Agrobiología. Departamento de Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 56 p.
- Valentín M., M. C. 2011. Crecimiento y extracción de macronutrientes del chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Especialidad en Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 92 p.

- Varvel, G. E.; W. W. Wilhelm; J. F. Shanahan; J. S. Schepers. 2007. An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. *Agronomy Journal* 99(3): 701-706.
- Velasco-Velasco, V. A. 1999. Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. *Terra* 17(3): 193-200.
- Villavicencio, L. E.; S. M. Blankenship; D. C. Sanders; W. H. Swallow. 2001. Ethylene and carbon dioxide concentrations in attached fruits of pepper cultivars during ripening. *Scientia Horticulturae* 91(1-2): 17-24.
- Wien, H. C. 1990. Screening pepper cultivars for resistance to flower abscission: a comparison of techniques. *HortScience* 25(12): 1634-1636.
- Willcutts, J. F.; A. R. Overman; G. J. Hochmuth; D. J. Cantliffe; P. Soundy. 1998. A comparison of three mathematical models of response to applied nitrogen: A case study using lettuce. *HortScience* 33(5): 833-836.
- Zevada S., K. J. 2005. Aplicación de nitrógeno y magnesio para estimular el contenido de clorofila y los parámetros de crecimiento en chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Biotecnólogo. Instituto tecnológico de Sonora. Cd Obregón, Sonora, México. 71 p.

ANEXO 1

“GASTO DE SOLUCIÓN NUTRITIVA DURANTE EL CICLO DE PRODUCCION DEL CHILHUACLE”

Consumo de agua por planta desde el trasplante hasta el último corte de fruto (duración del ciclo 224 días).

Etapa fenológica	Caudal de riego	Tiempo de riego (min)	Gasto (mL riego ⁻¹)	Número (riegos ⁻¹ día)	Gasto (mL día ⁻¹)	Tiempo suministro (días)	Gasto total (mL)	Intervalo
Etapa vegetativa	4 L ⁻¹ (1 distribuidor)	3	119.4	11	1,313.4	29	38,088.6	28 Feb – 28 Mar
Etapa reproductiva	4 L ⁻¹ (2 distribuidores)	3	282.0	11	3,102.0	11	34,122.0	29 Mar – 08 Abr
Etapa fructificación	4 L ⁻¹ (2 distribuidores)	3	282.0	11	3,102.0	111	344,322.0	09 Abr – 29 jul
	4 L ⁻¹ (2 distribuidores)	2	188.0	9	1,692.0	73	123,516.0	30 jul – 10 Oct
TOTAL:							540,048.6 mL	

ANEXO 2

“COSTO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS DURANTE EL CICLO DE PRODUCCIÓN”

Costo de total de los fertilizantes para la preparación de soluciones nutritivas (costos al 16 de febrero del 2018).

Fertilizante	Presentación (Kg por bulto)	Precio por bulto (peso MXN)	Cantidad de bultos	Cantidad de fertilizante	Total (pesos MXN)
Nitrato de calcio [Ca (NO ₃ ⁻) ₂]	25	\$320.00	1	15.411.5 Kg	\$197.12
Nitrato de potasio (K NO ₃ ⁻)	25	\$620.00	1	3.223.5 Kg	\$79.36
Sulfato de potasio (K SO ₄ ²⁻)	25	\$550.00	1	4.218.5 Kg	\$92.40
Sulfato de magnesio (Mg SO ₄ ²⁻)	50	\$400.00	1	5.639.5 Kg	\$44.80
Fosfato monopotásico (K H ₂ PO ₄ ⁻)	25	\$910.00	1	2.029.5 Kg	\$72.80
				Total:	\$486.48

ANEXO 3

Costo de 1 L⁻¹ de solución nutritiva por etapa fenológica del chilhuacle.

Etapa Vegetativa

Concentración de NO ₃ ⁻	Costo en pesos mexicanos por litro de solución nutritiva (L ⁻¹)
10 me L ⁻¹	0.0560
12 me L ⁻¹	0.0358
14 me L ⁻¹	0.0355

Etapa de Reproducción

Relaciones NO ₃ ⁻ :H ₂ PO ₄ ⁻ :SO ₄ ²⁻	Costo en pesos mexicanos por litro de solución nutritiva (L ⁻¹)
10:0.75:9.25	0.0378
10:1:9	0.0367
10:1.25:8.75	0.0366
12:0.75:7.25	0.0367
12:1:7	0.0361
12:1.25:6.75	0.0351
14:0.75:5.25	0.0355
14:1:5	0.0360
14:1.25:4.75	0.0339

Etapa de Fructificación

Relaciones NO ₃ ⁻ :K ⁺	Costo en pesos mexicanos por litro de solución nutritiva (L ⁻¹)
10:5	0.0383
10:7	0.0250
10:9	0.0345
12:5	0.0382
12:7	0.0358
12:9	0.0299
14:5	0.0375
14:7	0.0355
14:9	0.0346