

CAPITULO 1

Manejo agronómico y los factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas del cultivo de chile habanero

Agronomic management and the factors that influence the growth and development of plants of habanero pepper crop

López-Puc, Guadalupe¹, Rodríguez-Rodríguez, Juan D¹., Ramírez-Sucre, Manuel O.¹, Rodríguez-Buenfil, Ingrid M.^{1*}

¹Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Subsede Sureste. Tablaje Catastral 31264 Km 5.5 Carr, Sierra Papacal-Chuburná puerto. Parque Científico Tecnológico de Yucatán. CP 97302 Mérida, Yucatán, México). *autor de correspondencia: irodriguez@ciatej.mx

Resumen

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es uno de los cultivos comerciales emblemáticos de la Península de Yucatán, México. Debido a que el sabor típico de los frutos es único de esta región de México en el 2010 se le otorgó la denominación de origen. Las características organolépticas que distinguen a los frutos de chile habanero son el aroma y sabor particular y alto nivel de picante conferido por la alta concentración de capsaicinoides. La concentración de los capsaicinoides puede ser influenciada por las condiciones de estrés hídrico o manejo nutricional del cultivo, entre otros. Teniendo en cuenta la importancia comercial del cultivo, es importante aplicar un adecuado manejo agronómico y conocer los factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas del cultivo de chile habanero. En el manejo agronómico se debe considerar las condiciones de germinación, el transplante, el riego, la fertilización, por lo que el objetivo del presente capítulo es comentar los factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas del cultivo de chile habanero y presentar los resultados obtenidos al evaluar el efecto de tres tipos de suelo en el que se realiza el cultivo del chile habanero en la Península de Yucatán: *K'ankab lu'um* o suelo rojo, *Box lu'um* o suelo negro y *Chich lu'um* o suelo café, sobre el desarrollo de la planta de *Capsicum chinense* Jacq y su producción de frutos. Palabras clave: *Capsicum chinense*, manejo agronómico, suelos de Yucatán, crecimiento de la planta

Abstract

Habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) is one of the emblematic commercial crops of the Yucatan Peninsula, Mexico. Because the typical flavor of the fruits is unique to this region of Mexico, in 2010 the designation of origin was granted. The organoleptic characteristics that distinguish the habanero pepper fruits are the particular aroma and flavor and high level of spiciness conferred by the high concentration of capsaicinoids. The concentration of the capsaicinoids can be influenced by the conditions of water stress or nutritional management of the crop, among others. Considering the commercial importance of the crop, it is important to apply adequate agronomic management and to know the factors that may influenced the growth and development of the plants of the Habanero pepper crop. In agronomic management, germination conditions, transplantation, irrigation, and fertilization must be considered, so the objective of this chapter is to comment on the factors that influence the

growth and development of the plants of the habanero pepper crop and to show the results obtained when evaluating the effect of three types of soil where the cultivation of the habanero pepper is carried out in the Yucatan Peninsula: *K'ankab lu'um* or red soil, *Box lu'um* or black soil and *Chich lu'um* or brown soil, on the development of the *Capsicum chinense* Jacq plant and its fruit production.

Keywords: *Capsicum chinense*, agronomic management, Yucatán Soils, Plant growth.

I.Introducción

1.1 *Capsicum chinense* Jacq

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es un cultivo tradicional en el sureste de México y Yucatán es el principal productor (Borges-Gómez et al., 2014). En 2019 fueron sembradas 345.39 ha con este chile en los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, lo que representó una producción de 5,782.7 ton, de las cuales Yucatán contribuyó con el 40 % de esta producción (SIAP, 2019).

El chile habanero es una planta de ciclo anual, alcanza una altura de 1.5 m en suelo mecanizable y hasta 16 meses de vida. Tiene raíz pivotante y un sistema radicular bien desarrollado cuyo tamaño depende de la edad de la planta, su tallo es grueso, erecto y generalmente tiene tendencia a formar tres tallos en la primera ramificación para después continuar bifurcándose, las hojas son simples, lisas y alternas, las flores son de color blanco; se pueden presentar racimos de hasta seis flores (Tun, 2001) y presenta en promedio seis frutos por axila; estos son de un tamaño entre 2 y 6 cm, el color es verde cuando son tiernos, y anaranjados, amarillos o rojos cuando maduros; son además muy picantes y aromáticos (Soria et al., 2002).

El chile habanero es el único cultivar de la especie *Capsicum chinense* Jacq., sin embargo, existen diversos tipos de chile habanero, los cuales se diferencian por el color del fruto cuando madura. Los frutos varían en color: amarillo, naranja, rosado, rojo, marrón y café. Para el consumo en fresco nacional es más adquirido el de color naranja, el cual es el preferido por los consumidores, para la industria se utiliza este mismo color y el amarillo. En el mercado extranjero existe preferencia por el fruto rojo y el de color café, conocido como cubano, por su buen tamaño y mayor pungencia (Tun, 2001).

1.2 Efecto de tipo de suelo, sustratos, fertilizantes en el crecimiento de chile habanero

1.2.2. Suelos de Yucatán

El suelo es un factor muy importante debido a que sus componentes al ser asimilados por la planta influyen en su fisiología (Chludil et al., 2008). En el estado de Yucatán, los suelos donde se cultiva el chile habanero son altamente heterogéneos (Borges et al., 2014) existiendo una gran diversidad de suelos en extensiones pequeñas de terreno lo cual es un problema importante en el manejo agronómico (Duch, 1988). Estos suelos son de densidad aparente baja, textura franco limosa, porosidad alta que facilita la aireación y el drenaje, el pH va de neutro a medianamente alcalino, presenta una salinidad ligera, con alto contenido de materia orgánica (MO), elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC), altas concentraciones de P, N, K y Ca, contenidos de Mg de medio a alto, con niveles adecuados de Cu y Mn, pero deficientes en Fe y Zn (Borges et al., 2014).

Los tipos principales de suelos donde se cultiva el chile habanero en la península de Yucatán de acuerdo a la nomenclatura indígena del suelo maya (MSN), son: *K'áankab lu'um* (suelos rojos), *Box lu'um* (suelos negros) y *Ch'ich 'lu'um* (suelos pedregosos ó cafés) (Bautista *et al.*, 2005). Esta clasificación no considera, sin embargo, el conocimiento local de que el suelo pedregoso está limitado en micro y macro nutrientes, así como poca capacidad de retención de agua. Estas propiedades del suelo pueden causar diferentes tipos de estrés a las plantas, como el estrés debido a la deficiencia de potasio (K) o agua (Borges *et al.*, 2010; Medina-Lara *et al.*, 2019; Jaimez R. E., 2000)

1.2.2.1 *Boxlu'um* (Suelo negro)

El *Boxlu'um* es de color negro y presenta cantidades de carbonatos superiores al 30%. Se caracteriza por encontrarse en las partes altas del micro relieve, presentando piedras de un diámetro entre 5 y 10 cm de diámetro, lo cual hace que esta clase de tierra presente una mayor retención de humedad. El *Boxlu'um*, puede corresponder a dos subunidades, dependiendo de la cantidad de piedras. Cuando presenta abundantes piedras a lo largo del perfil será un Leptosol hiperesquelético (LPhsk), pero si la cantidad de suelo fuera mayor y sólo las piedras están en la superficie, entonces se clasificará como Leptosol rendzínico (LPrz) por el contenido de materia orgánica (< 10%) y de carbonatos de calcio. El *Boxlu'um* presenta la mejor calidad química a nivel de tierra fina de todos los Leptosoles, reflejada en los altos contenidos de materia orgánica, fósforo asimilable de 20 a 50 mg kg⁻¹, nitratos de 40 a 60 mg kg⁻¹, así como las mayores cantidades de micronutrientes en comparación con otros; en esta clase de tierra la fertilización química del suelo no es tan funcional al ser comparados con el *Kan'kab*, aunado a la dificultad para la aplicación de abonos. En estos suelos el P no constituye una restricción importante del crecimiento vegetal. El *Boxlu'um* es una clase de tierra con altos contenidos de calcio y fósforo totales, así como con cantidades menores de Al y Si, que se reflejan en las también escasas cantidades relativas de minerales secundarios (Bautista *et al.*, 2005).

1.2.2.2 *Ch'ich 'lu'um* (Suelo café)

El *Chichlu'um* se caracteriza por ser un suelo con grava, puede ser de varios colores café-rojizo a negro. Se encuentra predominantemente en las partes altas del microrrelieve y pie de monte. Retiene mucha agua, siendo por ello de buena calidad; puede ser clasificado como LPrz cuando es negro y carbonatado, pero puede no cumplir con los niveles de carbonatos de calcio estipulados para el carácter rendzínico. Esta clase de tierra puede llegar a confundirse con suelos profundos con grava del grupo Cambisol (CM), de los “pies de monte” localizados entre el *Boxlu'um* y el *Kankab* (Bautista *et al.*, 2005)

1.2.2.3 *K'áankab lu'um* (Suelo rojo)

El *Kankab* es la clase de tierra que presenta mayor cantidad de tierra fina, coloración de café-rojizo al amarillo, por lo cual puede clasificarse de crómico o ródico, según sea el caso. Es la clase de tierra que se localiza en las planicies del meso y microrrelieve, en sitios conocidos como los valles ciegos de karst. Esta clase de tierra puede pertenecer a tres grupos de suelo, Luvisol (LV), CM y Calicisol (CL), dependiendo del desarrollo del perfil, es decir dependiente de la presencia del horizonte Bt (acumulación de arcilla), Bw (horizonte cámbico) y Ckm (horizonte petrocálcio), respectivamente. No se han encontrado evidencias

lingüísticas de que los campesinos mayas identifiquen las diferencias entre los tres grupos de suelo, pero es posible que en cuestiones prácticas al momento de cultivar si noten estas diferencias (Bautista et al., 2005)

El desarrollo de la fruta se ve afectado por la interacción del suelo con la planta, ya que la cantidad de nutrientes, agua y la salinidad en el suelo tiene un efecto significativo en la cantidad y tamaño de la fruta. Se cuenta con estudios que han demostrado que el tipo de suelo tiene una relación directa con el crecimiento y rendimiento de frutos del chile (Rodríguez-Buenfil *et al.*, 2017; Medina-Lara *et al.*, 2019), y otros estudios han demostrado un directa relación del contenido de algunos metabolitos secundarios con estos mismos factores (Oney-Montalvo J. *et al.*, 2018). Sin embargo, cuando las plantas se cultivan, la variedad de los factores que afectan el desarrollo no pueden simplemente reducirse a la presencia o ausencia de un nutriente o la falta de agua, el suelo la estructura es compleja y variante, aunque la nutrición puede ser corregida por métodos químicos, otros parámetros del suelo no.

1.2.3. Sustratos y Fertilización para el cultivo del chile habanero

La utilización adecuada de fertilizantes en los cultivos permite obtener mayor rendimiento, reduciendo los costos de producción en el cultivo y evitando la contaminación del ambiente. Para reducir el uso excesivo de fertilizantes es necesario conocer la forma en que las plantas absorben los nutrimentos para determinar que fertilización debe aplicarse, ajustarla al ciclo del cultivo y por consecuencia, optimizar la cantidad de fertilizante a utilizar; de esta manera se evita el deterioro de los suelos y se disminuye el impacto de la fertilización en el ambiente (Noh-Medina *et al.*, 2010). Por otra parte, el uso de fertilizantes químicos en grandes cantidades conduce a la liberación instantánea de nutrientes, lo que genera que las plantas crezcan al máximo y agotan todos los productos fotosintéticos en el proceso de crecimiento dejando solo una cantidad mínima para la producción de metabolitos secundarios (Stamp, 2003).

Es importante conocer la demanda nutrimental del cultivo en las diferentes etapas de desarrollo de la planta, conocer lo que aporta el suelo o el sustrato utilizado. Por lo anterior, se han realizado estudios para determinar la demanda nutrimental del cultivo (Dem), que se define como la cantidad de nutrimentos que el cultivo requiere para producir una tonelada del producto de interés, para su estimación se necesita conocer la concentración nutrimental óptima en la biomasa aérea total (RI), la cual indica la concentración mínima del nutriente en cuestión en la biomasa total al momento de la cosecha en un sistema en donde todos los nutrimentos han estado en suficiencia para el cultivo y así obtener el rendimiento máximo (Nieves-González *et al.* 2015). Una metodología para obtener este valor consiste en aportar dosis crecientes del nutriente que se quiere evaluar, en el cultivo, procurando mantener un nivel de suficiencia en el resto de los nutrimentos. Debido a que esta situación es difícil de controlar bajo condiciones experimentales en campo, se recomienda realizar este tipo de estudios bajo condiciones controladas, es decir, cultivos sin suelo (Nieves-González *et al.* 2015). Noh-Medina *et al.* (2010) determinaron en chile habanero, que la relación entre nutrimentos en la biomasa presentó mayor número de respuestas significativas que la relación de los nutrimentos en el extracto celular. Las curvas de acumulación de NPK sugieren que la fertilización de 130-120-160 de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente, debe aumentarse en 63% para N, reducirse a la mitad el P₂O₅ y mantener

la dosis de K₂O. Algunos trabajos relacionados al tema de sustrato y fertilizantes se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Estudios relacionados a sustratos y fertilizantes en chile habanero

| Autores | Objetivo | Sustrato/ Fertilizante | Resultados |
|-------------------------------------|---|--|--|
| Guzmán-Antonio <i>et al.</i> , 2012 | Evaluar el efecto del AS y la fertilización con N, P y K en el crecimiento y estado nutricional en plántulas de <i>C. chinense</i> . | Siembra de semillas en sustrato conformado de turba, perlita y piedra caliza. | Las plántulas sin fertilización y con AS tuvieron un desarrollo pobre. El uso de 10 ⁻⁶ M de AS con 190 mg L ⁻¹ de N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) incrementó la altura, el número de hojas y la longitud de raíces de las plantas. |
| Nieves-González <i>et al.</i> 2015 | Evaluar el RI de P para estimar la demanda nutrimental en <i>C. chinense</i> var Big Brother® | Siembra de semillas en sustrato Peat Moss/Sol. Steiner en charola. Trasplante de plantas de 50 d edad en sustrato Tezontle/ Sol. Steiner. | Aplicando 1.5 meq·L ⁻¹ H ₂ PO ₄ ⁻ , la mayor PF fue 851 y la BST fue de 182 g/planta. Aplicando 2.0 meq·L ⁻¹ H ₂ PO ₄ ⁻ la [P] en raíz fue de 1.43%, se redujo la PF. El RI de P fue 0.22%, el cual se obtuvo con 1.5 meq·L ⁻¹ H ₂ PO ₄ ⁻ y presentó una Dem de 0.47 kg P/t de FF. |
| Tucuch-Hass <i>et al.</i> (2012) | Evaluar el efecto de la relación amonio/nitrato y la granulometría del sustrato sobre el rendimiento y la calidad de los frutos de <i>C. Chinense</i> | | * Datos registrados a los 90 días del trasplante: Amonio /nitrato 20/80 dio la mejor CF independientemente del sustrato. Los valores más altos del DT y AP se obtuvieron con 0/100 amonio /nitrato. El sustrato con partícula de 10-20 mm produjo mayor RF y CF. El uso de 10/90 amonio/nitrato con sustrato de 10-20 mm presentó los valores más altos en todas las variables evaluadas. El uso 0/100 amonio/nitrato con la mezcla de sustrato con tezontle dio los valores más bajos. |

FF: Fruto fresco; BST: Biomasa seca total; P: Fósforo; RI: Requerimiento interno; RF: Rendimiento de frutos; CF: Calidad de frutos. DT: diámetro del tallo; AP: Altura de la planta; RI: Requerimiento interno. N: Nitrógeno; K: Potasio; P: Fósforo. AS: Ácido salicílico.

El nitrógeno es un macronutriente clave de los nucleótidos, clorofilas, aminoácidos y proteínas. En las hojas, más del 60% del nitrógeno total es utilizado a las proteínas del aparato fotosintético (Hikosaka *et al.*, 1998). El nitrógeno puede influir en la calidad de los frutos y las semillas, ya que puede alterar la cantidad y proporción de las proteínas y los aminoácidos, puede alterar el contenido de las vitaminas, el azúcar y los sólidos solubles en los cultivos hortícolas (Maheswari *et al.*, 2017). La falta de nitrógeno genera alteraciones en el metabolismo del carbono, disminuyendo los niveles de malato y otros ácidos orgánicos

y mayores niveles de almidón y lo que afecta severamente el rendimiento del cultivo (Scheible *et al.*, 1997; Stitt 1999; Tschöp *et al.*, 2009). Además, la deficiencia de nitrógeno impacta el desarrollo del cultivo con la aceleración de la maduración de las hojas y senescencia (Mei *et al.*, 1984).

En un estudio realizado por de Ávila Silva *et al.*, 2019 en *C. chinense* en los cultivares Biquinho y Habanero, se observó que éstos tuvieron comportamiento contrastante en el amarre de fruto y el tamaño de la fruta. La deficiencia de nitrógeno produjo la disminución de la biomasa y la acumulación de almidón en las hojas, mientras que el exceso de nitrógeno incremento los niveles de NH_4^+ y la biomasa en hojas, principalmente en el cv. Habanero, que tiene menor amarre de frutos y mayor tamaño de frutos, esto puede ser un mecanismo por medio del cual la planta puede tolerar los altos niveles de NH_4^+ tóxico.

La deficiencia de nitrógeno en las plantas de *Capsicum* reduce el rendimiento del fruto a través del menor desarrollo de nuevos tejidos reproductivos y vegetativos. Las plantas que crecen con deficiencia de nitrógeno tienen un menor número de flores, pero frutos más pesados. Por el contrario, las plantas con mayor suministro de nitrógeno tienen menor asimilación de CO_2 y favorecen la vegetación en vez del crecimiento reproductivo, probablemente debido a un desequilibrio en suministro de sacarosa. El exceso de nitrógeno, la baja fijación de CO_2 y la competencia interna por los asimilados entre lo vegetativo y los órganos reproductivos pueden ser responsables de la disminución del peso del individuo frutos y la disminución en el número de flores, fructificación y rendimiento (de Ávila Silva *et al.*, 2019).

1.3. Efecto fisiológico de los nutrientes y reguladores de crecimiento en la producción de chile habanero

Noh-Medina *et al.* 2010 determinaron la composición nutrimental de la biomasa y los nutrimentos en los tejidos en cuatro etapas del cultivo del chile habanero: 1) Etapa vegetativa, a 50 días después del trasplante (DDT); 2) Etapa de floración, a 75 DDT; 3) Etapa de fructificación, a 100 DDT y 4) Etapa de producción, a 120 DDT, los resultados indicaron que el contenido de macronutrientes fue $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P}$ (g planta^{-1}) y para los micronutrientes el orden fue: $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$ (mg planta^{-1}). En otro estudio, Tapia Vargas *et al.*, 2016 reportaron que es factible incrementar la producción y la calidad de los frutos de *C. chinense* mediante la aplicación de reguladores de crecimiento de plantas, específicamente una mezcla de citocininas. El tratamiento con citocininas dio como resultado mayor rendimiento de fruto en 160 %, mayor peso de fruto, mayor longitud y mayor contenido del alcaloide en 40 % en comparación con el testigo.

Ramírez-Luna *et al.*, 2005 reportaron que al utilizar el producto comercial Maxigrow obtuvieron 46,891 frutos por ha en comparación con el experimento testigo (sin aplicación de producto comercial) en el que se obtuvieron 23,320 frutos. Maxigrow contiene 545,300 mg L^{-1} de extractos orgánicos, 90 mg L^{-1} de auxinas, 1500 mg L^{-1} de citocininas, 100 mg L^{-1} de giberelinas, 26,500 mg L^{-1} de N, 13,300 mg L^{-1} de P, 13,300 de K y 200 mg L^{-1} de Ca, 26,500 mg L^{-1} de Zn.

1.4 Efecto de la temperatura y agua en la producción de chile habanero

En las plantas el agua constituye típicamente de 80 a 95 % de la masa de los tejidos en crecimiento, donde desempeña funciones esenciales. La baja disponibilidad de agua en el suelo provoca el estrés abiótico de mayor incidencia en el crecimiento vegetal que en los sistemas agrícolas representa en pérdidas económicas. Es importante entonces estimar los requerimientos hídricos de los cultivos para mejorar su potencial productivo y el uso del agua.

Macías – Rodríguez *et al* 2013 realizaron estudios de fertirriego y manejo de temperaturas en el interior de los invernadero y determinaron que las condiciones ideales de temperatura y humedad relativa (HR) para la producción de habanero bajo condiciones de invernadero son respectivamente de 33 °C y de 80 %. A nivel de productores se indica que este cultivo también se produce en un rango de temperatura de 34 a 40 °C, pero con menor eficiencia, con síntomas de estrés hídrico y marchitamiento del follaje en las horas de mayor calor; la literatura reporta que esta especie trabaja óptimamente con temperaturas de 26 a 30 °C y una HR de 65 %.

La falta de agua es el estrés abiótico de mayor incidencia en el crecimiento vegetal y es de especial interés en los sistemas agrícolas en los que causa pérdidas económicas. La respuesta más sensible al estrés hídrico es el crecimiento celular y es durante esta condición que las células permanecen más pequeñas y las hojas tienen menor desarrollo y en consecuencia, se reduce el área foliar fotosintéticamente activa (Parra *et al.*, 1999). Además, en tales condiciones la actividad hidrolítica de las enzimas aumenta considerablemente, el transporte de los iones disminuye y la respiración comúnmente aumenta (Salisbury y Ross, 2000). Los procesos fisiológicos pueden ser afectados por la disminución del riego (Pérez *et al.*, 2008) debido a que la conductancia estomática se reduce cuando aumenta el estrés hídrico en hojas a causa del cierre de estomas (Rada *et al.*, 2005) y se sabe que se incrementa la temperatura de las hojas a niveles que ocurren daños por calor. Al mismo tiempo se reduce la transpiración foliar y aumenta la resistencia estomática (Parra *et al.*, 1999).

También el potencial hídrico de la hoja disminuye al incrementar el estrés hídrico, por lo que hay menor crecimiento vegetativo y producción de biomasa (Ismail, 2010; May *et al.*, 2011). Sin embargo, una reducción moderada de la humedad podría beneficiar a las plantas, pues en cultivos como tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) se mejora el rendimiento y el uso de agua es más eficiente cuando se riega con 80 % que con 100 % de la evapotranspiración potencial (González y Hernández, 2000). En plantas de *C. chinense* sometidas a tensión hídrica se observa la disminución de: la altura de planta, el diámetro basal, el volumen de raíces y la biomasa (Pérez *et al.*, 2008; May *et al.*, 2011). Según Ismail (2010), el déficit hídrico en *Capsicum annum* se traduce en reducciones significativas del potencial hídrico foliar y del rendimiento.

Con base en lo anterior, Quintal *et al.*, 2012 realizaron un estudio donde se evaluaron diversos niveles de humedad aprovechable en el sustrato para medir sus efectos en el uso del agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero crecido en condiciones protegidas, en Conkal, Yucatán. En este estudio se evaluó el efecto de cinco niveles de humedad aprovechable (HA) (60, 50, 40, 30 y 20 %) aplicada tres veces por semana) en

chile habanero (*C. chinense*) establecido en condiciones protegidas. Se analizó el potencial hídrico de la hoja, crecimiento, producción y distribución de biomasa, rendimiento y tamaño del fruto, índice de cosecha e índice de productividad del agua. Se encontró que al regar con una lámina de 60 % de la HA se obtuvo la mejor condición hídrica de la planta, 55 % más de área foliar, 44 % más de biomasa total y 84 % más de rendimiento de fruto, que con 20 % de HA. Con 60 % de HA se logró una producción de 5.6 g de biomasa seca por cada litro de agua aplicado.

La calidad de *C. chinense* es determinada por la apariencia, peso, firmeza y color del fruto. Ruiz-Lau *et al.*, 2011 realizaron un estudio donde aplicaron estrés hídrico en *C. chinense* iniciando su aplicación cuando ocurrió la primera antesis (26 DDT). Dos tratamientos se aplicaron, el primero consistió en riego con un litro de agua cada siete días (T1) y el segundo tratamiento consistió en aplicar un litro de agua cada nueve días (T2). Las plantas control, sometidas a riego diario tuvieron un potencial hídrico (PHI) del suelo de 0 MPa. Las plantas regadas cada 7 días registraron un PHI del suelo de -2.09 MPa, mientras que para las plantas regadas cada 9 d, el potencial hídrico fue de -3.13 MPa. Estos niveles de estrés hídrico son aún más negativos que el valor de -1.5 MP asignado como nivel de estrés hídrico o grado de sequía determinado por Hsiao (1973). Las plantas bajo T1 no tuvieron reducción significativa del peso seco o fresco de los brotes en comparación con las plantas control sometidas a riego diario. Sin embargo, en el T2 si hubo disminución significativa del peso fresco, pero no del peso seco de los brotes. Ambas condiciones de estrés disminuyeron la altura de la planta.

En la producción de flores y número de frutos por planta no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y el control. El estrés hídrico incremento significativamente las concentraciones de capsaicina y dihidrocapsaicina en semillas y pericarpio a los 25 y 45 días después de la antesis (DDA). Ambos tratamientos de estrés hídrico condujeron a la concentración de capsaicina, se observó un aumento de 16 mg g^{-1} en el peso seco (DW) con respecto al control y de dihidrocapsaicina 19 mg g^{-1} DW con respecto al control en la placenta a los 45 DAA. En los frutos no hubo diferencia significativa en la concentración de capsaicinoides a los 25 DAA.

Es importante tener en cuenta que los niveles de los capsaicinoides en los frutos plantas de control fueron similares para 25 y 45 DAA. En general, el contenido de capsaicinoides fue más alto en la placenta seguido por el pericarpio y la semilla. La concentración de capsaicina fue mayor que la dihidrocapsaicina en todos casos.

II. Materiales y métodos

2.1 Establecimiento del cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) en tres diferentes tipos de suelo.

Se establecieron cinco cultivos de *Capsicum chinense* en el invernadero de la unidad sureste del CIATEJ, de marzo de 2017 a diciembre de 2019. En este capítulo se presentan los resultados del desarrollo del cultivo cuatro (2018) durante 265 días posteriores al trasplante (DPT) como parte del proyecto titulado: Análisis de los cambios metabólicos

durante el desarrollo del fruto *Capsicum chinense* Jacq cultivado en diferentes tipos de suelos financiado por el fondo de Ciencia Básica del CONACYT. El cuarto cultivo fue sembrado el 14 de marzo del 2018 empleándose plántulas de *Capsicum chinense* var. Jaguar y tres tipos de suelos diferentes. De este cultivo se realizaron 12 cosechas de chiles a lo largo de 9 meses que se mantuvo éste, habiéndose cosechado por primera vez, a los tres meses de realizado el trasplante. A lo largo de estas cosechada se obtuvieron chiles en diferentes estados de madurez en los diferentes suelos probados: suelos negro (*Boox lu'um*), rojo (*Chac Lu'um*) y café (*Ch'ich' lu'um*).

2.1.1 Siembra del cultivo de *Capsicum chinense* Jacq

El material vegetal empleado fueron plántulas de chile habanero var. Jaguar con una altura mínima de 19.3 cm y diez hojas verdaderas provenientes vivero Cutz de Suma de Hidalgo, Yucatán el cual se caracteriza por el uso de semilla certificada (Figura 1).



Figura 1. Material vegetal empleado para el establecimiento del cultivo

Se realizó la siembra de las plántulas en los tres tipos de suelo: negro (*Boox lu'um*), rojo (*Chac Lu'um*) y café (*Ch'ich' lu'um*) (Figura 2) para lo cual con ayuda de palas se llenaron los contenedores (bolsas plásticas) con 12 kg del suelo seleccionado hasta obtener 300 contenedores con su respectivo suelo (100 pertenecientes al suelo negro, 100 al suelo rojo y 100 al suelo café). Se prosiguió con un etiquetado usando una clave para la identificación individual de cada planta. Previamente se hizo una perforación en la parte inferior de los contenedores, dichas perforaciones fueron hechas con la finalidad de drenar el agua durante el riego de las plantas y evitar la saturación de sustratos.



Figura 2. Suelos empleados en el cultivo de chile habanero. a) negro (*Boox lu'um*), b) rojo (*Chac Lu'um*) y c) café (*Ch'ich' lu'um*).

Después de pesar y etiquetar los contenedores, se aplicó un litro de agua a cada uno de ellos, con la finalidad de ablandar la tierra para el trasplante de las plántulas (Figura 3), las

cuales fueron transportadas al invernadero del CIATEJ unidad Sureste desde el municipio de Suma de Hidalgo, Yucatán el día 14 de marzo del 2018.



Figura3. Proceso de transplante de las plántulas de chile habanero a) Riego inicial con un litro de agua, b) Transplante de las plántulas en el suelo previamente húmedo, c) Segundo riego con medio litro de agua para evitar el estrés de las plántulas recién plantadas y d) Acomodo de las plantas en cuadrantes en el invernadero.

Con el objeto de reducir las fuentes de variación por intensidad lumínica y grado de sombreado, las plantas fueron organizadas en el invernadero en un diseño bloques al azar, compuesto de la siguiente manera: tres bloques (B1, B2, B3), tres tratamientos (S1, S2, S3) y cuatro repeticiones (R1, R2, R3, R4). Cada repetición contenía 25 plantas distribuidas en cuatro columnas (Figura 4). En total se sembraron 100 plantas por cada tipo de suelo.

La aplicación de macronutrientes a las plantas establecidas fue realizado siguiendo la fórmula de fertilización: 120, 100 y 150 kg Ha⁻¹ de NPK, recomendada para los suelos de Yucatán (Soria *et al.*, 2002), mismo que se incorporó en el agua de riego dos veces por semana a partir de los 10 días post-trasplante (DPT) utilizando los fertilizantes: triple 18 y 18-46-00 (Tabla 2).



Figura 4. Distribución de las plantas del invernadero por cuadrantes

Los micronutrientes fueron aplicados a través de una aplicación semanal del producto comercial Bayfolan forte. A los 20 DPT, se aplicó un regulador de crecimiento (Giberelina+auxina) a dosis de 1g Ha⁻¹, por lo que se aplicó 0.004 mg planta⁻¹ considerando una densidad de siembra de 25000 plantas Ha⁻¹. Los riegos fueron aplicados conforme la necesidad de las planta en los primeros días del trasplante, posteriormente se aplicó 2 L de agua planta⁻¹ cada tercer día. Las variables de crecimiento que se tomaron en cuenta fueron

las siguientes: Altura de la planta, número de hojas, número de tallos, número de botones, número de flores y cantidad de chiles por planta. Para la medición de la altura se midió desde la base de la planta hasta la copa. El número de hojas por planta, cantidad de tallos, botones, flores y frutos desarrollados se contabilizaron por observación directa del cultivo.

Tabla 2. Esquema de fertilización para 300 plantas de chile habanero (*Capsicum chinense*)

| Tipo de fertilización | Dosis | Tipo de fertilización | Dosis | Etapas del cultivo |
|-----------------------|--|-----------------------|--|---------------------------|
| Suelo | 2g/L Ultrasol 18-18-18 , 0g/L Ultrasol NKS 46 Dos veces por semana | Foliar | 24 mL Bayfolan, 0mL de Adherex Semanalmente | Después del trasplante |
| Suelo | 4g/L Ultrasol 18-18-18, 2g/L Ultrasol NKS 46 Dos veces por semana | Foliar | 48 mL Bayfolan, 24 mL de Adherex Semanalmente | Botones y floración |
| Suelo | 6g/L Ultrasol 18-18-18, 4g/L Ultrasol NKS 46 | Foliar | 72 mL Bayfolan, 36 mL de Adhereex Semanalmente | Fructificación |

III. Análisis y discusión de resultados

3.1 Desarrollo de plantas de chile habanero cultivadas en los diferentes suelos

3.1.1 Altura de plantas de chile habanero cultivadas en los diferentes suelos

En la Figura 5 se puede observar crecimiento de las plantas (medido como altura) durante 142 DPT donde se puede ver que las plantas en todo el cultivo presentaron un crecimiento progresivo a lo largo de los días y se presentó variación en la altura promedio entre los diferentes tipos de suelo siendo por lo general las plantas de suelo rojo las que se desarrollaron con mayor rapidez. Las plantas que presentaron mayor altura fueron las cultivadas en el suelo rojo mientras que las que presentaron una menor altura fueron las plantas desarrolladas en suelo negro. Del día 0 al 111 DPT se observa crecimiento notable en las plantas después de lo cual, el crecimiento en altura de las plantas se estabiliza (Figura 5).

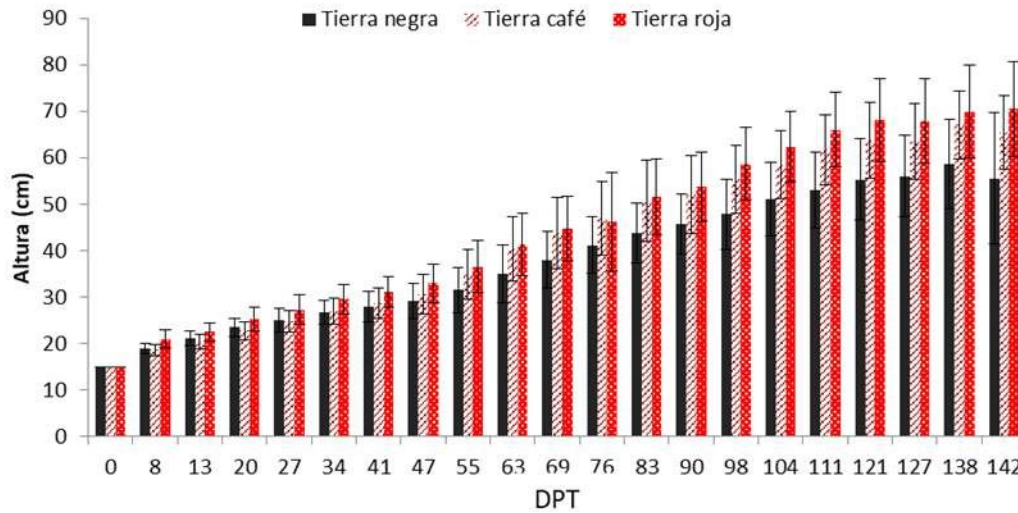


Figura 5. Crecimiento de las plantas durante 142 DPT

Se realizó un análisis estadístico de varianza a los resultados obtenidos tomando como variables los DPT y el tipo de suelo y se determinaron diferencias significativas en el crecimiento de las plantas, debido a cada uno de estos factores y a la interacción de ellos, confirmandose que las plantas más altas fueron las crecidas en suelo rojo, seguidas de las crecidas en suelo café y negro (Figura 6).

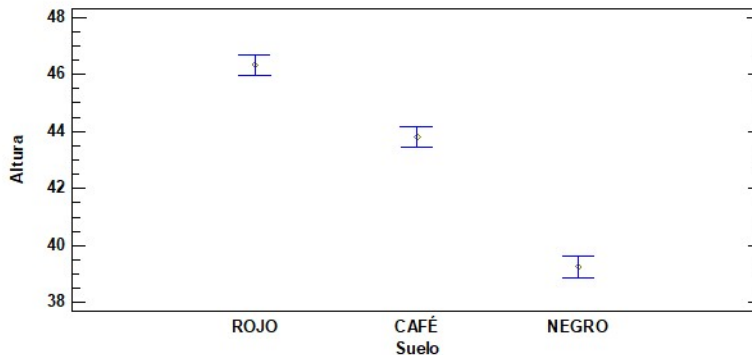


Figura 6. Gráfico de medias del desarrollo de las plantas en distintos tipos de suelos

Bautista *et al.*, (2005) mencionan que la cantidad de fósforo asimilable y materia orgánica es mayor en los suelos negros lo cual fue determinado también por Rodríguez *et al.*, 2017, quienes encontraron que el contenido de nutrientes en los tres tipos de suelo (rojo, negro y café) sugiere que están en concentraciones aceptables para el desarrollo de la planta pero existe una baja disponibilidad de nutrientes en el suelo negro debido al alto valor de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) que tuvo ($38.5 \text{ Cmol Kg}^{-1}$) en comparación con el rojo (27 Cmol Kg^{-1}). Media-Lara *et al.*, 2019 también encontraron que se logró un mejor desarrollo de los frutos del chile habanero que fue cultivado en los suelos rojos y cafés en comparación con el suelo negro, mencionando que entre los factores que podría explicar este comportamiento está el hecho de la retención de Na en éstos suelos lo que podría conducir a una reducción en la disponibilidad y absorción de otros nutrientes importantes para el crecimiento de las plantas así como a la acumulación de grandes cantidades de

otros nutrientes tóxicos (como el amonio) en el suelo negro y los cambios en la microbiota de los suelos bajo estas condiciones.

3.1.2 Número de hojas en plantas de chile habanero cultivadas en los diferentes suelos

Para el desarrollo de hojas se puede observar que en el periodo 0-47 DPT estas se mantienen en la misma cantidad, y hasta los 55 DPT fué cuando las plantas comenzaron a desarrollar un mayor número de hojas, donde las plantas cultivadas en el suelo café fueron las que presentaron una mayor cantidad de hojas y las plantas crecidas en el suelo negro presentaron el menor número de hojas durante este cultivo (Figura 7).

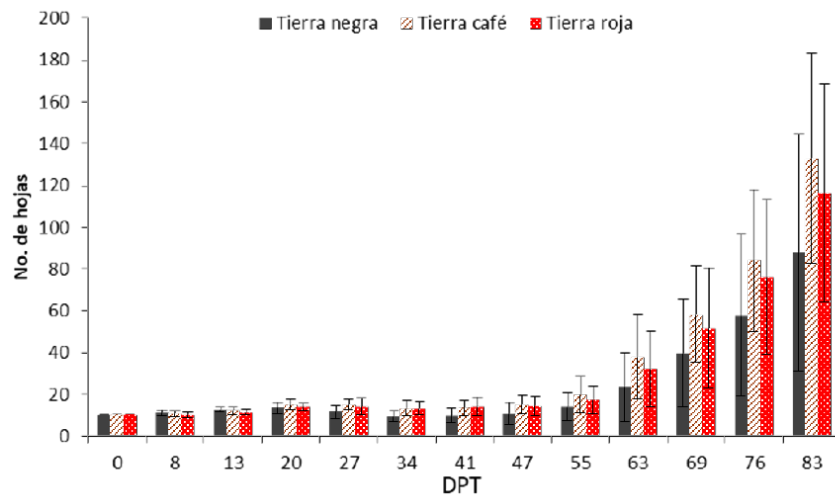


Figura 7. Desarrollo de hojas durante 83 DPT

Se determinaron diferencias significativas en el número de hojas promedio con respecto a los diferentes suelos en los que fueron cultivadas las plantas, y los DPT en los que se realizaron los muestreos. El número de hojas de las plantas crecidas en el suelo negro fue menor al de las plantas cultivadas en suelo rojo y café donde los resultados fueron similares (Figura 8). En la sección anterior se comentó sobre las posibles causas por las que las plantas cultivadas en suelo negro tuvieron resultados inferiores con respecto a los otros suelos probados.

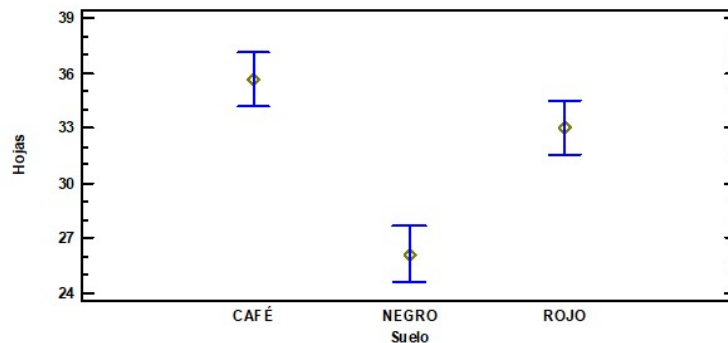


Figura 8. Gráfico de medias para el número de hojas en plantas de chile habanero cultivadas en diferentes suelos

3.1.3 Número de botones en plantas de chile habanero cultivadas en los diferentes suelos

La aparición de botones ocurrió muy rápidamente a los 20 DPT y fue uniforme en todos los suelos (Figura 9), sin embargo la mayoría de estos primeros botones fue abortada debido al calor intenso que dominaba en esos días y por la falta de preparación de las plantas para comenzar con su ciclo de producción.



Figura 9. Primera aparición de botones a los 20 DP

En Figura 10 se puede observar el aumento progresivo del promedio de botones por planta, éstos se presentaron en mínimas cantidades durante el periodo 20- 47 DPT, para el día 55 DPT se puede observar que el desarrollo de numero de botones incrementa y a los 69 DPT más del 90% de las plantas ya presentaba botones. Las altas temperaturas registradas de los 30 a los 60 DPT provocaron que el desarrollo de botones fuera lento en todos los tipos de suelo y que muchos de estos botones fueran abortados.

Las plantas cultivadas en el suelo café y suelo rojo fueron las que presentaron la mayor cantidad de botones desarrollados mientras que las plantas del suelo negro son las que tuvieron la menor cantidad (Figura 11).

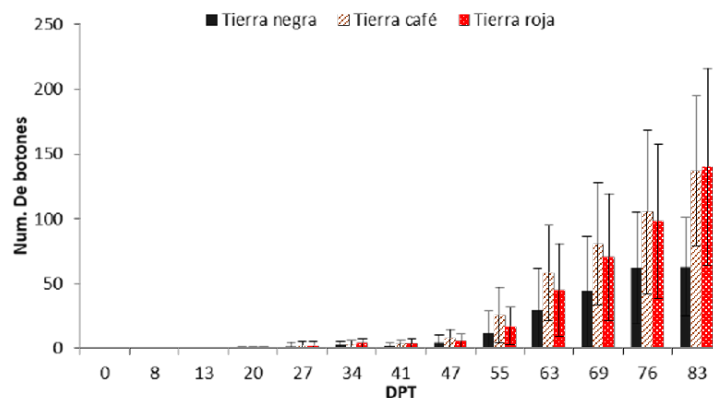


Figura 10. Desarrollo de botones durante 83 DPT

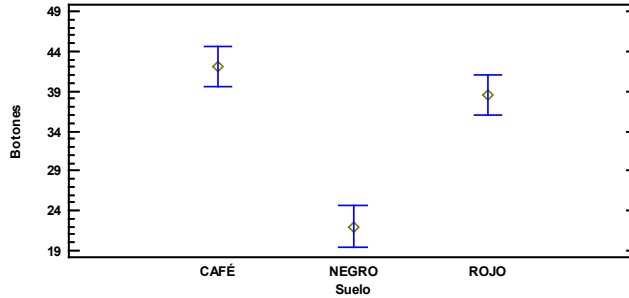


Figura 11. Gráfico de medias de número de botones en diferentes tipos de suelo

3.1.4 Número de flores en plantas de chile habanero cultivadas en los diferentes suelos

Las flores comenzaron su aparición 1 semana después que los primeros botones y tuvieron 2 periodos, en la (Figura 12). se puede observar la cantidad promedio de flores por planta a los diferentes DPT, donde es posible ver que entre los 27 y 47 DPT ocurrió el primer ciclo floral, mismo que culminaría sin la formación de frutos. Se puede observar que la cantidad de flores está relacionada con la cantidad de botones de la semana anterior (Figura 10). El segundo ciclo fue a los 63 DPT y éstas si se convirtieron en frutos.

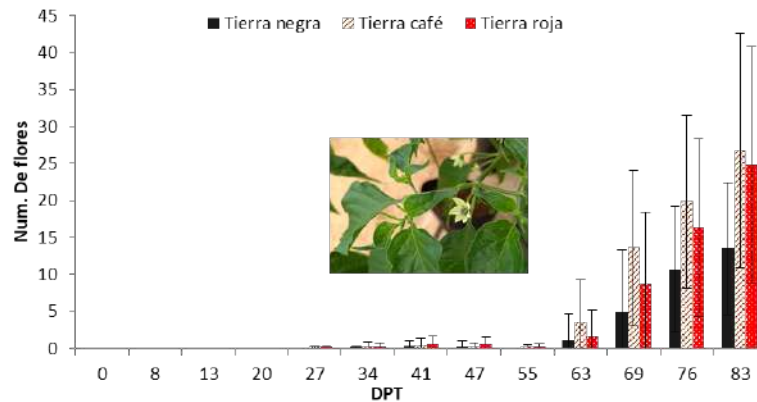


Figura 12. Desarrollo de flores durante 83 DPT

Tomando en cuenta, la cantidad total de flores desarrolladas se encontraron diferencias significativas entre las plantas crecidas en los diferentes tipos de suelo, siendo las plantas cultivadas en el suelo café las que más flores desarrollaron en el periodo marcado, seguido de las plantas del suelo rojo y por último las del suelo negro (Figura 13). El calor provocó una gran cantidad de caída de flores sin amarrar el fruto.

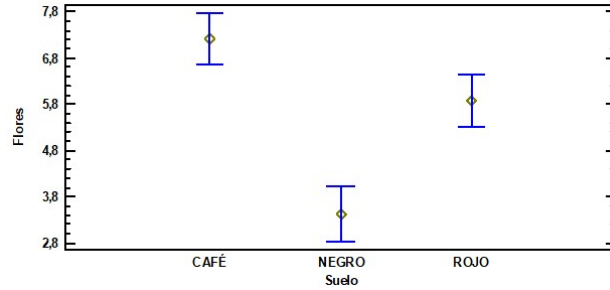


Figura 13. Gráfico de medias de la cantidad de flores del chile habanero en diferentes suelos

3.2 Producción de chile habanero en plantas cultivadas en los diferentes suelos

En cuanto a la producción de chiles, los primeros frutos se presentaron a partir de los 69 DPT como se muestra en la Figura 14, al comparar estos valores con los de la cantidad de flores de las plantas de chile habanero (Figura 12), se puede observar un alto índice de aborto floral, esto se debió al intenso calor (por arriba de 40°C) durante el día en el invernadero del CIATEJ en las fechas en las que desarrolló el cultivo.

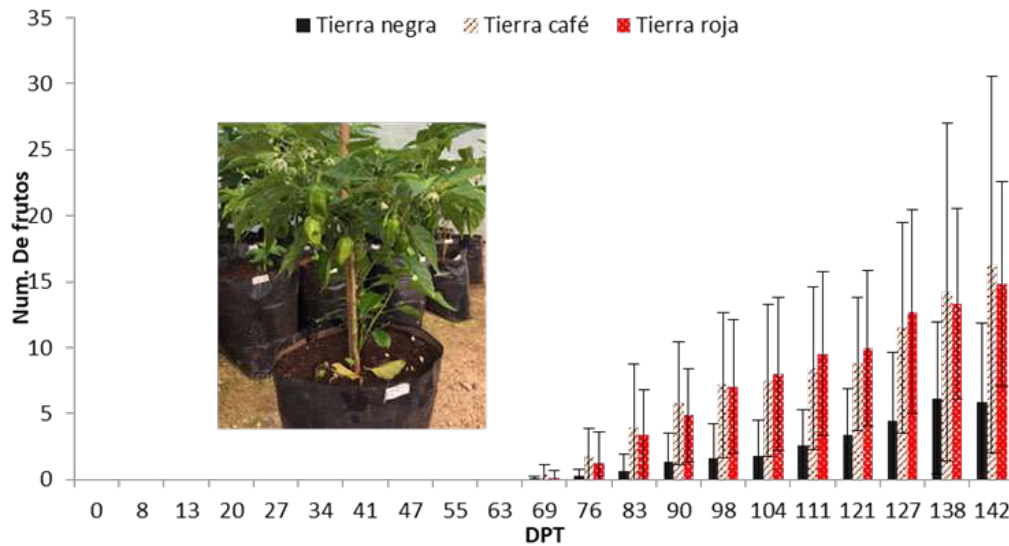


Figura 14. Desarrollo de chiles durante 142 DPT

Los análisis de varianza realizados demostraron que existió una diferencia significativa en el numero de frutos producidos debido a la interacción de los factores tipo de suelo y DPT, donde los frutos producidos en las plantas crecidas en el suelo negro fueron menos que los producidos en las plantas cultivadas en los suelos rojo y negro, siendo para éstos dos últimos suelos los valores similares (Figura 15).

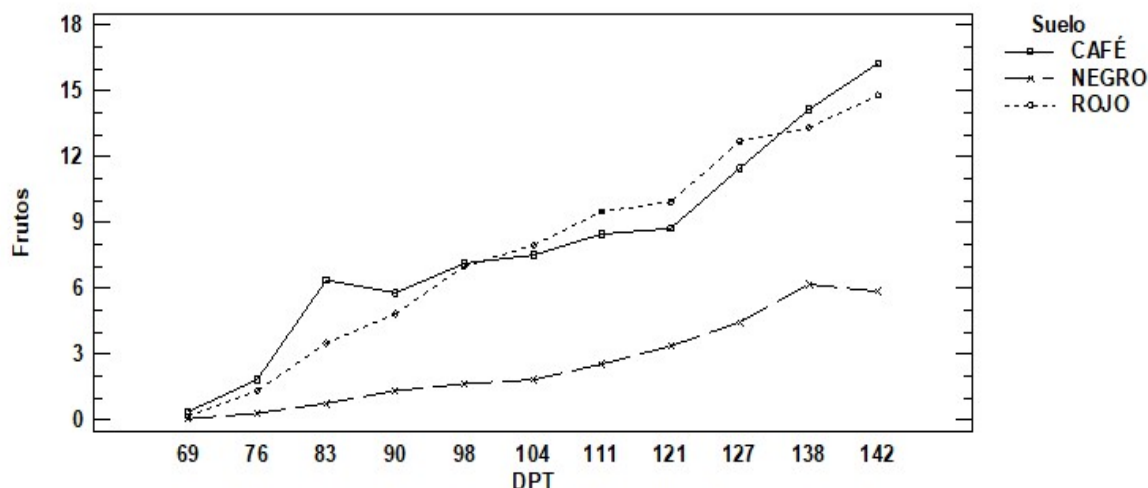


Figura 15. Gráfico de interacciones del tipo de suelo y DPT sobre el número de frutos

La producción total de chiles durante las 12 cosechas del cultivo se presenta en la Tabla 3 donde se puede observar que la mayor producción de chiles en cualquiera de sus estados de madurez se observó en las plantas crecidas en suelo rojo.

Tabla 3. Peso de los chiles obtenidos durante doce cosechas del cultivo en el invernadero del CIATEJ Unidad Sureste.

| Cosecha | DPT | Fecha | Estado de madurez | | | | | | | | |
|---------|-------|----------|-------------------|------------|-------------|-------------------------------------|------------|-------------|--------------------------|------------|-------------|
| | | | Inmaduro (verde) | | | Madurez intermedia (verdes-naranja) | | | Maduro (chiles naranjas) | | |
| | | | Suelo rojo | Suelo café | Suelo negro | Suelo rojo | Suelo café | Suelo negro | Suelo rojo | Suelo café | Suelo negro |
| | | | Peso (g) | | | | | | | | |
| 1 | 89 | 11/06/18 | 604 | 589 | 76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 118 | 10/07/18 | 1527 | 1227 | 113 | 123 | 186 | 18 | 309 | 373 | 16 |
| 3 | 132 | 24/07/18 | 761 | 591 | 248 | 0 | 0 | 0 | 1671 | 1255 | 237 |
| 4 | 146 | 07/08/18 | 827 | 958 | 260 | 94 | 99 | 45 | 644 | 485 | 115 |
| 5 | 160 | 21/08/18 | 289 | 253 | 115 | 424 | 343 | 192 | 768 | 709 | 263 |
| 6 | 174 | 04/09/18 | 0 | 0 | 0 | 134 | 70 | 59 | 507 | 310 | 188 |
| 7 | 195 | 25/09/18 | 353 | 218 | 469 | 24 | 18 | 50 | 57 | 44 | 21 |
| 8 | 209 | 09/10/18 | 358 | 507 | 568 | 341 | 136 | 254 | 285 | 207 | 317 |
| 9 | 223 | 23/10/18 | 209 | 374 | 593 | 193 | 128 | 303 | 226 | 204 | 356 |
| 10 | 237 | 06/11/18 | 632 | 863 | 754 | 120 | 163 | 180 | 170 | 295 | 194 |
| 11 | 252 | 21/11/18 | 865 | 755 | 671 | 150 | 182 | 256 | 205 | 544 | 463 |
| 12 | 265 | 04/12/18 | 1631 | 926 | 1429 | 59 | 44 | 104 | 137 | 117 | 119 |
| | Total | | 8056 | 7261 | 5296 | 1662 | 1369 | 1461 | 4979 | 4543 | 2289 |

La producción total de chiles en este cultivo fue de 36.9 Kg lo cual correspondió a 10,953 unidades lo que representa un peso promedio global de 3.4 g por chile (Tabla 4). El 40 % de los chiles producidos correspondieron a los obtenidos de plantas desarrolladas en suelo rojo, 36 % de los chiles fueron de plantas desarrolladas en suelo café y solo el 24 % de los chiles fueron de plantas desarrolladas en suelo negro.

Tabla 4. Producción total del cultivo establecido durante las 12 cosechas.

| Suelo | Total (g) | Total (unidades) |
|-------|-----------|------------------|
| Rojo | 14,697 | 4,425 |
| Café | 13,173 | 3,686 |
| Negro | 9,046 | 2,842 |
| Total | 36,916 | 10,953 |

IV. Conclusiones

Los factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas del cultivo de chile habanero son varios entre los que podemos mencionar el tipo de suelo, la fertilización, el adecuado suministro de agua, la temperatura ambiente, entre otros. El suelo es un factor muy importante debido a que sus componentes al ser asimilados por la planta influyen en su fisiología. La utilización adecuada de fertilizantes en los cultivos permite obtener mayor rendimiento, reduciendo los costos de producción en el cultivo y evitando la contaminación del ambiente. Se logró el establecimiento del cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) en tres diferentes tipos de suelos: negro (*Boox lu'um*), rojo (*Chac Lu'um*) y café (*Ch'ich' lu'um*) característicos en la Península de Yucatán. De este cultivo se obtuvieron 12 cosechas de chiles a lo largo de 9 meses que se mantuvo éste, habiéndose cosechado por primera vez, a los tres meses de realizado el trasplante.

El suelo rojo fue el más adecuado para el crecimiento vertical de las plantas de chile habanero, seguido por el suelo café y por último el suelo negro. En el resto de los parámetros de crecimiento evaluados (hojas, botones, flores y frutos) el suelo negro presentó significativamente la menor cantidad respecto a los suelos rojo y café cuyos resultados fueron similares entre sí. El bajo rendimiento del suelo negro probablemente se deba a una baja disponibilidad de nutrientes en éste suelo por tener una alta capacidad de intercambio catiónico, posible retención de Na y acumulación de nutrientes tóxicos. La mayor producción de chile habanero, tanto en unidades como en peso, se obtuvo con el suelo rojo para cualquiera de los estados de madurez.

V. Referencias

- Bautista F, Díaz-Garrido S, Castillo-González M, Zinck JA (2005) Spatial Heterogeneity of the Soil Cover in the Yucatán Karst: Comparison of Mayan, WRB, and Numerical Classifications. *Eurasian Soil Science* 38(1): S81-S88.
- Borges-Gómez L, Moo-Kauil C, Ruíz-Novelo J, Osalde-Balam M, González Valencia C., Yam-Chimal C., Can-Puc F. (2014) Soils used for habanero chili production in Yucatán: predominant physical and chemical characteristics. *Agrociencia* 48(4): 347-359.
- Borges-Gómez L, Cervantes Cárdenas L, Ruiz Novelo J, Soria Fregoso M, Reyes Oregel V, et al. (2010) Capsaicinoids in Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) under various humidity and nutritional conditions. *Terra Latinoamericana* 28(1): 35-41.

- Chludil, H., Corbino, G.B., y Leicach, S.R. (2008). Soil quality effects on *Chenopodium album* flavonoid content and antioxidant potential. *J. Agric. Food Chem.*, 56,5050–5056.
- de Ávila Silva, L., Condori-Apfata, J. A., Marcelino, M. M., Tavares, A. C. A., Raimundi, S. C.J., Martino, P. B., y Nunes-Nesi, A. (2019). Nitrogen differentially modulates photosynthesis, carbon allocation and yield related traits in two contrasting *Capsicum chinense* cultivars. *Plant Science*, 283, 224-237.
- Duch G., J. 1988. La Conformación Territorial del Estado de Yucatán: Los Componentes del Medio Físico. Universidad Autónoma de Chapingo, CIR. Texcoco, México. 427 p.
- González, M.A., y Hernández, L. (2000). Estimación de las necesidades hídricas del Tomate. *TERRA Latinoam.* 18, 45-50.
- Guzmán-Antonio, A., Borges-Gómez, L., Pinzón-López, L., Ruiz-Sánchez, E. y J. Zúñiga-Aguilar. (2012). Efecto del ácido salicílico y la nutrición mineral sobre la calidad de plántulas de chile habanero. *Agronomía Mesoamericana.* 23(2), 247-257.
- Hikosaka K., Hanba Y.Y., Hirose T., y Terashima I. (1998). photosynthetic nitrogen-use efficiency in leaves of woody and herbaceous species, *Funct. Ecol.* 12, 896–905,
- Hsiao, T.C. (1973). Plant response to water stress. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24, 519–570.
- Ismail S. M. (2010). Influence of deficit irrigation on water use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annum* L.). *Meteor. Environ. Arid Land Agric. Sci.* 21, 29-43.
- Jaimez R. E (2000) Crecimiento y distribución de la materia seca en ají dulce bajo condiciones de déficit de agua. *AgronomíaTropical* 50(2): 189-200.
- Macías- Rodríguez, H., Villalobos, J. A. M., Valle, M. A. V., Talavera, M. D. C. P., y Castorena, M. M. V. (2013). Chile habanero: descripción de su cultivo en la península de Yucatán. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*,12(2), 37-43.
- May L. C., A Pérez G. E., Ruiz S., y García R. (2011). Efecto de niveles de humedad en el crecimiento y potencial hídrico de *Capsicum chinense* Jacq. y su relación con el desarrollo de *Bemisia tabaci* Genn. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.*14,1039-1045.
- Maheswari M., Murthy M.A.,y Shanker A.K. (2017). Nitrogen nutrition in crops and its importance in crop quality, *Indian Nitrogen Assess*,175–186.
- Medina-Lara F., Souza-Perera R., Martínez-Estévez M., Ramírez-Sucre M.O., Rodríguez-Buenfil I.M. and Echevarría Machado Ileana. (2019). Red and Brown Soils Increase the Development and Content of Nutrients in Habanero Pepper Subjected to Irrigation Water with High Electrical Conductivity. *HortScience*: 54(11):2039-2049. DOI: 10.21273/HORTSCI14157-19
- Mei H.S., Thimann K.V. (1984). The relation between nitrogen deficiency and leaf senescence, *Physiol. Plant.* 62, 157–161
- Nieves-González, F., Alejo-Santiago, G., Luna-Esquivel, G., Lemus-Flores, C., Juárez- López, P. y E. Salcedo-Pérez. (2015). Extracción y requerimiento de fósforo en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) 'Big Brother'. *Interciencia.* 40(4), 282-286.
- Noh-Medina, J., Borges-Gómez, L. y M. Soria-Fregoso. (2010). Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12, 219-228.
- Oney-Montalo J., López-Domínguez C., Zamacona-Ruiz M., Gómez-Rincón E., Ramíre-Sucre M., Rodríguez-Buenfil I. (2018). Metabolites present in *Capsicum chinense* of two ripening stages cultivated in different soil types in Yucatan, Mexico. *Revista Bionatura* 2018 Vol 1. No 1. 2018. <http://revistabionatura.com/cs-2018.01.01.9.html>.
- Parra, Q.R.A., Rodríguez, O. V. A., y González H. (1999). Transpiración, potencial hídrico y prolina en zarzamora bajo déficit hídrico. *TERRA Latinoam.* 17,125-130.
- Pérez G. A., Pineda. D., Latournerie M., Pam P., y Godoy A. (2008). Niveles de evapotranspiración potencial en la producción de chile habanero. *TERRA Latinoam.* 26, 53-59.
- Quintal Ortiz, W. C., Pérez-Gutiérrez, A., Latournerie Moreno, L., May-Lara, C., Ruiz Sánchez, E., & Martínez Chacón, A. J. (2012). Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista fitotecnia Mexicana*, 35(2),155-160.

- Rada, F., Jaimez, R. E., García Núñez, C., Azócar, A., y Ramírez, M. E. (2005). Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var. Guasare bajo periodos de déficit hídrico. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 22, 112-120.
- Ramírez-Luna, E., Castillo-Aguilar C.C., Aceves-Navarro E. y Carrillo-Ávila E. (2005). Efecto de productos con reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile 'Habanero'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11, 93-98. DOI: 10.5154/r.rchsh.2003.12.080.
- Rodríguez-Buenfil IM, Ramírez-Sucre MO and Echevarría-Machado I. (2017). Soils of Yucatan: Effect On The Growth Of The Habanero chili Plant (*Capsicum chinense*). *Agri Res & Tech: Volume 8 Issue 1 - June 2017*. DOI: 10.19080/ARTOAJ.2017.08.555730.
- Ruíz-Lau, N., Medina-Lara, F., Minero-García, Y., Zamudio-Moreno, E., Guzmán-Antonio, accumulation of capsaicinoids in fruits of *Capsicum chinense* Jacq. *HortScience*. 46(3): 487-492. DOI: 10.21273/HORTSCI.46.3.487
- Salisbury, F.B., y Ross C W. (2000). *Fisiología de las Plantas*. Ed. Paraninfo Thomson Learning, Madrid. 758 p.
- Scheible W.R., Gonzalez-Fontes A., Lauerer M., Muller-Rober B, Caboche M., y Stitt M. (1997). Nitrate acts as a signal to induce organic acid metabolism and repress starch metabolism in tobacco, *Plant Cell*, 9: 783–798.
- SIAP. 2019. Anuario estadístico de producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Soria, F.M., Tun, S.J., Trejo, R.A., Terán, S.R. (2002). Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). SEP. DGTA. ITA-2 Conkal, Yuc, México. 75 (15). *Predicción de la demanda nutricional de potasio para la producción de capsicum chinense jacq. en el Sureste de Mexico*. Available from: https://www.researchgate.net/publication/237042736_Prediccion_de_la_demanda_nutricional_de_potasio_para_la_produccion_de_capsicum_chinense_jacq_en_el_Sureste_de_Mexico
- Stamp, N. (2003). Out of the quagmire of plant defense hypotheses. *Q. Rev. Biol.* 78, 23–55.
- Stitt M. (1999). Nitrate regulation of metabolism and growth, *Curr. Opin. Plant Biol.* 2, 178–186.
- Tapia-Vargas, M., Larios-Guzmán, A., Díaz-Sánchez, D. D., Ramírez-Ojeda, G., Hernández-Pérez, A., Vidales-Fernández, I., y Guillén-Andrade, H. (2016). producción hidropónica de chile habanero negro (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3), 241-245.
- Tschoep, H., Gibon, Y., Carillo, P., Armengaud, P., Szecowka, M., Nunes-Nesi, A., Ferni A.R., Koehl, K., y Stitt M. (2009). Adjustment of growth and central metabolism to a mild but sustained nitrogen-limitation in *Arabidopsis*, *Plant Cell Environ*, 32, 300– 318.
- Tucuch-Haas, C.J., Alcántar-González, G., Ordaz-Chaparro, V.M., Santizo-Rincón, J.A. y A. Larqué-Saavedra. (2012). Producción y calidad de chile habanero con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana*. 30, 9-15.
- Tun Dzul. J de la C. 2001. Características y tecnología de producción del chile habanero. Centro de Investigación Regional del Sureste. INIFAP- SAGARPA. Mocochoá, Yucatán, México. Pp: 5-74. <http://biblioteca.inifap.gob.mx>.

CAPITULO 2

Principales enfermedades del chile habanero (*Capsicum chinense*) y su control

Main diseases of habanero pepper (*Capsicum chinense*) and its control

Navarrete-Mapen, Reyna Z¹, Cristóbal-Alejo, Jairo¹, Tun-Suárez, José M¹, Herrera-Parra, Elizabeth² y Uc-Varguez, Alberto^{3*}

¹Tecnologico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico S/N Conkal, Yucatán. C.P. 97345.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 25 antigua carretera Mérida–Motul, Mococho Yucatán México. Cp.97450

³Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del estado de Jalisco AC., Subsede Sureste. Parque científico y Tecnológico de Yucatán. Km. 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto. Cp. 97302. *autor de correspondencia: auc@ciatej.mx

Resumen

En este capítulo se describen las características de las principales enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y nematodos fitopatógenos que afectan el cultivo de chile habanero en el sureste de México, empezando por la descripción del agente causal, la sintomatología, el comportamiento epidemiológico de la enfermedad y finalmente se mencionan algunas de las alternativas que pueden utilizarse para el diseño e implementación de las estrategias de manejo de la enfermedad.

Palabras clave: Problemas fitosanitarios, chile habanero, manejo de la enfermedad.

Abstract

The characteristics of main diseases caused by fungi, bacteria, viruses and phytopathogens nematodes that affecting habanero pepper at the southeast of Mexico, are described in this chapter. Starting with the description of the agent causal of the disease, the symptomatology, the epidemiological behavior of the disease and finally, some of the alternatives that can be used for to design and to stablish strategies to plant diseases management.

Keywords: Phytosanitary problems, habanero pepper, diseases management.

I. Introducción

El chile habanero (*Capsicum chinense*) es uno de los cultivos de mayor importancia económica y social en la península de Yucatán, ya que constituye una fuente importante de ingresos a los productores y debido a los múltiples usos que recibe el fruto en la industria alimentaria y farmacéutica. Además en el 2017, la producción de chiles en Yucatan alcanzó un valor por arriba de los 58.5 millones de pesos (Ramirez *et al.*, 2018; Ruiz-Lau *et al.*, 2011; SIAP, 2019).

El rendimiento por hectárea del cultivo de habanero es de 15 a 43 t·ha⁻¹, esta variación se debe principalmente a la variedad utilizada, a las condiciones y manejo del cultivo (cultivo a cielo abierto o invernadero). Por otra parte, las enfermedades pueden provocar bajos rendimientos del cultivo, los cuales a su vez pueden ocasionar pérdidas de hasta el 100% de la producción (Chávez y Zavaleta, 2019; Pérez-Moreno *et al.*, 2004). Por otro lado, la aplicación desmedida de pesticidas para el control de los fitopatógenos, ha ocasionado serios problemas en el ecosistema como: presencia residuos en las cosechas, resistencia de los patógenos a los agroquímicos, reducción de la fauna benéfica e incremento de la contaminación ambiental, además de elevar los costos de producción (Ramírez *et al.*, 2018).

Por tal motivo, el presente capítulo tiene como finalidad describir las principales enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y nematodos fitopatógenos que afectan al cultivo de chile habanero, ya que el conocimiento de aspectos básicos como la sintomatología de la enfermedad, características del microorganismo patógeno, factores ambientales que propician el desarrollo de la enfermedad y su control en campo, pueden mejorar el manejo de la enfermedad, con los beneficios económicos, sociales y ecológicos que ello implica.

II. Revisión bibliográfica

2.1 Enfermedades más importantes que afectan al chile habanero

2.1.1 Principales enfermedades causadas por hongos

Múltiples trabajos reportan una gama de enfermedades fungosas que afectan al cultivo del chile habanero, entre los que se pueden mencionar el damping off, la antracnosis, el manchado foliar, el marchitamiento de plantas, mildiu, marchitez y pudrición del tallo, entre otros. Sin embargo, su incidencia y severidad depende en gran medida de las condiciones ambientales, la variedad utilizada, así como del manejo del cultivo, por lo que resulta importante conocer cada uno de estos factores que afectan el comportamiento de la enfermedad, a fin de reducir las afectaciones debidas a este grupo de patógenos.

Enfermedad. Damping off o secadera

Patógeno: (*Phytophthora*, *Pythium*, *Fusarium* y *Rhizoctonia*).

Sintomatología: El damping off es una de las enfermedades que ocasiona a los productores de chile, pérdidas importantes debido a que provoca el decaimiento y marchitez del 5 al 80% de las plántulas en vivero, o de las plantas recién trasplantadas en campo (Chávez y Zavaleta, 2019; Lamichhane *et al.*, 2017). Cuando la infección del hongo ocurre durante el proceso de germinación de la semilla (preemergencia), los tallos recién formados adquieren una coloración café y mueren rápidamente, provocando la aparición de manchones sin plántulas en el vivero (Figura 1b). Por otra parte, cuando la infección ocurre en la etapa pos emergencia, el cuello de las plántulas a nivel del suelo presenta un típico estrangulamiento de color café oscuro a rojiza, las hojas de las plántulas pierden turgencia y se marchitan, posteriormente toda la planta se marchita y finalmente muere provocando la observación de manchones de plántulas muertas en el vivero (Lamichhane *et al.*, 2017).

En plantas adultas la enfermedad se caracteriza por presentar lesiones cóncavas de color pardo rojizo que aparecen en el tallo y en la raíz principal (Figura 1a). Los suelos arcillosos y susceptibles a la inundación favorecen el desarrollo del hongo en los meses con mayor precipitación (Lamichhane *et al.*, 2017). La incidencia observada en plántulas establecidas bajo condiciones de invernadero en tres tipos de suelo, sugieren que el tipo de suelo no afecta su respuesta a la infección. Chávez y Zavaleta (2019), mencionan que el género *Capsicum* presenta cierta tolerancia natural a *Phytophthora* debido posiblemente a una resistencia poligénica.

Epidemiología. Los factores que pueden afectar la aparición de la enfermedad son, condiciones de estrés hídrico, debido a periodos de baja humedad (30%) seguido de condiciones de alta humedad (arriba del 70%). La severidad de la enfermedad es mayor cuando se utiliza semilla contaminada, sin desinfectar y en suelos poco permeables. La enfermedad se distribuye a distancias de 4.5 m a partir de un foco de infección en dirección de las líneas de riego y hasta 2.0 m a través de los surcos. El patógeno se dispersa de una planta enferma a una sana a través del agua de riego (Lamichhane *et al.*, 2017; Silva-Rojas *et al.*, 2009).

Manejo de la enfermedad. Puede realizarse mediante la desinfección del sustrato y las charolas utilizadas en el semillero, mediante cloro comercial al 5%, evitar el uso de siembras de alta densidad que impida la aireación, así como, el uso de semilla desinfectada y libre de patógenos.

En campo, para evitar el uso de plantas contaminadas en campo, se pueden sumergir durante un minuto, las plantas al momento del trasplante, en una solución de Thiabendazol a dosis de 0.5 a 1.0 g L⁻¹. Además, se debe evitar el exceso de humedad en los suelos mal drenados (Silva- Rojas *et al.*, 2009; Velásquez- Valle *et al.*, 2013).