

PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE CHILE HABANERO EN INVERNADERO

Magdalena Villa Castorena, Ernesto Alonso Catalán Valencia, Marco Antonio Inzunza Ibarra, Abel Román López, Hilario Macías Rodríguez, Daniel Cabrera Rodarte



**Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias**

**Av. Progreso No. 5 Barrio de Santa Catarina,
Delegación Coyoacán, C.P. 04010 México, D. F.
Teléfono (55) 38718700
<http://www.inifap.gob.mx>**

ISBN: 978-607-37-0298-0

Primera Edición 2014; Derechos reservados ©

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito a la institución.

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Lic. Enrique Martínez y Martínez
Secretario

Lic. Jesús Alberto Aguilar Padilla
Subsecretario de Agricultura

Lic. Ricardo Aguilar Castillo
Subsecretario de Alimentación y Competitividad

Prof. Arturo Osornio Sánchez
Subsecretario de Desarrollo Rural

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General

Dr. Manuel Rafael Villa Issa
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

MSc. Arturo Cruz Vázquez
Coordinador de Planeación y Desarrollo

M.A. Eduardo Francisco Berterame Barquin
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA EN LA RELACIÓN AGUA SUELO PLANTA ATMÓSFERA

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director del CENID

Comité Editorial del **CENID-RASPA**

Presidente: Dr. José Antonio Cueto Wong

Secretario: Dr. Miguel Agustín Velásquez Valle

Vocales: Dr. Juan Estrada Ávalos

M.C. Miguel Rivera González

REVISIÓN TÉCNICA:

Dr. Jesús Arcadio Muñoz Villalobos

Dr. David Guadalupe Reta Sánchez

Esta publicación se terminó de imprimir
en el mes de Diciembre del 2014 en los
Talleres de Carmona Impresores S.A. de C.V.

Bld. Paseo del Sol No.115

Col. Jardines del Sol C.P. 27014

Torreón, Coah., México.

Su tiraje consta de 500 ejemplares

PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE CHILE HABANERO EN INVERNADERO

Magdalena Villa Castorena*
Ernesto A. Catalán Valencia*
Marco Antonio Inzunza Ibarra*
Abel Román López*
Hilario Macías Rodríguez*
Daniel Cabrera Rodarte**

*Investigadores del Centro de Investigación Disciplinaria en la Relación
Agua Suelo Planta Atmósfera

** Ayudante de investigador del Centro de Investigación Disciplinaria en la
Relación Agua Suelo Planta Atmósfera

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo
Planta Atmósfera

Diciembre del 2014

Contenido	Pág.
Introducción	1
Requerimientos climáticos	2
Requerimientos edáficos	2
Sustratos	2
Contenedores	8
Sustratos y contenedores usados en el CENID RASPA	9
Producción de planta	10
Trasplante	12
Marcos de plantación	13
Riegos	14
Fertilización	20
Labores culturales	21
Plagas	24
Enfermedades	33
Recomendaciones generales para reducir plagas y enfermedades	38
Fisiopatías	40
Cosecha	40
Bibliografía	41

INTRODUCCIÓN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es originario de Suramérica, aunque también es ampliamente conocido en el sureste mexicano donde forma parte de la gastronomía regional. El chile habanero es uno de los de mayor pungencia o picor en el mundo, su contenido de capsaicina es entre las 200,000 a 500,000 unidades “Scoville” (Bosland, 1996; Long-Solís, 1998; Ramírez *et al.*, 2005). Esa cantidad de capsaicina ha sido determinante en el incremento de la demanda de esta especie de chile en el mercado nacional e internacional. La capsaicina tiene amplia utilización en la medicina, cosméticos, pinturas, gases lacrimógenos y salsas (Soria *et al.*, 2002; Salazar *et al.*, 2004). En México, los estados que producen el chile habanero son Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Sonora, Veracruz, Chiapas y Baja California Sur. La mayor superficie cultivada se encuentra en el estado de Yucatán con un 73% (708.43 ha) del total de la superficie sembrada (SIAP-SAGARPA, 2007).

El cultivo de chile habanero, bajo condiciones de campo, no se lleva a cabo en forma comercial en las regiones áridas del norte de México. Esto debido a que las altas temperaturas e incidencia solar presentes hacen que la planta tenga un desarrollo raquítrico y una baja producción lo cual lo hace incosteable. Sin embargo, el chile habanero es un cultivo atractivo ya que su precio en el mercado nacional supera a la de cualquier otro tipo de chile. En la Región Lagunera, por ejemplo, se vende entre \$100 y 130 por kilo de fruto fresco; además el chile habanero es un producto que tiene demanda a nivel nacional e internacional por sus múltiples usos.

El cultivo bajo invernadero es una opción de producción que permite proteger a las cosechas de factores ambientales adversos. Tales como, temperaturas extremas, precipitación intensa, baja humedad relativa y radiación solar intensa (Robledo y Martín, 1988; Jensen y Malter, 1995). También con este sistema de producción es posible tener un mejor control de las plagas y enfermedades, lo cual ayuda para que la calidad y cantidad de las cosechas se incrementen (Macías *et al.*, 2003). Los principales cultivos que se producen bajo invernadero en México son el tomate, chile pimiento y pepino. El chile habanero puede ser un cultivo alternativo de producción en invernadero, sobre todo en las regiones donde a campo abierto no tiene buen desarrollo, como es el caso de las regiones áridas y semiáridas del norte de México. En el presente folleto se presenta información tecnológica generada de trabajos de investigación desarrollados

en el CENID RASPA INIFAP sobre el manejo agronómico del chile habanero bajo condiciones de invernadero en regiones áridas del país.

REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS

El chile habanero muestra su mejor desarrollo en zonas templadas, subtropicales. Con altitudes que oscilan entre 0 y 2700 msnm. Se desarrolla en un rango de precipitación óptima de 600 a 1250 mm (FAO, 1994). Sin embargo, estos valores varían en base a la variedad que se vaya a cultivar y la adaptabilidad que ésta presenta (FAO, 1994; Aragón, 1995). El chile habanero es una hortaliza de clima caliente, los rangos de temperatura en que se desarrolla de forma normal son: mínima 10°C, máxima 35°C y óptima de 30 °C. Las temperaturas menores de 10°C y mayores a 35°C limitan el desarrollo del cultivo (Ramírez *et al.*, 2006). La temperatura para la germinación fluctúa entre los 18 y 35 °C, siendo la óptima de 30°C.

REQUERIMIENTOS EDÁFICOS

Los suelos más favorables para el desarrollo del chile habanero, son aquellos que tienen buen drenaje y buena retención de humedad. Con un pH de 6.5 a 7.0, para lograr una mayor disponibilidad de los nutrientes; pH del suelo diferentes a estos valores necesitarán enmiendas por lo que es muy importante conocer y considerar este factor para el buen uso de fertilización y asimilación de los nutrientes. El cultivo de chile habanero requiere una lámina de riego de 750 a 1000 mm para obtener altos rendimientos. Una lámina de riego menor a 30 mm mensuales afecta el rendimiento, el cual se ven disminuido (Ramírez *et al.*, 2006).

SUSTRATOS

El cultivo de chile habanero bajo condiciones de invernadero puede cultivarse directo en suelo o bien usando un sustrato y un contenedor para su desarrollo. Existe una variedad de sustratos y estos se clasifican en orgánicos e inorgánicos. Entre los orgánicos dos de los más usados son la fibra de coco y la turba; mientras que los inorgánicos comprenden a la roca volcánica o tezontle, piedra pómez, grava, perlita, vermiculita y arena de río. En seguida se describen cada una de ellos.

Fibra de coco. Es un material muy ligero que se obtiene como residuo de la industria textil de las fibras del mesocarpio de los frutos del cocotero (Figura 1). Tiene una gran capacidad de retención de agua (tres o cuatro veces su peso) combinado con una alta porosidad (>94%), lo cual permite una excelente aireación y oxigenación del sistema radicular. Baja densidad

aparente lo que hace que sea un material liviano. Tiene un pH ligeramente ácido, que va desde 5.5 a 6.5, que es el más adecuado para la gran mayoría de plantas. Una ventaja añadida es que la fibra de coco mantiene sus propiedades intactas al volverse a hidratar (Cremades, 2005). Este sustrato requiere de composteo antes de usarlo así como de lavado con agua de buena calidad pues presenta alta cantidad de sales.



Figura 1. Sustrato de fibra de coco

Turba (peat moss). Está constituida principalmente por restos de musgos y de otras plantas superiores, los cuales están descompuestos de modo incompleto a causa del exceso de agua y falta de oxígeno (Figura 2). Se puede clasificar en turbas rubias y en turbas negras según el grado de descomposición, las primeras tienen mayor contenido de materia orgánica que las segundas. Ambas tienen bajo contenido de sales solubles, una porosidad mayor al 90% por lo que proporcionan buen drenaje y aireación, baja densidad aparente (0.07 a 0.14 g cm^{-3}). Tienen una alta capacidad de retención de humedad (arriba del doble de su peso). La acidez de la turba varía con su origen, pero en general es bastante ácida. El pH se ajusta fácilmente con encalado. El aspecto más importante es que no ocurren cambios biológicos y se mezcla fácilmente con otros sustratos (Ansorena, 1994; Alvarado y Solano, 2002).



Figura 2. Sustrato de turba (peat moss)

Roca volcánica o tezontle. Es un material rojizo, de origen volcánico, es ligero y con una apariencia esponjosa (Figura 3). La capacidad de retención de agua es de un 35-49%; el tamaño recomendado de las partículas fluctúa entre 5 y 15 mm de diámetro. En nuestro país se utiliza con gran éxito, sin embargo cuando posee partículas muy pequeñas deben de ser eliminadas mediante lavados para favorecer el drenaje (Cremades, 2005).



Figura 3. Sustrato de tezontle

Piedra pómez. Es un material de color blanco grisáceo su origen es volcánico con alta porosidad (Figura 4). Tiene una capacidad de retención de agua de hasta un 38%, proporciona una buena estabilidad física y

durabilidad. Tiene una densidad aparente entre 0.4 a 0.9 g cm⁻³ por lo tanto es bastante ligera. Desde el punto de vista biológico es completamente libre de microorganismos y se encuentra disponible en nuestro país (Cremades, 2005).



Figura 4. Sustrato de piedra pómez

Grava. Son pequeñas partículas que se obtienen de materiales procedentes de depósitos naturales o canteras que son triturados (Figura 5). El tamaño de partículas recomendados para uso en hidroponía es entre 1 a 2 mm de diámetro (Terrés *et al.*, 2001). La grava tiene una buena estabilidad estructural, proporciona una excelente aireación ya que tiene una porosidad mayor a 40% de su volumen; sin embargo tiene poca capacidad de retención de humedad (4-5%).



Figura 5. Sustrato de grava

Perlita. Es una roca volcánica silícea que triturada y calentada a 982 °C, se expande para formar partículas blancas con numerosas celdas con aire encerrado (Figura 6). El agua puede adherirse a la superficie, pero no es absorbida. La perlita es estéril, químicamente con un valor de pH de 7.0 a 7.5, es un material de peso ligero cercano a 0.095 g cm⁻³. El tamaño de partículas más fino (de 1.58 a 3.18 mm) es el recomendado para usarlo en contenedores. La perlita adsorbe de tres a cuatro veces su peso en agua, no tiene capacidad de intercambio iónico y no contiene nutrientes minerales (Raviv *et al.*, 2002).



Figura 6. Sustrato de perlita

Vermiculita. Es un mineral que se obtiene llevando a altas temperaturas (745 a 1000 °C) rocas formadas por silicatos de aluminio, fierro y magnesio (Figura 7); se presenta en escamas de 4 a 10 mm de longitud. Tiene una densidad aparente baja de 0.060 a 0.14 g cm⁻³. La capacidad de retención de agua es alta por la extensa área superficial dentro de cada partícula. Las propiedades de aireación y drenaje también son buenas por los poros grandes entre las partículas. Los nutrientes minerales predominantes son potasio y magnesio; el pH es neutro. La vermiculita es un componente muy deseable en un sustrato sin suelo por su gran retención de humedad y nutrientes, buena aireación y baja densidad (Robbins and Evans, 2013).



Figura 7. Sustrato de vermiculita

Arena de río. Es un sustrato fino y medianamente inerte ya que contiene rastros minerales que podrían aportar algunos nutrientes (Figura 8). Esto debe de tomarse en cuenta en la definición de los programas de nutrición de las plantas. Acorde con análisis físicos de este material realizados en el CENID RASPA, la arena tiene una densidad aparente de 1.6 g cm^{-3} , una porosidad de 37% y una conductividad hidráulica a saturación de 10.5 cm h^{-1} , lo cual le confiere un buen drenaje, buena aireación y bajo nivel de compactación. La capacidad de campo (CC) es de $0.13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, el punto de marchitamiento permanente (PMP) de $0.06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, para una capacidad de retención de agua de $0.07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (7.0 cm m^{-1}), en términos de humedad disponible o aprovechable por las plantas.



Figura 8. Sustrato de arena de río

CONTENEDORES

El contenedor tiene la función de retener el sustrato y la planta durante su desarrollo. Debe de estar perforado en la base para permitir el drenado del agua y evitar la saturación del sustrato. Existen en el mercado diferentes tipos de contenedores para la producción de plantas, entre los que se encuentran: las bolsas y macetas de plástico de diferentes capacidades y colores, entre las más usadas se encuentran las de color negro o bien blanco con negro y de capacidad de entre 16 -20 L (Figuras 9 y 10). Las canaletas de cemento es otro tipo de contenedor para el cultivo de chile habanero hidropónico, éstas también deberán de contar con un sistema de drenaje para evitar encharcamientos en el sustrato (Figura 11).



Figura 9. Bolsas de plástico negras y blanco-negro



Figuras 10. Macetas de plástico negro de diferente volumen



Figura 11. Canaletas de cemento

SUSTRATOS Y CONTENEDORES USADOS EN EL CENID RASPA

En los trabajos realizados en el CENID RASPA se han obtenido buenos resultados con el uso de arena de río como sustrato y canaletas de cemento como contenedor. La arena se encuentra disponible en la región por lo que su costo es económico, comparado con otros sustratos. Este material se desinfecta antes de usarse mediante solarización y se analiza químicamente para determinar el contenido de sales, pH y nutrientes. La solarización consiste en humedecer la arena, cubrirla con un plástico blanco transparente sellando completamente los bordes del plástico y dejarla por un período de 45 días (Figura 12). Este procedimiento hace que la temperatura suba arriba de los 55 °C debajo del plástico lo cual destruye los patógenos presentes (Muñoz-Ramos, 2003). En caso de que la arena contenga altos niveles de sales se recomienda hacer lavados con agua de buena calidad para disminuir el nivel de salinidad.



Figura 12. Solarización de arena

Las canaletas se construyen con ladrillo y cemento, tienen dimensiones de 10X3.6 m, sin embargo estas pueden variar de acuerdo a las dimensiones del invernadero. Las canaletas tienen una pendiente hacia uno de los extremos del invernadero del 0.6%, La profundidad de las canaletas es de 40 cm; en el fondo se puso una capa de 10 cm de grava para favorecer el drenaje y se llenaron con un sustrato de 30 cm de arena de río (Figura 13). La arena usada tuvo una granulometría comprendida entre 1 y 3 mm, una capacidad de retención de humedad del 12% en base a volumen, una C. E. de 0.48 dS m⁻¹ y una porosidad del 37%.



Figura 13. Canaletas llenas de arena de río, con sistema de drenaje

PRODUCCIÓN DE PLANTA

La siembra se lleva a cabo en charolas de poliestireno de 200 cavidades y dentro de un invernadero. Lo anterior con el fin de obtener plantas de buena calidad y libre de patógenos. Las charolas se desinfectan antes de usarlas con una solución clorada al 10% por un tiempo de 30 minutos, después se enjuagan con agua limpia. Se usa una mezcla de turba (peat moss), perlita y vermiculita 70:15:15, en base a volumen, como sustrato para llenar las charolas. Esta mezcla tiene buena capacidad de absorción de humedad y buen drenaje. El procedimiento de la siembra se ilustra en las Figuras 14 a la 20.



Figura 14. Humedecimiento del sustrato



Figura 15. Llenado y compactación de charolas



Figura 16. Hoyo en cada cavidad con prensa o rodillo



Figura 17. Colocación de la semilla



Figura 18. Tapado de la semilla con el mismo sustrato



Figura 19. Riego de charolas



Figura 20. Cubrimiento de charolas con plástico

Cuando las plántulas empiezan a emerger (siete a diez días) se destapan y se extienden en bancales dentro del invernadero. Las plántulas se riegan con agua hasta la aparición de las hojas verdaderas, después se riegan con una solución nutritiva conteniendo 70-90-70 mg L⁻¹ de N, P y K, respectivamente. Debe evitarse el uso de agua estancada, salina con altos niveles de cloro o sodio.

TRASPLANTE

Las plántulas están listas para trasplantarse cuando tienen una altura de 15 cm y cuatro hojas verdaderas, entre los 50 y 60 días después de la siembra (Figuras 21 y 22). Se recomienda hacer el trasplante en las horas frescas del día (por la mañana o por la tarde), con el fin de evitar marchitamiento de las plantas. Previo al trasplante y después de este se aplica un riego pesado.



Figura 21. Plántulas de chile habanero listas para el trasplante



Figura 22. Planta de chile habanero recién trasplantada

MARCOS DE PLANTACIÓN

El marco de plantación que se recomienda es de 1.2 m entre hileras y 0.35 m entre plantas. Esto se establece con base a resultados de un estudio sobre densidades de población y nutrición de plantas de chile habanero que se llevó a cabo en el CENID RASPA (Villa *et al.*, 2010). Las densidades que se evaluaron fueron de 2.1, 2.4 y 2.8 plantas por m^2 , la distancia entre hileras fue de 1.20 m para las tres densidades y las distancias entre plantas fueron 0.40, 0.35 y 0.30 m, respectivamente. En este trabajo sólo se llevaron a cabo seis cosechas ya que el trasplante se llevo a cabo el 14 de agosto; el intervalo entre cosechas fue entre siete y 10 días. Con la población de 2.4 plantas por m^2 se obtuvieron los mayores rendimientos de fruto, así como una mayor facilidad para llevar a cabo las prácticas culturales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Medias de rendimiento total y componentes del rendimiento de fruto de chile habanero. El período de cosecha fue del cuatro de noviembre del 2009 al 20 de enero de 2010 y se llevaron a cabo seis cosechas.

Densidad de población (plantas por m ²)	Rendimiento (kg m ⁻²)	Peso de fruto (g)	Largo de fruto (cm)	Ancho de fruto (cm)
2.1	0.690 a	8.59 a	4.6 a	3.3 a
2.4	0.718 a	8.68 a	4.6 a	3.3 a
2.8	0.583 b	8.32 b	4.5 a	3.2 a

†Medias seguidas de la misma letra no son estadísticamente diferentes (Duncan, $P = 0.05$).

RIEGOS

Factores que afectan el consumo de agua en un invernadero

La cantidad de agua que consume un cultivo dentro de un invernadero depende de factores ambientales y del cultivo. Como principales factores ambientales están la radiación solar, temperatura y la humedad del aire. A mayor radiación y mayor déficit de humedad en el aire, mayor consumo de agua; existe una relación directa entre estos tres factores. Como principal factor del cultivo se tiene la cantidad de hojas, es decir, la superficie foliar expuesta, la cual aumenta gradualmente desde el trasplante hasta el desarrollo pleno del cultivo. A mayor área foliar, mayor consumo de agua ya que las pérdidas de agua por transpiración son mayores al haber más estomas.

Con el riego se repone el agua consumida por evapotranspiración (ET), es decir, por transpiración y evaporación directa desde la superficie del suelo o sustrato. Se debe aplicar una cantidad suficiente de agua para cubrir el consumo por ET. El exceso de agua provoca lavado de fertilizantes por drenaje excesivo, problemas fitosanitarios en las plantas cuando el drenaje del sustrato es lento. Por su parte, el déficit de agua causa estrés hídrico en las plantas.

Programación del riego

Es una práctica que involucra una serie de cálculos y procedimientos para determinar cuánto y cuándo regar, o sea, el consumo de agua y el momento de aplicar los riegos. Los métodos de programación del riego se basan en la medición del contenido de agua del suelo o sustrato, del estado hídrico de la planta o de variables climáticas. En el caso del chile habanero se utilizó el programa DRIEGO del sistema IRRINET, el cual sirve para estimar demandas de agua y calendarizar el riego de los cultivos en línea y tiempo real (Catalán *et al.*, 2012; Catalán *et al.*, 2013).

El programa DRIEGO resuelve el balance de agua en el suelo a nivel diario, a partir de la estimación de cada uno de sus componentes como son el riego y la lluvia como entradas de agua más importante, así como la evapotranspiración del cultivo y el drenaje por percolación como las principales salidas de agua. El consumo de agua o evapotranspiración del cultivo se estima a partir del cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_0) calculada con el método estándar FAO Penman-Monteith, y el uso del coeficiente dual del cultivo, ambos procedimientos recomendados por la Organización Meteorológica mundial y la FAO para la programación del riego en tiempo real (FAO, 1998). La ET_0 se estima con datos climatológicos del sitio (temperatura y humedad del aire, velocidad del viento y radiación solar), para lo cual se instaló una estación climatológica dentro del invernadero.

Durante los tres ciclos del cultivo, las temperaturas máximas y mínimas del aire diarias dentro del invernadero evolucionaron de manera similar (Figura 23). La temperatura se mantuvo controlada la mayor parte del tiempo a un valor máximo de 32 °C, a excepción de algunos periodos en los cuales no funcionó el enfriamiento de la pared húmeda. Por su parte, la temperatura mínima se mantuvo alrededor de los 20 °C hasta mediados de septiembre y disminuyó gradualmente hacia el final de los ciclos del cultivo.

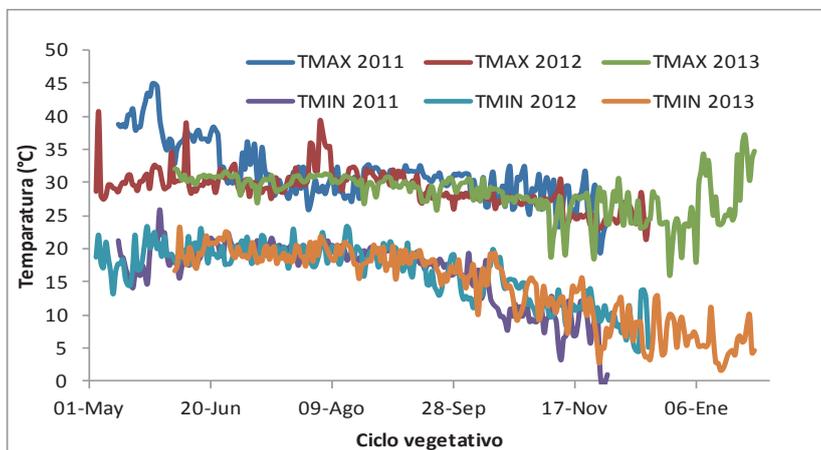


Figura. 23. Variación de las temperaturas máximas y mínimas del aire durante los ciclos del cultivo.

Tomando en cuenta el sistema de riego de alta frecuencia instalado en el invernadero y con el fin de evitar el estrés hídrico, la oportunidad del riego (cuándo regar) se programó a nivel diario, la máxima frecuencia permitida por el programa DRIEGO. Las dosis (cuánto regar) o láminas de agua se determinaron con base en la evapotranspiración (ET) diaria estimada con el programa a partir de la información climatológica registrada en el día anterior para reponer, en el día actual, el agua consumida durante el día previo. En los ciclos 2011 y 2012, durante los primeros 45 días después del trasplante, la ET estimada se mantuvo alrededor de 1.2 mm, posteriormente aumentó linealmente hasta alcanzar valores de alrededor de 4.0 mm, los cuales se mantuvieron durante un mes, para posteriormente disminuir gradualmente hacia el final de los ciclos del cultivo (Figura 24). Para 2013, la variación de ET fue similar a los dos ciclos previos, a excepción de los valores mayores de alrededor de 3.5 mm, los cuales resultaron inferiores a los estimados en 2011 y 2012 debido a que ocurrieron en época más tardía cuando las condiciones atmosféricas (radiación y temperatura) son menos demandantes de agua.

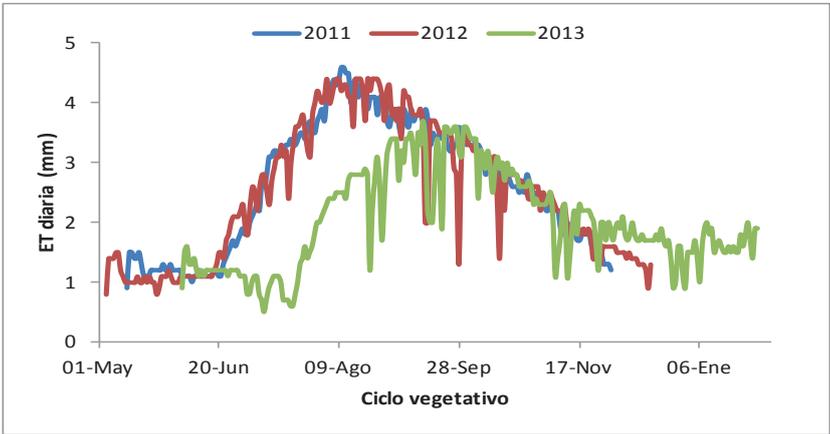


Figura. 24. Variación de la evapotranspiración (ET) durante los ciclos del cultivo.

Consumo de agua

Los valores de ET durante los ciclos del cultivo fueron 533, 567 y 485 mm en 2011, 2012 y 2013 respectivamente. Considerando la baja capacidad de retención de agua del sustrato utilizado (6.26 cm m^{-1} como humedad aprovechable), las dosis diarias de riego se fraccionaron en cuatro cantidades iguales aplicadas a las 9:00, 12:00, 14:00 y 17:00 horas. Al valor neto diario de ET se le agregó un 15% para producir drenaje y prevenir acumulación de sales en el sustrato. Las láminas de riego totales aplicadas por ciclo fueron de 613, 652 y 558 mm para 2011, 2012 y 2013 respectivamente.

Efecto del control climático sobre el consumo de agua

Las condiciones climatológicas dentro del invernadero afectaron considerablemente el consumo de agua del cultivo. En el ciclo 2012, los valores promedio de temperatura del aire, velocidad del viento y radiación solar fueron 8, 63 y 35% inferiores a los correspondientes valores registrados en el exterior. En contraste, la humedad relativa del aire fue 41% mayor que en el exterior. Estas condiciones redujeron ampliamente el poder evaporante de la atmósfera dentro del invernadero.

Para cuantificar lo anterior se corrió el programa DRIEGO para las condiciones climatológicas externas prevalecientes durante el ciclo de cultivo 2012. Los valores de ET diaria dentro del invernadero fueron considerablemente menores que en el exterior (Figura 25). Los consumos de

agua totales durante los ciclos del cultivo fueron de 567 y 865 mm para el interior y exterior respectivamente, lo cual supone un ahorro de agua del 34% por el uso del invernadero.

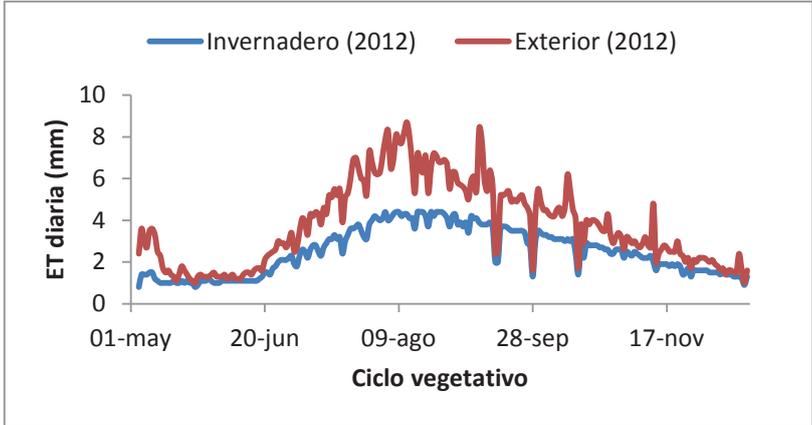


Figura. 25. Efecto del control climático sobre la evapotranspiración.

Aplicación del riego

Se utilizó un sistema de riego por goteo tipo cintilla en doble línea, una a cada lado de la línea de plantas, con separación de 20 cm entre líneas y emisores (Figura 26). El gasto por emisor o gotero fue de 0.5 L h^{-1} (4.15 L h^{-1} por m^2 , considerando 8.3 goteros por m^2). La uniformidad de emisión del sistema de riego fue superior al 90 por ciento.



Figura. 26. Sistema de riego tipo cintilla a doble hilera

Para establecer el cultivo se aplicó un primer riego de seis horas de duración, con una lámina de agua (L_r) de 2.5 cm, suficiente para incrementar el contenido de humedad del sustrato de un valor inicial (θ_i) de $0.04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ a un valor cercano a capacidad de campo (θ_{CC}) de $0.14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, en los primeros 25 cm de profundidad del sustrato (Pr):

$$L_r = (\theta_{CC} - \theta_i) * 100 * Pr = (0.14 - 0.04) * 100 * 0.25 = 2.5 \text{ cm}$$

Para cada uno de los 4 eventos de riego que se aplicaron por día, la dosis o láminas de agua y los correspondientes tiempos de riego (Tr) se calcularon como sigue:

$$L_r \text{ (mm)} = \frac{\text{ET diaria del día previo (mm)}}{4.0} * 1.15$$

$$Tr \text{ (min)} = \frac{L_r \text{ (mm)}}{\text{Gasto por gotero (L h}^{-1}) * \text{Goteros por m}^2} * 60.0 = \frac{L_r}{0.5 * 8.3} * 60.0$$

De acuerdo con los rangos de valores de ET observados, la L_r varió desde 0.3 hasta 1.3 mm y los correspondientes Tr desde 4.3 hasta 18.8 minutos.

FERTILIZACIÓN

La fertilización se lleva a cabo en el agua de riego mediante una solución nutritiva que contiene los elementos esenciales para el crecimiento de la planta. El agua de riego debe de analizarse químicamente para conocer su pH, conductividad eléctrica, concentración de bicarbonatos y nutrientes, los cuales se tomarán en cuenta en la preparación de la solución. La solución debe tener un pH entre 6 a 6.5 para propiciar la buena absorción de los nutrientes y evitar deficiencias de ellos en el cultivo. El ajuste del pH se puede hacer mediante la aplicación de ácido fosfórico o ácido nítrico, cuya aportación de P y N deberá tomarse en cuenta.

En el CENID RASPA se desarrollaron estudios durante dos años sobre soluciones nutritivas equilibradas para la nutrición del chile habanero (Villa *et al.*, 2010; Villa *et al.*, 2011). Esas soluciones consistieron desde 12 hasta 25 meq L⁻¹ y los rendimientos variaron desde 0.532 kg m⁻² hasta 3.129 kg m⁻². De los resultados encontrados se tiene que con la aplicación de una solución nutrimental equilibrada de 15 y 17 meq L⁻¹ durante las etapas de trasplante a inicio de floración y de inicio de floración al final del ciclo se obtienen los rendimientos más altos.

En los Cuadros 3 y 4 se presentan los componentes de la solución nutrimental así como los porcentajes de cada anión y catión. Para la preparación de la solución nutrimental se usan fertilizantes comerciales como nitrato de potasio, nitrato de magnesio, nitrato de calcio, monofosfato de potasio, nitrato de amonio y ácido fosfórico. También se utilizan quelatos comerciales para la aportación de microelementos. Durante la preparación de la solución nutrimental debe evitarse las mezclas de fertilizantes que contengan calcio con los que incluyan al fósforo y a los sulfatos ya que estos forman compuestos que se precipitan y la planta no puede absorber.

Cuadro 3. Solución nutritiva para chile habanero

Período de desarrollo	Solución nutrimental (meq L ⁻¹)	Concen tración	Iones					
			NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Trasplante a inicio de floración	15	%	0.75	0.15	0.10	0.34	0.42	0.24
		meq L ⁻¹	11.25	2.25	1.50	5.10	6.30	3.60
Inicio de floración a última cosecha	17	%	0.75	0.15	0.10	0.33	0.45	0.22
		meq L ⁻¹	12.75	2.55	1.70	5.61	7.65	3.74

Cuadro 4. Concentración de micronutrientes en la solución nutritiva durante todo el ciclo de cultivo.

Nutrimiento	Concentración (mg L ⁻¹)
Boro (B)	0.3
Cobre (Cu)	0.2
Fierro (Fe)	4.0
Manganeso	1.0
Molibdeno	0.1
Zinc	0.4

LABORES CULTURALES

Poda

La poda de formación se hace para delimitar el número de tallos con los que se desarrollará la planta. En el CENID RASPA se ha trabajado con el sistema de poda a dos, tres y cuatro tallos por planta. Los mejores resultados en cuanto a rendimiento de fruto, se obtuvieron con tres tallos por planta ((Villa *et al.*, 2013, Cuadros 5). La poda se lleva a cabo cuando las plantas tienen las ramas necesarias para dejar los tres tallos y se hace a partir de la primera bifurcación. En caso de que la planta sólo tenga dos tallos principales

se selecciona una rama alterna que tenga un aspecto fuerte, la cual se escogerá como el tercer tallo. Las hojas y brotes debajo de la bifurcación principal se retiran con el objetivo de evitar que las plantas gasten energía y nutrientes; los cuales son necesarios para el crecimiento vegetativo y de órganos fructíferos (Figuras 27 y 28). Se usan tijeras desinfectadas con una solución clorada al 10% para llevar a cabo esta práctica para evitar la transmisión de enfermedades.

Una vez desarrolladas las ramas laterales o tallos secundarios se dejan cuatro nudos y se les corta el punto de crecimiento. También durante el ciclo del cultivo se cortan los brotes nuevos en la parte inferior de los tallos.



Figura. 27. Poda de brotes debajo de la bifurcación



Figura. 28. Poda de formación a tres tallos principales

Cuadro 5. Medias del rendimiento total y componentes del rendimiento de fruto de chile habanero obtenidos en un estudio de podas realizado en el CENID RASPA 2012. El período de cosecha comprendió del 17 julio a 18 de diciembre y se llevaron a cabo 18 cosechas.

Poda	Media [†] (kg m ⁻²)	Peso de fruto (g)	Largo de fruto (cm)	Ancho de fruto (cm)
P1 (dos tallos)	4.667 b	9.40 a	4.24 a	2.95 a
P2 (tres tallos)	5.371 a	9.83 a	4.30 a	3.02 a
P3 (cuatro tallos)	4.596 b	9.52 a	4.12 a	2.97 a

[†] Medias seguidas por la misma letra dentro de las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey = 0.05).

Deshojado

El deshojado consiste en quitar las hojas que están por debajo de la bifurcación de los tallos, las que van senesciendo y las que están enfermas. Esto se hace con el fin de lograr una mejor ventilación y evitar la propagación de enfermedades.

Aporcado

Esta práctica se recomienda cuando se usa arena como sustrato y en superficies grandes. Consiste en cubrir con arena parte del tronco de la planta para reforzar su base y favorecer el desarrollo radicular (Figura 29). Se hace en las horas de menor incidencia del sol para evitar el riesgo de quemaduras por sobrecalentamiento de la arena.



Figura. 29. Aporque de plantas de chile habanero en sustrato de arena

Entutorado

El entutorado se lleva a cabo para mantener erguida a la planta y evitar que se quiebren las ramas. Se hace después de la poda de formación y se utiliza hilo de rafia y arillos de plástico. Cada tallo es guiado con un hilo el cual se sujeta en la parte alta de la estructura del invernadero; los arillos de plástico se usan para sujetar el tallo con la rafia (Figura 30). Esta actividad facilita las labores de cultivo, favorece la aireación de la planta y el aprovechamiento de la luz lo que repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades.



Figura. 30. Entutorado de chile habanero usando rafia y arillos de plástico.

PLAGAS

Son varias las plagas que pueden atacar al chile habanero, las cuales deben de controlarse para evitar pérdidas en la cosecha. Entre las principales y las que se han presentado en el invernadero se encuentran la araña roja, araña blanca, pulgones, paratrioza, trips, minador y gusanos de diferente especie. A continuación se describen cada una de ellas así como algunas recomendaciones para su control:

Araña roja (*Tetranychus urticae*, Koch).

Esta plaga se ve a simple vista, es de color amarill verdoso en su estado juvenil y rojo en su estado adulto. Se desarrolla en el envés de las hojas causando decoloraciones, punteaduras o manchas amarillentas que pueden apreciarse en el haz como primeros síntomas. Con mayores poblaciones se produce desecación o incluso defoliación. Las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de esta plaga son las temperaturas elevadas, la escasa humedad relativa y las tolvaneras.

Control preventivo y técnicas culturales. Desinfección de estructuras y sustrato previa a la plantación, eliminación de malas hierbas y restos de cultivo para evitar plantas y materiales hospedantes. Evitar los excesos de nitrógeno. Observaciones periódicas del cultivo durante las primeras fases del desarrollo para su control oportuno.

Control biológico. Las principales especies depredadoras de huevos, larvas y adultos de araña roja son: *Amblyseius californicus*, *Phytoseiulus persimilis* y *Feltiella acarisuga*, *Amblyseius andersoni* (RAIF, 2013).

Control químico. Se lleva a cabo mediante la aplicación de pesticidas, en los trabajos del CENID se ha hecho buen control con la aplicación de abamectina a razón de 0.6 mL por L de agua, o azufre (Velsul): 2.5 a 3 mL por L de agua.

Araña blanca (*Poliphagotarsonemus latus*, Banks)

Este ácaro se ha vuelto una de las plagas del chile de importancia económica en los últimos diez años. Los huevecillos son ovipositados en el envés de las hojas en forma aislada, los adultos son muy pequeños, difíciles de ver a simple vista, son de forma redondeada y de color amarillento. Los primeros síntomas se aprecian como rizado de los nervios en las hojas apicales y brotes, y curvaturas de las hojas más desarrolladas (Figura 31). En ataques más avanzados se produce enanismo y una coloración verde intensa de las plantas. En ataques severos causan la caída de las hojas terminales y de estructuras fructíferas. Su ataque aunque puede ser en etapas tempranas es más frecuente durante la floración o la formación de frutos. Los síntomas del daño pueden confundirse con los producidos por los virus o deficiencias minerales. Se distribuye por focos dentro del invernadero, aunque se dispersa rápidamente en épocas calurosas y secas (Jurado y Nieto, 2003).



Figura 31. Hojas de chile habanero dañadas por araña blanca.

Control preventivo y técnicas culturales. Las mismas que para araña roja.

Control biológico. Existen diversos depredadores de huevos larvas y adultos del ácaro blanco entre los que destacan: *Stethorus spp.*, *Phytoseiulus persimilis*, *Orius spp* (<http://saulbuelna.galeon.com/ACAROBLANCO.htm>, 2013).

Control químico. Se recomienda muestrear periódicamente el cultivo para detectar en forma temprana sus daños y decidir su control. El cual debe de hacerse al observar las primeras plantas con los síntomas de enrollamiento de hojas y brotes terminales, ya que esta plaga se multiplican rápidamente. En los estudios llevados a cabo en el CENID RASPA se tuvieron daños de esta plaga los cuales se controlaron mediante la aplicación de los siguientes productos:

Abamectina: 0.6 mL por L de agua

Azufre (Velsul): 2.5 a 3 mL por L de agua

Mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*)

Los adultos colonizan las partes jóvenes de las plantas, los huevecillos son ovipositados en el envés de las hojas. De ellos emergen las primeras ninfas, que son móviles; tras fijarse en la planta pasan por cuatro estados ninfales. Los daños directos son ocasionados por las ninfas y adultos que absorben la savia de las hojas y ocasionan amarillamiento y debilitamiento de la planta que llegan a caer cuando el daño es severo. Los daños indirectos se deben a la gran secreción de mielecilla, en la cual se desarrolla el hongo *Cladosporium sp.*, el cual cubre hojas y frutos que disminuye la calidad de la cosecha (Figura 32). Ambos tipos de daño se vuelven importantes cuando los niveles de población son altos (Davidson *et al.*, 1994).

Otros daños indirectos importantes se producen por la transmisión de virus. *Trialeurodes vaporariorum* es transmisor del virus del amarillamiento de las cucurbitáceas. *Bemisia tabaci* es potencialmente transmisora de un mayor número de virus entre los que destacan el virus del rizado amarillo conocido como "virus de la cuchara". Las condiciones secas son las favorables para el desarrollo de la mosca blanca (Cortez y Pérez, 2003).



Figura 32. Mosquita blanca en chile habanero

Control preventivo y técnicas culturales. Entre las medidas preventivas se pueden mencionar las siguientes:

- Colocación de mallas en las bandas de los invernaderos
- Limpieza de malas hierbas y restos de cultivos hospederos
- No asociar cultivos en el mismo invernadero
- Colocación de trampas cromáticas amarillas

Control biológico utilizando enemigos naturales

Existen por lo menos seis parasitoides que pueden controlar a la mosquita blanca, ellos son los microhimenópteros de la familia *Aphelinidae* *Encarsia haitiensis* Dozier, *Encarsia luteola* How, *Encarsia porteri* (Mercet), *Encarsia lycopersici* De Santis, *Eretmocerus corni* Hald y *Encarsia formosa* Gahan. Esta última especie es la más eficiente bajo condición de invernadero, alcanzando a las siete semanas de su liberación niveles hasta el 95% de eficacia (Albajes y Alomar, 1999; http://www.inia.cl/entomologia/p_tomate_invern/m_blanca5.htm). También la chinche *Geocoris spp.*, es un predator importante de la mosquita blanca.

Control químico

Para lograr un buen control de la mosquita blanca se recomienda hacer muestreos frecuentes al follaje para determinar la aparición de los primeros brotes. El mejor momento de aplicación de insecticidas es cuando la mosquita

se encuentra en las etapas de desarrollo de emergencia del primer instar de las ninfas y emergencia de los adultos. Existen en el mercado insecticidas que controlan mejor en el estado de ninfa y otros en la etapa de adulto. Es por ello que algunas veces se deben mezclar o bien alternar insecticidas para lograr un mejor control, además se evita que la mosquita blanca desarrolle resistencia a ellos (Cruz y Díaz, 1992). Algunos productos que se pueden usar son los siguientes:

Imidacloprid (confidor): 1 -1.5 L por ha

Bifenthrina 20% (Starion): 0.2 – 0.3 L por ha

Acetamiprid (Rescate 20 PS) : 0.150 – 0.350 kg por ha

Pyriproxyfen (Admiral): 1.0 L por ha

Thiamethoxam (Actara 25 WP): 20 g en 100 L de agua

Pulgón (*Aphis gossypii*, Sulzer y *Myzus persicae*, Glover)

Aphis gossypii y *Myzus persicae* son las especies de pulgón más comunes y abundantes en los invernaderos. Presentan polimorfismo, con hembras aladas y ápteras de reproducción vivípara. La forma áptera (sin alas) de *Aphis* presenta sifones negros en el cuerpo verde o amarillento, mientras que las de *Myzus* son completamente verdes (en ocasiones pardas o rosadas). Tanto los adultos como las ninfas viven en colonias, en el envés de las hojas terminales y en los brotes, y en altas infestaciones, invaden las hojas más maduras. Al alimentarse succionan savia e inyectan una saliva tóxica que provoca enrollamiento de las hojas, disminuyendo el vigor de la planta (Figura 33). También al alimentarse secretan una sustancia azucarada tipo mielecilla, en la cual crece un hongo (fumagina) que causa un ennegrecimiento de las hojas, que afecta la fotosíntesis. Un daño secundario de mucha importancia es que actúan como vectores de enfermedades virales. Entre los que se encuentran el virus del mosaico de las cucurbitáceas (VMC), el virus Y de la papa (PVY) y virus del mosaico del tabaco (VMT), entre otros. Por esta razón se recomienda efectuar un combate continuo de ellos.

Control preventivo y técnicas culturales. Las medidas preventivas para retrasar la aparición del pulgón consisten en: eliminación de malas hierbas y restos del cultivo anterior, colocación de trampas cromáticas amarillas.



Figura. 33. Pulgones y daño en hojas de chile habanero.

Control biológico utilizando enemigos naturales. Existen enemigos naturales que en determinadas circunstancias controlan a los pulgones en forma eficiente, encontrándose los siguientes depredadores: *Hippodamia convergens*, *Chrysopa spp.*, *Lysiphlebus testaceipes*, *Geocoris spp.*

Control químico. Es importante controlar el pulgón en los primeros días de desarrollo de las plántulas y al igual que en la mosca blanca se recomiendan los tratamientos a la semilla mediante la aplicación de Imidacloprid. En la época seca o en condiciones de sequía, las poblaciones de pulgón pueden alcanzar altas tasas y provocar fuertes daños aún a las plantas que están en una mayor etapa de desarrollo. Se recomiendan los siguientes productos:

Imidacloprid (Confidor) : 0.75- 1.0 L por ha

Thiamethoxam (Actara 25 WP): 10 g en 100 L de agua

Acetamiprid (Rescate 20 PS) : 0.150–0.350 kg por ha

Azadiractina: 0.500-1.00 L por ha

Paratrioza o pulgón saltador (*Bactericera cockerelli* Sulc.)

Es un insecto que pasa por los estados de huevecillo, ninfa (cinco estadios) y adulto. Produce daños directos e indirectos. Los primeros se deben a la succión de la savia de las plantas hospederas y a la inyección de su saliva provocando efectos tóxicos. Lo anterior trae como consecuencia que las plantas se tornen amarillentas y raquílicas afectando el rendimiento y la calidad de frutos. El daño indirecto es a través de la transmisión de fitoplasmas o microorganismos tipo bacteria asociados a enfermedades. Tales como la punta morada de la papa o permanente del tomate (Garzón, 2002).

Control preventivo y técnicas culturales. Se pueden aplicar las mismas que se usan para el control de pulgón.

Control biológico utilizando enemigos naturales. Existen diversos entomopatógenos y depredadores que afectan a la población de la paratrioza. Dentro de los primeros se encuentran *Paecilomyces fumosoroseus*, *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*. En caso de los depredadores se encuentran el león de los áfidos (*Chrysoperla ssp.*), la catarinita roja (*Hippodamia convergens*) y por las larvas de la avispa *Tamarixia triozae* (Comité estatal de sanidad vegetal del estado de México, 2013).

Control químico. Se logra un buen control con los mismos insecticidas que se usan para controlar pulgón.

Trips (*Frankliniella occidentales*, Pergande, *Trips palmi* Karny)

Los adultos colonizan los cultivos realizando la oviposición dentro de los tejidos vegetales en hojas, frutos y, preferentemente, en flores. En estas últimas se localizan los mayores niveles de población de adultos y larvas eclosionadas de los huevecillos. Los daños directos se producen por la alimentación de larvas y adultos, sobre todo en el envés de las hojas. Provocan espacios de aire entre los tejidos distorsión de hojas, brillo plateado en los órganos afectados que luego se necrosan (Figura 34). El daño indirecto es el que tiene mayor importancia ya que son transmisores del virus del bronceado del tomate (TSWV)(Cabello *et al.*, 1990).

Control preventivo y técnicas culturales: Entre las medidas preventivas se tienen las siguientes: colocación de mallas en las bandas del invernadero, erradicación de malas hierbas y restos de cultivo así como la colocación de trampas cromáticas azules.

Control biológico utilizando enemigos naturales. El principal enemigo natural de los trips es la chinche del género *Orius spp.* (Blom, *et al.*, 1997).

Control químico. Los siguientes insecticidas hacen un buen control del trips:

- Deltametrina: 0.40 L por ha
- Confidor: 0.75 L por ha
- Thiamethoxam (Actara 25 WP): 10 g en 100 L de agua



Figura 34. Larvas y daños en hojas por trips

Minador de la hoja (*Liriomyza spp*)

El adulto es una mosquita de color café o gris oscuro de aproximadamente 2 mm de longitud. Las larvas son muy pequeñas (1-2 mm de longitud) de color amarillo a café, se alimentan bajo la epidermis de las hojas formando un túnel delgado que se va ensanchando conforme la larva crece. A simple vista, sobre la hoja la galería aparece blanquecina y en forma de una serpentina (normalmente este es el indicio de la presencia de los minadores en la plantación, Figura 35). Este daño interfiere con la fotosíntesis y la transpiración de las plantas, de tal manera que si el daño se presenta en plantas jóvenes, se atrasa su desarrollo. Si el daño es severo en la época de fructificación, la planta se defolia exponiendo los frutos a quemadura de sol, lo que provoca pérdidas económicas. En épocas de alta humedad, la incidencia de esta plaga disminuye.

Control biológico. El minador es parasitado por la chinche el *Orius sp.*, el *Pteromalidae Habroctitus sp.* y por el *Eulophidae dyglyphus sp.*

Control químico. Se realiza con cualquiera de los productos siguientes:

Abamectina: 0.25 -0.50 L por ha

Azadiractina: 0.50-1.0 L por ha

Permetrina 250 EC: 0.200 a 0.400 L por ha



Figura. 35. Hojas de chile con túneles formados por larvas de *Liriomyza* spp.

Gusano soldado (*Spodoptera* spp)

La biología de estas especies es bastante similar, pasando por estados de huevo, cinco a seis estadios larvarios, pupa y adulto. Los huevos son depositados preferentemente en el envés de las hojas, en masas. Los daños son causados por las larvas al alimentarse de las hojas. La pupa se desarrolla en el suelo y los adultos son palomillas de hábitos nocturnos y crepusculares. Los daños ocasionados pueden ser al follaje o a los frutos. En la Figura 36 se muestran las etapas de huevecillo, larva y algunos daños al follaje.



Figura 36. Masas de huevecillos y larvas de *Spodoptera* spp

Control preventivo y técnicas culturales

Colocación de mallas en las bandas del invernadero

Eliminación de malas hierbas y restos de cultivo

En fuertes ataques, eliminar y destruir las hojas bajas de la planta

Colocación de trampas de feromonas y trampas de luz

Vigilar los primeros estados de desarrollo de los cultivos, en los que se pueden producir daños irreversibles.

Control biológico mediante enemigos naturales

Patógenos autóctonos: Virus de la poliedrosis nuclear de *S. exigua*, chinche *Geocoris spp* que se alimenta de huevecillos y larvas en sus primeros estadios.

Productos biológicos: *Bacillus thuringiensis* Kurstaaki 11.8% (11.8 mill. de u.i.), presentado como suspensión concentrada con una dosis de 0.75-2 L por ha.

Control químico

Cipermetrina: 0.300–0.500 L por ha

Permetrina: 0.300–0.500 L por ha

Deltametrina: 0.300-0.500 L por ha

Lannate: 0.250–0.400 kg por ha

ENFERMEDADES

Fumagina

Es una enfermedad que prospera sobre las excreciones de insectos chupadores como pulgones o mosquita blanca. Se presenta como una capa de hollín oscuro sobre las ramas, hojas y frutos (como si la planta estuviera sucia, Figura 37). El hongo interrumpe el proceso de fotosíntesis debido a que dificulta la llegada de luz a las hojas.

Control. Para su control se aconseja combatir primero la mosca blanca y los pulgones lo que producirá la muerte del hongo, al no tener de que alimentarse. En caso de persistir se puede aplicar Azufer 71 (azufre) a razón de 2.5 - 7.5 g por litro de agua.



Figura 37. Hojas y frutos de chile habanero dañados por fumagina

Mancha bacteriana

Enfermedad causada por la bacteria *Xanthomona vesicatoria*, puede presentarse en todas las partes de la planta (hojas, frutos y tallos). Los primeros síntomas son manchas acuosas circulares que se presentan en las hojas, estas manchas se necrosan, con centros de color café y bordes cloróticos delgados (Figura 38). Por lo general las lesiones están ligeramente hundidas en el envés de la hoja y levantadas en el haz de la misma. Las manchas foliares más severas cambian a un color amarillento y la defoliación es común. En los frutos, la infección comienza como pequeños puntos negros levantados que pueden estar rodeados de un halo blanco, de apariencia grasa. Estas lesiones pueden agrandarse hasta alcanzar entre 4 y 5 mm de diámetro y se tornan de color negro, ligeramente protuberantes y costrosas.



Figura 38. Hojas de chile habanero con mancha bacteriana causada por *Xanthomona vesicatoria*.

La bacteria puede sobrevivir en restos de cultivos, semillas o malezas. La infección generalmente se produce a través de lesiones mecánicas, como las causadas especialmente por herramientas, insectos, vientos y pulverización a alta presión. Las temperaturas (24 a 30° C) junto con el riego por aspersión o por muchas lluvias, favorecen el desarrollo de la enfermedad, razón por lo que es muy prolífica en ambientes tropicales y principalmente en época lluviosa.

Métodos preventivos y técnicas culturales

- Uso de semillas y de plántulas sanas
- Uso de malla anti-insectos, reduce la deposición de esporas sobre la plántula
- Las pulverizaciones de cobre proporcionan un nivel moderado de protección
- Buena ventilación del invernadero
- Mantener libre de malezas el cultivo
- Evitar el encharcamiento en el cultivo
- Drenar el terreno ya que el agua es la principal fuente de contaminación

Control químico

- Oxitetraciclina: 0.5 kg por ha
- Hidróxido de cobre: 1.43 kg por ha
- Sulfato de cobre: 0.28 L por ha

Marchitez (*Phytophthora capsici* Leo.)

El síntoma más común de la enfermedad es un marchitamiento general o parcial, el daño se puede presentar en cualquier parte de la planta y en cualquier estado de desarrollo. Cuando el ataque es en la raíz, el marchitamiento es general; ya que destruye el xilema y floema impidiendo el paso de agua y nutrientes a la parte aérea de la planta. Al inicio se observa una marchitez parcial y después de tres a cuatro días la marchitez es completa (Mendoza, 1996). Este fenómeno se presenta tan rápido que las hojas pierden su turgencia y cuelgan pero conservan su color verde. Si la infección ocurre en una rama, en las hojas o en los frutos, la marchitez es parcial, aunque bajo condiciones ambientales favorables se extiende a toda la planta. En hojas y ramas se desarrollan tizones, en frutos se desarrollan manchas acuosas cubiertas por el micelio del hongo. Los frutos quedan adheridos a la planta y frecuentemente se observa el micelio de color blanco que cubre las semillas podridas en el interior del fruto. El patógeno sobrevive

de una estación a otro en los residuos de cosecha. Las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de la enfermedad son alta humedad del suelo y temperaturas frescas.

Métodos preventivos y técnicas culturales

Desinfección del sustrato

Tratamiento químico a la semilla

Uso de trasplantes sanos

Eliminación de malezas

Rotación de cultivos por más de tres años

Manejo adecuado del agua de riego, evitar encharcamientos

Sustratos con buen drenaje

Desinfección de herramientas de trabajo

Eliminación de plantas enfermas y residuos de cosecha

Control biológico

De estudios realizados en diferentes tipos de chile, se ha encontrado que el hongo *Trichoderma harzianum* tiene capacidad antagónica contra el desarrollo de *Phytophthora sp.*, Se han logrado reducciones de la incidencia de este hongo desde un 25% hasta un 65% (Ezziyani *et al.*, 2004). Los tratamientos se hacen a la semilla y a la planta. También se ha trabajado con la bacteria *Burkholderia cepacia* como agente de biocontrol de *P. capsici* al tratar a la semilla de chile (Ezziyani *et al.*, 2004).

Control químico

Ridomil Gold Bravo (Metalaxil-M+Clorotalonil) en dosis de 2.5 a 3.5 L ha⁻¹
Alette WDG (Fosetil aluminio) en dosis de 2.5 L ha⁻¹

Marchitez o pudrición (*Rhizoctonia solani* Kúhn)

Rhizoctonia solani, es parte del complejo de hongos que provocan el "damping off", o caída de plántulas como consecuencia del estrangulamiento y necrosis del tallo a nivel de cuello en plantas recién emergidas. En plantas adultas los síntomas se caracterizan por presentar lesiones cóncavas de color pardo rojizo que aparecen en el tallo y en la raíz principal. Los suelos muy húmedos, con un drenaje pobre favorecen el desarrollo del hongo.

Métodos preventivos y técnicas culturales

Son los mismos recomendados que el control de *Phytophthora capsici*

Control biológico

De estudios realizados en diferentes tipos de chile, se ha encontrado que el hongo *Trichoderma harzianum* tiene capacidad antagónica contra el desarrollo de *Rhizoctonia solani*. También se ha encontrado que bacterias del género *Bacillus* sp. reducen la incidencia de *R. solani* (Guillén-Cruz et al., 2006).

Control químico

El control químico puede ser efectivo durante la etapa de plántula, pero es difícil lograr un control en plantas adultas. Por esta razón se recomienda tratar a la semilla antes de la siembra con fungicidas como el Thiram o Captán. En la etapa de plántula pueden usarse los fungicidas Previcur N (Propamocarb clorhidrato) + Derosal (carbendazim) a dosis de 1 a 2.0 + 0.5 mL por litro de agua, respectivamente. En caso de presentarse la enfermedad en plantas adultas se deben de retirar las plantas enfermas y quemarlas.

Marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*, *F.lycopersici*)

El patógeno invade el sistema vascular causando marchitez, clorosis y necrosis foliar. Los primeros síntomas se observan en las hojas basales como un amarillamiento unilateral, posteriormente las hojas se marchitan, se secan pero permanecen adheridas a la planta. Esta sintomatología va progresando hacia la parte superior de la planta. Las raíces principales y la base del tallo presentan necrosis vascular; al cortar transversal o longitudinalmente los tallos enfermos o la base de los peciolo se observa un necrosamiento de los vasos del xilema. La diseminación se realiza mediante semillas, viento, labores del suelo, plantas enfermas o herramientas contaminadas. Las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad son temperaturas entre los 25 y 32 °C, con una temperatura óptima de desarrollo de 28 °C, y alta humedad del sustrato (Sánchez, 2013). El hongo puede permanecer en el suelo durante años y penetrar a través de las raíces hasta el sistema vascular.

Métodos preventivos y técnicas culturales

Las mismas que para *Phytophthora capsici*

Control biológico

Se lleva a cabo mediante la aplicación de microorganismos antagonistas para el desarrollo de *Fusarium oxysporum* y *F.lycopersic*. Entre ellos se encuentran los hongos *Trichoderma harzianum*, *T.koningii* y *Penicillium oxalicum* (De Cal *et al.*, 2004; González *et al.*, 2004). Estos se recomiendan aplicarlos en la etapa del almácigo y posteriormente en el sustrato donde se lleva a cabo la plantación. También se ha encontrado que las bacterias *Pseudomonas fluorescens* y *Serratia plymuthica* disminuyen la incidencia y severidad de la marchitez causada por *Fusarium spp* (<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1374s/a1374s05.pdf>).

Control químico

El control químico de esta enfermedad es complicado ya que se requiere de un control integral para lograr buenos resultados. Sin embargo, existen algunos fungicidas que se pueden aplicar para detener el incremento de la enfermedad. Entre ellos se tienen al Ridomol-MZ 63,5 WP (Metalaxyl 7,5% + Mancozeb 56%) a dosis de 1.5 kg por ha aplicados en el agua de riego, el período entre la última aplicación y la cosecha es de 28 días. Previcur 72 SL (Propamocarb) a dosis de 1.0 a 2.0 L por ha en aplicaciones foliares dirigidas al cuello de la raíz.

RECOMENDACIONES GENERALES PARA REDUCIR PLAGAS Y ENFERMEDADES

Evitar la entrada directa al invernadero con la construcción de un cubículo anterior al invernadero (Figura 39).



Figura 39. Invernadero con cubículo anterior

Desinfectar las suelas de los zapatos antes de entrar al invernadero en una fosa de desinfección conteniendo una solución de hipoclorito de sodio al 10% (Figura 40).



Figura 40. Fosa de desinfección a la entrada del invernadero

Evitar la entrada de personas ajenas al invernadero.

Prohibir fumar dentro del invernadero

Lavado de manos con agua y jabón de toda persona que entre al invernadero

Desinfectar de forma periódica las herramientas usadas en el invernadero con una solución de hipoclorito de sodio al 10%.

Mantener libre de malezas dentro y alrededor del invernadero

FISIOPATÍAS

Los frutos pueden desarrollar desórdenes fisiológicos que son causados principalmente por estrés ambiental durante el desarrollo del fruto. Dentro de esos desórdenes se encuentran los frutos con infrutescencias o formación de pequeños frutos en el interior del fruto (Figura 41). Esta malformación puede ser de origen genético o por condiciones ambientales desfavorables. También se tiene la malformación de frutos debido al efecto de bajas temperaturas (Figura 42).



Figura. 41. Fruto con infrutescencias



Figura. 42. Frutos dañados por bajas temperaturas

COSECHA

La cosecha se lleva a cabo cuando el fruto tiene una consistencia firme y presenta el color característico del material genético (Figura 43). La primera cosecha se realiza de los 75 a los 84 días después del trasplante y se hacen hasta 18 cosechas con intervalos de siete a diez días. El rendimiento total de fruto puede alcanzar hasta 62 ton ha^{-1} , el peso de fruto individual fluctúa entre 8.5 a 10 g, mientras que el largo y ancho del fruto es de 4 a 5 cm y 2.7 a 4.5 cm, respectivamente.



Figura 43. Cosecha de fruto

BIBLIOGRAFÍA

- Albajes, R. and O. Alomar. 1999. Current and potential use of polyphagous predators. En: Albajes, R., Gullino, M.L., van Lenteren, J.C. & Elad, I. (Eds.), Integrated pest and disease management in greenhouse crops. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Alvarado V. M. A. y J. A. Solano S. 2002. Producción de sustratos para viveros.
<http://croprotection.webs.upv.es/documentos/Compostaje/Sustratos-para-Viveros.pdf>.
- Ansorena-Miner, J. 1994. Sustratos: Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-Prensa, España. 172 pg.
- Bunt, A.C. 1988. Media and Mixes for Container-grown Plants. Unwin Hyman Ltd.,
- Aragón P. De L., L.H. 1995. Factibilidades Agrícolas y Forestales en la República Mexicana. Ed. Trillas. México, D.F. 177p.
- Blom, J. Van Der, M. Ramos Ramos and W. Ravensberg. 1997. Biological pest control in sweet pepper in Spain: Introduction rates of predators of *Frankliniella occidentalis*. *Bull. OILB srop* 20 (4): 196-201.
- Bosland, P.W. 1996. Capsicums: Innovative uses of an ancient crop. p. 479-487. In: J. Janick (ed.), Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA.

- Cabello, T., M. M. Abad y F. Pascual. 1990. Capturas de *Frankliniella occidentalis* (Thys.: Thripidae) en trampas adhesivas de distintos colores en cultivos en invernaderos del SE. de España. *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas* 17: 265-270.
- Catalán V., E.A.; Villa C., M.M.; Inzunza I., M.A.; Román L., A. y González B., J.L. 2012. Cálculo de demandas de agua y programación del riego de cultivos en Coahuila. *AGROFAZ*: 12: 123-131.
- Catalán V., E.A.; Villa C., M.M.; Inzunza I., M.A.; Román L., A.; González B., J.L. y Delgado R., G. 2013. IRRINET: Sistema en línea para el pronóstico del riego en tiempo real en Coahuila. *AGROFAZ*: 13: 59-68.
- Comité estatal de sanidad vegetal del estado de México. 2013. Manejo integrado de la paratrioza. <http://www.cesavem.org/divulgacion/paratrioza/FOLLETO%20PARATRIOZA.pdf>.
- Edgardo Cortez M. E. y J. Pérez M. 2013. Manejo integrado de mosquita blanca. pp. 53-84. En memorias de curso de plagas y enfermedades en hortalizas. Fundación Produce de Sinaloa A. C. http://www.fps.org.mx/divulgacion/index.php?option=com_content&view=article&id=874:curso-de-plagas-y-enfermedades-en-hortalizas&catid=133:hortalizas&Itemid=410. Consultado 13 Julio 2013.
- Cremades M. M. 2005. Factores implicados en el desarrollo de la plántula: Sustratos. pp 91-113. En Cuadrado G. I. M, García G. M. del C. y Fernández F. Ma. M. (Eds). Curso de especialización. Dirección Técnica de semilleros hortícolas. Almería España.
- Cruz R. L. y M. Díaz P. 1992. Susceptibilidad a insecticidas de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn.) (Homóptera: Aleyrodidae) procedente de la región hortícola de Piedras Negras, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 18. Villa Úrsulo Galván, Veracruz. 73 p.
- Davidson, E. W., B. J. Segura, T. Steele and D. L. Hendrix. 1994. Microorganisms influence the composition of honeydew produced by silverleaf whitefly *Bemisia argentifolii*. *J. Insect. Physiol.* 40: 1069-1076.
- De Cal A., I. Larena, P. Sabuquillo, P. Melgarejo. 2004. Control de la marchitez vascular del tomate mediante aplicación de biofungicidas. <http://www.horticom.com/pd/imagenes/56/474/56474.html>.
- Ezziyyani, M., S.C. Pérez, M. E. Requema, A. A. Sid y M.E. Candela. 2004. Evaluación del biocontrol de *Phthophthora capsici* en pimiento (*Capsicum*

- annuum* L.) por tratamiento con *Burkholderia cepacia*. Anales de Biología 26: 61-68.
- Ezziyiani, M., S.C. Pérez, A. A. Sid, M. E. Requema, y M.E. Candela. 2004. *Trichoderma harzianum* como biofungicida para el control de *Phytophthora capsici* en plantas de pimiento (*Capsicum annum* L.). Anales de Biología 26: 35-45.
- FAO. 1994. ECOCROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Versión 1.0.AGLS.FAO. Rome, Italy.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy.
- <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1374s/a1374s05.pdf>. Manejo integrado de enfermedades. Consultado el 10 de noviembre del 2013.
- Garzón, J. A. 2002. Asociación de *Paratrypanosoma cockerelli* Sulc. con enfermedades en papa (*Solanum tuberosum*) y tomate (*Lycopersicon lycopersicum* Mil. Ex. Fawnl) en México”, en Memoria del Taller sobre *Paratrypanosoma cockerelli* (Sulc.) como plaga y vector de fitoplasmas en hortalizas. Culiacán, Sinaloa, México. 79–87 pp.
- González, R.; J. Montealegre y R. Herrera, R. 2004. Control Biológico de *Fusarium solani* en tomate mediante el empleo de los bioantagonistas *Paenibacillus lentimorbus* y *Trichoderma* spp. Ciencia e Investigación Agraria. 31(1):21-28.
- Guillén-Cruz R., F. D. Hernández-Castillo, G. Gallegos-Morales, R. Rodríguez-Herrera, C. N. Aguilar-González, E. Padrón-Corral, M. h. Reyes-Valdés. 2006. *Bacillus* spp. como biocontrol en un suelo infestado con *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* Kühn y *Phytophthora capsici* Leonian y su efecto en el desarrollo y rendimiento del cultivo de chile (*Capsicum annum* L.). Rev. Mex. de Fitopatología. 24(2):105-114.
- http://www.inia.cl/entomologia/p_tomate_invern/m_blanca5.htm. Control preventivo de mosquita blanca. Consultado el 26 de marzo del 2013.
- <http://saulbuelna.galeon.com/ACAROBLANCO.htm>. Ácaro blanco. Consultado el 10 de octubre del 2013).
- Jensen M. H. and A. J. Malter. 1995. Protected agriculture a global review. World Bank Technical Paper Number 253. Washington, D. C. USA.

- Jurado R. A., M.N. Nieto Q. 2003. El cultivo de pimiento bajo invernadero. p 541-563. En Camacho Ferre F. (Coord). Técnicas de producción de en cultivos protegidos. Instituto de estudios de Cajamar. España-
- Long-Solís, J. 1998. Capsicum y cultura: La historia del chile. México. Fondo de Cultura Económica. 2ª. Edición. pp. 77-78.
- Macías R. H., E. Romero Fierro y J. Martínez Saldaña. 2003. Invernaderos de Plástico. p. 131-163. En Sánchez Cohen I. (Ed) Agricultura protegida. INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio, Dgo.
- Mendoza, Z.C. 1996. Enfermedades fungosas de hortalizas. Universidad Autónoma de Chapingo. Parasitología Agrícola. México. 85 p.
- Muñoz-Ramos J. J. 2003. El cultivo de pimiento en invernadero. p 263-297.. En J. J. Muñoz-Ramos y J. Z. Castellanos (Eds). Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México.
- Ramírez, J. G., B. W, Avilés., E. R. Dzip. 2006. Áreas con Potencial Productivo para Chile Habanero (*Capsicum chinense*, Jacq) en el Estado de Yucatán. En: Primera Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. INIFAP, COFUPRO, CICY, AMEAS y OTRAS INSTITUCIONES. Mérida, Yucatán, Mexico. 66 pag.
- Ramírez, J., G., S. Góngora, G., L.A. Pérez, M., R. Dzib, E.R., C. Leyva, M. y I. R. Islas, F. 2005. Síntesis de oportunidades e información estratégica para fijar prioridades de investigación y transferencia de tecnología en Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). En: Estudio estratégico de la Cadena Agroindustrial: Chile habanero. INIFAP, SAGARPA, ASERCA, CIATEJ, UNACH, CICY, OTTRAS. Mérida, Yucatán, México. 23p.
- Raviv M., R. Wallach, A. Silber and A. Bar-Tal. 2002. Substrates and their analysis. <http://www.fao.org/hortivar/scis/doc/publ/8.pdf>.
- Red de alerta e información fitosanitaria (RAIF). 213. Principales depredadores de la araña roja (*Tetranychus urticae*) en el cultivo de la fresa. <http://www.besana.es/es/web/201211/principales-depredadores-arana-roja-cultivo-fresa>.
- Robledo de P. F y V. L. Martín. 1988. Aplicación de los plásticos en la agricultura. 2ª Edición Mundi-Prensa. Madrid, España. 624p.
- Robbins J. A. and M. R. Evans. 2013. Growing media for container production in a greenhouse or nursery. <http://www.uaex.edu/publications/pdf/FSA-6097.pdf>.

- Salazar-Olivo, L. A. y C. O. Silva-Ortega. 2004. Efectos farmacológicos de la capsaicina, el principio pungente del chile. *Biología Scripta* 1: 7-14.
- Sánchez, C. M. A. 2013. Manejo de enfermedades del tomate. Curso del INCAPA Manejo integrado de plagas y enfermedades del tomate, chile y papa. <http://www.funprover.org/memorias.asp>. Consultado el 8 de noviembre del 2013
- SIAP-SAGARAPA. 2007. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadera, Desarrollo Rural Pesca. www.siap.gob.mx/.(consultado 23 enero 2013).
- Soria-Fregoso, M., J. A. Trejo-Rivero, J.M. Tun-Suárez y R. Terán-Saldivar. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero. SEP. DGETA. ITA-2.. Conkal, Yucatán, México.
- Terrés, V.L., A. Artetxe, A. Beunza, E. Sáins de la Maza and M. Lenzaun. 2001. Physical properties of the substrates. Proc. 5th IS Protect. Cult. Mild Winter Clim (eds) Fernández, Martínez & Castilla. *Acta Hort.* 559:663-668.
- Villa C. M., E. A. Catalán V., M. A. Inzunza I. A. Román L. y H. Macías R. 2010. Población de plantas y manejo de la solución nutritiva del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en invernadero. XXII Semana Internacional de Agronomía. pp. 569-573.
- Villa C. M., E. A. Catalán V., M. A. Inzunza I. A. Román L. y H. Macías R. 2011. Fitorreguladores del crecimiento y nutrición de plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en invernadero. AGROFAZ: 7-11.
- Villa C. M., E. A. Catalán V., M. A. Inzunza I. A. Román L. y H. Macías R. 2013. Podas y bioestimulantes en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo condiciones de invernadero. Memorias del XXXVIII Congreso de la SMCS, A.C. pp. 336-340.

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA EN LA RELACIÓN AGUA SUELO PLANTA ATMÓSFERA

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director

Ing. Armando Estrada González
Jefe de Operación

Lic. Flor Carina Espinoza Delgadillo
Jefe Administrativo

Personal Investigador

M.C. Palmira Bueno Hurtado

Dr. Ernesto Alonso Catalán Valencia

M.C. Julián Cerano Paredes

Ing. Vicenta Constante García

M.C. Gerardo Delgado Ramírez

M.C. Gerardo Esquivel Arriaga

Dr. Juan Estrada Ávalos

Dr. José Luis González Barrios

Dr. Guillermo González Cervantes

Dr. Marco Antonio Inzunza Ibarra

M.C. Rosario Jacobo Salcedo

Dra. Maritza Macías Corral

M.C. Hilario Macías Rodríguez

Dr. Jesús Arcadio Muñoz Villalobos

M.C. María del Carmen Potisek Talavera

M.C. Miguel Rivera González

M.C. Abel Román López

Dr. Ignacio Sánchez Cohen

M.C. Ramón Trucios Caciano

Dr. Miguel Agustín Velásquez Valle

Dra. Ma. Magdalena Villa Castorena

Dr. José Villanueva Díaz

www.INIFAP.GOB.MX

El cultivo bajo invernadero es una opción de producción que permite proteger a las cosechas de factores ambientales adversos. Tales como, temperaturas extremas, precipitación intensa, baja humedad relativa y radiación solar intensa. También con este sistema de producción es posible tener un mejor control de las plagas y enfermedades, lo cual ayuda para que la calidad y cantidad de las cosechas se incrementen. El chile habanero puede ser un cultivo alternativo de producción en invernadero, sobre todo en las regiones donde a campo abierto no tiene buen desarrollo, como es el caso de las regiones áridas y semiáridas del norte de México. En el presente folleto se presenta información tecnológica generada de trabajos de investigación desarrollados en el CENID RASPA INIFAP sobre el manejo agronómico del chile habanero bajo condiciones de invernadero en regiones áridas del país.