

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**RESPUESTA PRODUCTIVA DEL CHILE HABANERO**

**(*Capsicum chinense* Jacq.) TIPO CHOCOLATE, EN ARENA, GRANZÓN Y  
CASCARILLA DE ARROZ**

**ING. JOSÉ MARTIN IBARRA BUCIO**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO**

**EN AGRICULTURA PROTEGIDA**



**APATZINGAN, MICHOACAN**

**JUNIO DE 2019**

## CONTENIDO

<b>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO</b> .....	V
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
LISTA DE FIGURAS .....	IV
LISTA DE CUADROS .....	VII
CUADROS DEL APÉNDICE.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
I. INTRODUCCIÓN .....	12
OBJETIVO GENERAL .....	4
1. 1 Objetivos específicos.....	4
1.2 Hipótesis .....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1 Generalidades del chile habanero .....	5
2.1.1 Producción del chile habanero. ....	5
2.1. 2 Importancia mundial del chile habanero.....	6
2.1.3 Importancia nacional del chile habanero.....	7
2.1.4 Importancia estatal del chile habanero.....	7
2.2 Origen y distribución .....	8
2.3 Clasificación taxonómica y descripción botánica del chile habanero .....	11
2.4 Usos del chile habanero .....	12
2.5 Requerimientos climáticos del cultivo de chile habanero .....	13
2.6 La hidroponía como sistema de producción.....	14
2.6.1 Ventajas y desventajas de la hidroponía.....	16
2.6.2 La producción de hortalizas bajo invernadero en México .....	17
2.7 Sustratos .....	18

2.7.1 Propiedades de los sustratos .....	20
2.7.1.1 Las propiedades físicas de los sustratos.....	20
2.7.1.1.1 Porosidad.....	21
2.7.1.2 Las propiedades químicas .....	21
2.7.1.3 Las propiedades biológicas.....	22
2.7.2 Clasificación de los materiales utilizados como sustratos.....	22
2.7.2.1 Materiales orgánicos.....	24
2.7.2.1.1 Naturales .....	25
2.7.2.1.2 Sintéticos .....	25
2.7.2.1.3 Residuos y subproductos de diferentes actividades de producción y consumo.....	25
2.7.2.2 Materiales inorgánicos .....	25
2.7.2.2.1 De origen natural .....	25
2.7.2.2.1.2 Transformados o frotados industrialmente.....	26
2.7.2.2.1.3 Residuos y subproductos industriales.....	26
2.7.2.2.2 De origen sintético.....	26
2.7.3 Criterios de selección de un sustrato .....	26
2.7.4 Caracterización de sustratos. Estudio de la fase sólida .....	27
2.7.4.1 Propiedades físicas .....	28
2.7.4.1.1 Granulometría.....	28
2.7.4.1.2 Espacio poroso total.....	28
2.7.4.1.3 Densidad aparente.....	29
2.7.4.1.4 Agua fácilmente disponible.....	30
2.7.4.1.5 Capacidad de aireación .....	30
2.7.4.2 Propiedades químicas .....	30
2.7.4.2.1 Potencial de hidrogeno (pH) .....	30
2.7.4.2.2 Disponibilidad de nutrientes.....	31
2.7.4.2.3 Capacidad de intercambio catiónico.....	31
2.7.4.2.4 Relación Carbono/Nitrógeno (C/N).....	32
2.7.4.2.5 Conductividad eléctrica (C.E.) salinidad y presión osmótica (P.O) .....	32

2.7.5.3 Propiedades biológicas .....	33
2.7.5.4 Otras propiedades .....	33
2.7.5.4.1 Tamaño de las partículas.....	33
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	38
3.1 Descripción del sitio experimental .....	38
3.2 Características genéticas del chile habanero utilizado .....	39
3.3 Material utilizado como sustrato.....	40
3.3.1 El suelo .....	40
3.3.2 Arena de río .....	40
3.3.3 Tezontle o granzón rojo .....	41
3.3.4 Cascarilla de arroz .....	41
3.4 Producción de plántula .....	41
3.5 Establecimiento del experimento .....	43
3.6 Tratamientos en estudio y diseño experimental.....	43
3.7 Manejo del cultivo .....	45
3.7.1 Riego.....	45
3.7.2 Solución nutritiva .....	46
3.7.3 Podas y tutores .....	47
3.7.4 Polinización .....	48
3.7.5 Plagas y enfermedades .....	48
3.7.6 Cosecha.....	50
3.8 Variables evaluadas .....	51
3.8.1 Variables morfológicas.....	51
3.8.1.1 Altura de la planta (AP) .....	51
3.8.1.2 Diámetro del tallo (DT) .....	51
3.8.1.3 Número de hojas (NH).....	52
3.8.2 Componente de las variables de rendimiento.....	53
3.8.2.1 Número de frutos por planta (NFP).....	53
3.8.2.2 Peso fresco del fruto (PFF) .....	53

3.8.2.3	Diámetro ecuatorial del fruto (D.E.) .....	54
3.8.2.4	Longitud del fruto (LF) .....	54
3.8.3	Variables de biomasa.....	55
3.8.3.1	Peso seco de raíz (g) (PSR) .....	55
3.8.3.2	Peso seco del tallo (g) (PST) .....	55
3.8.3.3	Peso seco de la hoja (g) (PSH).....	56
3.8.3.4	Peso seco del fruto (g) (PSF).....	56
3.8.3.5	Peso total de la materia seca (g) .....	56
3.9	Diseño experimental .....	57
3.10	Análisis estadístico .....	57
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	58
4.1	Altura de la planta.....	58
4.2	Diámetro del tallo de las plantas .....	62
4.3	Número de hojas .....	66
4.4	Rendimiento de fruto .....	70
4.4.1.	Número de frutos por planta (NF).....	70
4.5	Peso fresco del fruto en gramos por planta.....	72
4.6	Diámetro ecuatorial del fruto de chile habanero.....	74
4.7	Longitud del fruto .....	75
4.8	Producción de biomasa .....	76
4.9	Materia seca de hojas. ....	77
4.10	Materia seca de la raíz .....	78
4.11	Materia seca del tallo.....	78
4.12	Distribución de biomasa en la planta de chile habanero .....	79
4.13	Temperaturas.....	80
4.14	Unidades calor (U.C) .....	82
4.15	Unidades calor acumuladas.....	82
	CONCLUSIONES.....	84
	LITERATURA CITADA.....	85

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**RESPUESTA PRODUCTIVA DEL CHILE HABANERO (*Capsicum chinense*  
Jacq) TIPO CHOCOLATE, EN ARENA, GRANZON Y CASCARILLA DE  
ARROZ.**

TESIS QUE PRESENTA

**JOSE MARTIN IBARRA BUCIO**

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada como  
requisito parcial, para obtener el grado de:

**MAESTRO EN AGRICULTURA PROTEGIDA**

COMITÉ PARTICULAR

Director:

\_\_\_\_\_  
Dr. José Luis Escamilla García

Codirector:

\_\_\_\_\_  
Dr. Patricio Apáez Barrios

Asesor:

\_\_\_\_\_  
Dr. Abimael López López

Asesor:

\_\_\_\_\_  
Dra. Marisela Apáez Barrios

Asesor:

\_\_\_\_\_

Dr. Noé Armando Ávila Ramírez.

## DEDICATORIA

En especial a mis queridos hijos *Lirio Lizeth Ibarra Moreno, José Martín Ibarra Moreno † Ximena Monserrat Ibarra Moreno †* siendo pieza fundamental dentro del núcleo familiar. Impulsando la superación profesional para lograr estabilidad, social económica, moral y sobre todo familiar.

José Martín, Ximena hijos, a pesar de su llamado hacia el creador, siguen presentes en mi alma, en mis pensamientos y sobre todo siguen aquí con nosotros en la familia benditos sean por el sacrificio y las penas que pasaron en su corta, pero muy marcada estancia material en esta familia.

A la mujer que ha luchado incansablemente en aras de mantener la estabilidad económica, social y familiar, sacrificando sus estatus social y laboral mi Gran amor, mi Esposa *Hilda Elizabeth Moreno Macías*.

Con gran amor a mis padres *Ma. Soledad Bucio Ramírez †*, mujer admirable que formó de sus cuatro hijos a cuatro grandes profesionistas, con sacrificio, esfuerzo y tenacidad apoyando en todo ámbito las decisiones de sus hijos(as), mi padre *Miguel Ángel Ibarra Cordero*, por plasmar los sabios consejo sobre dignidad, amor, lealtad, sacrificio, valores que generaron una formación responsable sobre el actuar ante las adversidades de la sociedad.

Gracias.

*José Martín Ibarra Bucio*

## AGRADECIMIENTO

A la Institución, que cree en el proceso de formación profesional de toda aquella persona que quiera crecer mediante la adquisición de conocimientos y habilidades para el fortalecimiento profesional humano, CONACYT.

Mi mayor agradecimiento a los doctores Alfonso luna, Esperanza Loera, (cátedras CONACYT) por la toma de las decisiones durante el desarrollo de sus cátedras impartidas acertadamente con gran conocimiento y profesionalismo para mi formación.

Al doctor Abimael López López por su capacidad y desarrollo profesional dentro de mi formación.

Al Doctor Patricio Apáez Barrios, por compartir su conocimiento y su gran experiencia dentro de las aulas, parte fundamental dentro de la estructuración y formación como profesionista, a la Dra. Marisela Apáez Barrios por su contribución en asesorías y formación profesional institucional.

Al Doctor José Luis Escamilla García por tomar la dirección de mi trabajo de tesis, gracias Doctor.



## LISTA DE FIGURAS

Figura	página
1 Localizacion del sitio experimental.....	36
2 Casa sombra tipo túnel utilizado en el presente estudio.....	37
3 Semilla de chile habanero tipo chocolate.....	37
4 Material utilizado como sustratos.....	38
5 Plántula producida previa al trasplante en macetas.....	40
6 Distribucion de los tratamientos en casa sombra.....	41
7 Distribucion de la planta dentro de la estructura.....	42
8 Plantas de chile habanero con tres tallos principales.....	45
9 Mosquita blanca ( <i>Trialeurodes vaporariorum</i> ).....	46
10 Arana roja ( <i>Tetranychus urticae</i> ).....	47
11 Gusano del fruto ( <i>Heliothis virescens</i> ).....	47
12 Frutos de chile habanero en madurez de cosecha.....	48
13 Medicion de altura de planta con cinta metrica metalica.....	49
14 Determinacion del diametro del tallo con vernier digital.....	49
15 Planta de chile habanero al momento de realizar el primer conteo de hojas.....	50
16 Determinacion del peso promedio del fruto.....	51
17 Determinacion de diametro ecuatorial del fruto de chile habanero.....	51
18 Determinacion de la longitud promedio de frutos.....	52

Figura	página
19 Proceso de secado de los frutos en estufa electrica.....	53
20 Dinámica de altura de la planta de chile habanero durante el ciclo del cultivo.....	58
21 Altura de la planta de chile habanero a los 120 días después del trasplante en función del tipo de sustrato. C.A. =Cascarilla de Arroz, DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.....	61
22 Dinámica del diámetro del tallo de la planta de chile habanero durante el ciclo del cultivo.....	59
23 Diámetro del tallo de la planta de chile habanero a los 120 días después del trasplante en función del tipo de sustrato.....	61
24 Dinámica de número de hojas en la planta de chile habanero durante el ciclo del cultivo.....	67
25 Número de hojas de la planta de chile habanero a los 120 días después del trasplante.....	69
26 Dinámica de número de frutos por planta.....	70
27 Numero de frutos por planta de chile habanero con diferentes sustratos... ..	72
28 Dinámica peso fresco del fruto del chile habanero durante el ciclo del cultivo.....	73
29 Peso fresco del fruto de chile habanero con diferentes sustratos.....	74
30 Diámetro ecuatorial de la fruta de chile habanero en cm.....	75
31 Longitud del fruto de chile habanero con diferentes sustratos.....	76
32 Materia seca del fruto seco en plantas de chile habanero con diferentes sustratos.....	77
33 Materia seca en hojas de plantas de chile habanero con diferentes sustratos.....	77
34 Materia seca de la raíz de plantas de chile habanero con diferentes sustratos.....	74

35	Variable de materia seca del tallo en chile habanero con diferentes sustratos.....	79
36	Distribución de la materia seca en (g) en la estructura de la planta de chile habanero.....	80
37	Temperaturas máximas y mínimas durante el desarrollo del del chile habanero con sustratos diferentes.....	81
38	Unidades calor que recibió la planta del chile habanero en casa sombra durante el ciclo del cultivo.....	82
39	Unidades de calor acumulado en el cultivo de chile habanero durante el ciclo del cultivo.....	83

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	página
1 Aporte nutrimental de 67 g de peso fresco de chile habanero.....	8
2 Clasificación taxonómica del chile habanero .....	10
3 Rendimiento de los tres principales cultivos producidos en invernadero en México .....	15
4 Características físicas de los sustratos .....	41
5 Resultado del análisis de agua utilizado en el riego.....	43
6 Cantidad y fuentes de fertilizante utilizado para el cultivo de chile habanero tipo chocolate, tomando como base la solución Steiner .....	44
7 Altura de la planta de chile habanero en cm a los 30,60 y 90 días después del trasplante.....	56
8 Diámetro del tallo de la planta de chile habanero en cm a los 30,60 y 90 días después del trasplante.....	60
9 Número de hojas de la planta de chile habanero a los 30,60 y 90 días después del trasplante.....	64
10 Concentrado rendimiento de fruto.....	72

## CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro	página
1A. Análisis de varianza de la altura de la planta de chile habanero tipo chocolate a los 30 ddt en función del tipo de sustrato .....	87
2A. Análisis de varianza de la altura de la planta de chile habanero tipo chocolate a los 60 ddt en función del tipo de sustrato .....	87
3A. Análisis de la altura de planta de chile habanero tipo chocolate a los 90 ddt. en función del sustrato .....	88
4A. Análisis de la altura de la planta de chile habanero tipo chocolate a los 120 ddt en función del sustrato.....	88
5A. Análisis del diámetro de tallo del chile habanero tipo chocolate a los 30 ddt en función del sustrato .....	88
6A. Análisis del diámetro de tallo del chile habanero tipo chocolate a 60 ddt en función del sustrato .....	89
7A. Análisis del diámetro de tallo del chile habanero tipo chocolate a los 90 ddt en función del sustrato .....	89
8A. Análisis del diámetro de tallo del chile habanero tipo chocolate a los 120 ddt en función del sustrato .....	89
9A. Análisis del número de hojas en la planta de chile habanero tipo chocolate a los 30 ddt en función del sustrato .....	90
10A. Análisis del número de hojas en la planta de chile habanero tipo chocolate a los 60 ddt en función del sustrato .....	90
11A. Análisis del número de hojas en la planta de chile habanero tipo chocolate a los 90 ddt en función del sustrato .....	90

12A. Análisis del número de hojas en la planta de chile habanero tipo chocolate a los 120 ddt en función del sustrato .....	91
Complementación de cuadros .....	92
13A. Análisis del número de frutos de chile habanero tipo chocolate .....	93
14A. Análisis del peso fresco del fruto .....	93
15A. Análisis del diámetro ecuatorial del fruto de habanero .....	93
16A. Análisis de la longitud del fruto de habanero .....	94
17A. Análisis del peso promedio del fruto .....	94
18A. Complementación de cuadros .....	94
19A. Análisis de la materia seca de la hoja .....	95
20A. Análisis de la materia seca total .....	95
21A. Análisis de la materia seca de la raíz .....	95
22A. Análisis de la materia seca del fruto fresco .....	96

## RESUMEN

El chile habanero en invernadero incrementa su producción debido al control que se tiene sobre las condiciones climáticas en el crecimiento y desarrollo de la planta; sin embargo, se presentan rendimientos bajos por desconocimiento sobre tecnologías de producción adecuada en relación con variedades, nutrición, control fitosanitario y clima de la región, punto fundamental para decidir qué tipo de estructura y nivel de tecnificación utilizar en combinación con los requerimientos del cultivo. La agricultura protegida ha traído con ella, el uso de nuevos insumos para proporcionar las mejores condiciones productivas al cultivo como son los sustratos, los cuales proporcionan el espacio donde se desarrolla el sistema radical, permitiendo el anclaje, oxigenación y absorción de nutrientes. Por lo tanto, el objetivo fue, determinar la respuesta productiva del cultivo del chile habanero tipo chocolate (*Capsicum Chinense* Jacq.) en sustratos diferentes (granzón, arena de río, cascarilla de arroz y sus combinaciones), bajo condiciones de agricultura protegida, tomando en cuenta variables morfológicas y productivas. Se efectuó un experimento con tres repeticiones, homogeneizando los factores de producción, se utilizó como referencia la solución nutritiva de Steiner. Los datos obtenidos de las variables de respuesta de cada tratamiento se analizaron estadísticamente con el paquete estadístico SAS versión 9.1 y a las variables que resultaron con diferencias estadísticas se les aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de probabilidad de error (SAS, 2003).

Resultando en esta investigación que las plantas cultivadas en arena de río presentaron las mejores respuestas en la variable materia seca (altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas), en tanto que para la calidad del fruto no hubo diferencias significativas, no obstante, se observaron los mejores valores en arena de río en comparación con los demás sustratos evaluados.

Palabras clave: Agricultura protegida, sustrato, hidroponía, solución nutritiva, temperatura.

## ABSTRACT

The habanero in the greenhouse increases its production due to the control that is on the climatic conditions during the growth and development of the plant; However low yields due to the lack of knowledge about the technology of production proper in relation to varieties, nutrition, plant protection control and the climatic conditions of the region critical point have to decide what structure type and level of automation used in combination with the requirements of the crop. Protected agriculture has brought with it, the use of new inputs to provide the best productive cultivation conditions such as substrates, which provide space where the root system, allowing the anchor, develops oxygenation and nutrient uptake by the plant for its development, therefore the objective was to determine the productive response of the cultivation of habanero type chocolate (*Capsicum Ch...*) on different substrates (gravel, sand, rice husks and their combinations), under conditions of agriculture protected, taking into account morphological and productive variables, was an experiment with three replications, where homogenized the factors of production, was used as a reference of Steiner nutrient solution. The data obtained from the response of each treatment variables were statistically analyzed with the statistical package SAS version 9.1 and the variables that were found with differences statistics is applied the Tukey multiple comparison test to 5% of probability of error (SAS, 2003).

Resulting in this research that plants grown in river sand were presenting the best responses in the variables dry matter of the quality of the fruit inside (the plant height, diameter of the stem and leaf number) there was no significant differences, having the best values the substrate River sand in comparison with the other substrates tested.

Key Word: protected agriculture, substrates, hydroponics, nutrient solution, temperature.



## I. INTRODUCCIÓN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es originario de Sudamérica. En México es ampliamente conocido en el sureste mexicano, donde forma parte de la gastronomía regional. Los frutos de chile habanero presentan propiedades médicas y farmacológicas por el contenido de capsaicina, el cual se ubica entre las 200,000 a 500,000 unidades Scoville (Bosland, 1996; Long-Solís, 1998; Ramírez *et al.*, 2005). Los chiles picantes intensifican la secreción salival y la peraltalsis (contracciones en el intestino que hacen avanzar el alimento), estimulando el apetito, la secreción nasal, lagrimal y los jugos gástricos, por la capsaicina, el principal capsaicinoides que estimula la membrana mucosa del estómago, incrementando la secreción salival, estimulando el apetito y también tiene un efecto anti inflamatorio y contra irritante (Ruiz-Lau *et al.*, 2011). Estas propiedades han permitido incrementar su demanda en Estados Unidos, Japón, China, Tailandia, Inglaterra, Canadá entre otros, sin embargo, los únicos países exportadores son México y Belice (Ramírez *et al.*, 2005).

A nivel mundial la agricultura intensiva es la más practicada, y emplea tecnología convencional, moderna o industrial (Valle, 2008). Algunos insumos y equipos que usa son: pesticidas, fertilizantes, maquinaria agrícola, estructuras como invernaderos, casa sombra, sistemas de riego o fertirrigación y cultivares genéticamente mejoradas. El propósito de aplicar todas estas herramientas es maximizar la producción de alimentos y por consiguiente las ganancias derivadas de los monocultivos, sin considerar las variaciones negativas en la sustentabilidad ambiental, social y económica (Vázquez, 2008). En México el crecimiento del sector primario ha sido errático y variable en los últimos seis años. Para la producción de hortalizas a campo abierto se cuenta con 456,000 ha y 23 251 ha en agricultura protegida, que representa el 94% y el 4% de la superficie total respectivamente, el otro 2 % está dedicado a cerriles y pastos (AMHPAC, 2016).

La horticultura ha sido muy importante para el desarrollo y crecimiento económico en el estado de Michoacán, el chile habanero tipo chocolate (*Capsicum chinense* Jacq.), se cultiva en áreas reducidas, principalmente en la costa michoacana, en Zitácuaro y Parácuaro. En el valle de Apatzingán, se estableció este cultivo en macetas de traspatio a nivel familiar, con plantas traídas de la ciudad de Lázaro Cárdenas Michoacán, observando que se comporta de manera estable en su desarrollo sin ser afectado, de manera significativa, por las condiciones climatológicas.

Los cultivos principales que se producen bajo ambiente protegido son tomate, chile pimiento, pepino y chile habanero, siendo este último el que se siembra en menor escala, pero con una mayor rentabilidad en comparación con los otros cultivos que tienen fluctuaciones muy marcadas en los precios de acuerdo a las demandas estacionales del mercado nacional y al de exportación (Castellanos y Borbón, 2009).

El chile habanero cultivado en invernadero incrementa su rendimiento de fruto (Cauich *et al.*, 2006), debido a que el viento, la radiación y la temperatura menor a 15 °C, que afecta el rendimiento y la calidad del fruto son controlados por un mejor ambiente para el crecimiento y desarrollo de la planta (Flores, 2013). Aún bajo ambiente controlado, de acuerdo con Uribe (2008), los rendimientos son bajos debido a la falta de tecnología de producción adecuada en relación con variedades, nutrición, prevención de enfermedades, etc. La evolución de la agricultura intensiva ha traído consigo el empleo de nuevos insumos como son los sustratos, los cuales han resultado básicos para el desarrollo de actividades como producción de plántula, viveros, horticultura intensiva protegida, permitiendo el anclaje y adecuado crecimiento del sistema radical de la planta (Abad-Berjon, *et al.*, 2004). Por tanto, el presente trabajo se realizó para evaluar la respuesta productiva del cultivo de chile habanero tipo chocolate en tres sustratos diferentes,

sus combinaciones en condiciones hidropónicas, teniendo como testigo la producción en suelo, bajo casa sombra, en el valle de Apatzingán.

## OBJETIVO GENERAL

Determinar la respuesta productiva del cultivo de chile habanero tipo chocolate en función del tipo de sustrato y combinaciones de éste.

### 1.1 Objetivos específicos

- Conocer la velocidad del crecimiento de las plantas.
- Determinar la producción de frutos por corte.
- Evaluar la influencia del tipo de sustrato sobre el rendimiento y componentes del rendimiento de fruto fresco.

### 1.2 Hipótesis

Las plantas de chile habanero presentarán variaciones en sus respuestas productivas al menos en un tipo sustrato y en una combinación de éstos.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades del chile habanero

#### 2.1.1 Producción del chile habanero.

Ramírez y Vásquez (2007), señalan que, a nivel mundial, los chiles se han convertido en la hortaliza de mayor crecimiento en los últimos años; dentro de éstos se incluye el chile habanero, que se ha expandido de su área tradicional de consumo que es la península de Yucatán hacia los mercados de la Cd. de México y del resto del mundo.

Según datos relevantes, la superficie sembrada de chile a nivel mundial, fue de 1, 696, 891 hectáreas, con una producción de 25,015, 498 toneladas, con un rendimiento promedio de 14.74 ton ha<sup>-1</sup> Trujillo y Pérez ( 2004), señalan que en México, el 90% de la superficie destinada a la producción de chile habanero, se ubica en los estados de Quintana Roo, Campeche y Yucatán, que conforman la península de Yucatán, con una superficie que fluctúa entre las 750 y 900 hectáreas, también indican que ante la escasez de producto para cubrir la demanda nacional y del exterior, se ha iniciado su cultivo en otras zonas, al interior de la república Mexicana, donde se desconoce el comportamiento de este cultivo.

El chile es un cultivo hortícola importante en la dieta de la población de muchas partes del mundo; en México existe una gran diversidad, dentro de los cuales se encuentra el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Este se siembra en diferentes estados, principalmente en Yucatán, Tabasco, Campeche y Quintana Roo, donde se obtienen producciones que oscilan entre 10 y 30 toneladas por hectárea (t ha<sup>-1</sup>), de acuerdo al nivel de tecnificación empleada en su cultivo (Avilés y Tun, 2007).

Se estima que, de la producción total, el 75% se destina para el consumo en estado fresco, el 22% lo utiliza la industria en la elaboración de salsas y el 3% se destina a la obtención de semilla. La principal aplicación del chile habanero deshidratado está en la elaboración de condimentos, así como en la extracción de la capsaicina, que es la sustancia que le da el picor al chile, y que también puede tener otros usos, entre ellos la elaboración de gases lacrimógenos, repelentes para insectos o roedores (Hernández *et al.*, 2010).

La importancia de este tipo de chile radica, principalmente, en la gran demanda que tiene para exportación. Durante el 2007 se obtuvo un monto de 90 millones de pesos en este rubro en la península de Yucatán; es fundamental mencionar que puede llegar a valer hasta 100 pesos por kilogramo. En el 2008 se mantuvo con un precio promedio de 37.48 pesos por kg (Avilés y Tun, 2007).

#### 2.1. 2 Importancia mundial del chile habanero

González y Orellana (2006), reportaron que el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) se cultiva en el caribe, el norte de América del sur, Centro América, Perú, Bolivia y la península de Yucatán. León (1987), Dewitt y Bosland (1994) y Long-Solís (1998), indicaron que comercialmente el chile habanero solo es cultivado en Yucatán México, donde se cosechan aproximadamente alrededor de 1500 toneladas de fruto por año. También se ha reportado que es cultivado en menor escala en Belice (OIRSA, 2003). Otros países productores de chile habanero son Jamaica, Trinidad y Tobago y las Bahamas. En 1992, la compañía Quetzal Foods, sembró 100 hectáreas en Costa Rica. En los Estados Unidos, existen dos operaciones comerciales significativas, una en California y otra en Texas (OIRSA, 2003). Según Cheng (1989), algunas variedades no picantes de chile habanero se utilizan en Brasil como sustitutos del pimiento dulce, debido a que este último no puede ser cultivado en la región amazónica por ser muy susceptible a plagas y enfermedades locales.

### 2.1.3 Importancia nacional del chile habanero

De acuerdo con Pérez-Moreno *et al.* (2005), dentro de las estadísticas de *Capsicum* spp en México, no figura el chile habanero como especie sobresaliente a nivel nacional. Para el año 2006, el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM, 2008), lo incluye dentro de su informe, pero para aclarar que no hubo importación ni exportación, lo que indica que la producción se ofertó y consumió dentro del país.

Yucatán es el estado en donde más se ha estudiado este cultivo y de acuerdo a Trujillo-Aguirre y Pérez-Llanes (2004), este ocupa el segundo lugar en importancia entre las hortalizas por la superficie destinada para su cultivo, que es de aproximadamente 800 hectáreas, con un rendimiento promedio de 25 t ha<sup>-1</sup> dependiendo del manejo del agrónomo y de las condiciones ambientales. Las entidades federativas reportadas como productoras de esta especie de chile son Baja California Sur, San Luis Potosí, Chiapas, Sonora, Tabasco y Veracruz, pero más del 50% de la producción que abastece al mercado nacional e internacional, lo cubren los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo (Muños-Carrillo, 2005 y Ramírez *et al.*, 2006).

### 2.1.4 Importancia estatal del chile habanero.

En Michoacán el cultivo del chile habanero (llamado localmente “Manzano”) se circunscribe a la zona de transición de Tacámbaro, mientras que el habanero negro se localiza en la costa michoacana: ambas variedades se producen en huertos de superficies pequeñas, y su productividad es afectada por el clima y el manejo deficiente; no obstante, lo anterior se compensa por su alto valor en el mercado. Tapia-Vargas *et al.* (2016), señalan que, el chile habanero negro es muy pungente y de precio elevado por lo que su cultivo y producción en invernadero puede producir atractivos dividendos a los productores. Dentro del estado de

Michoacán, como en el municipio de Apatzingán, no se tienen estadísticas ni registro oficial de la superficie destinada a la producción año con año, sin embargo, se tiene conocimiento únicamente de los municipios donde se ha producido de manera esporádica y limitada, lo anterior es debido al escaso conocimiento del cultivo y manejo del mismo al que tienen acceso los pequeños productores de estas localidades.

## 2.2 Origen y distribución

El chile habanero proviene de las tierras bajas de la cuenca amazónica y de ahí se dispersó a Perú durante la época prehispánica. La distribución también se dirigió hacia la cuenca del Orinoco (ubicada actualmente en territorio de Colombia y Venezuela), Guyana, Surinam, la Guayana francesa y las Antillas del Caribe (Salaya, 2010).

El consumo de chile está ligado con la historia de América y en particular de México. Colón descubrió que, en lugar de especies como la pimienta, éste continente poseía muchas especies de plantas entre las que destacaba el chile al que nombro pimienta. Los antiguos pobladores de América seleccionaron y mejoraron esta planta para dar origen a una gran variedad de tipos de chile. Los vestigios arqueológicos muestran que entre 5200 y 3400 años A.C., los americanos nativos ya sembraban plantas, domesticadas, mejoradas de chile. Una vez que esta especie llegó a España su uso encontró una rápida difusión a nivel mundial. En consecuencia, este condimento empezó a formar parte de la dieta de los pobladores de éste país y de varios continentes. El interés de este cultivo no se centra solo en su importancia económica, se ha demostrado que el chile es una excelente fuente de colorantes naturales, vitaminas como la C, E, A y minerales. Además, presenta otros compuestos fitoquímicos, que tienen un efecto benéfico en la salud humana (Guzmán-Maldonado y Paredes-López, 1998).



En la península de Yucatán popularmente se le conoce al *Capsicum chinense* como chile habanero por la especulación que su introducción se realizó por el mar caribe. De acuerdo con Long (2004), la introducción de esta especie a la península fue por el contacto precolombino vía marítima, entre los tainos (aborígenes de Puerto Rico, Antillas y Cuba) y los mayas del periodo clásico de la península de Yucatán.

Esta solanácea tiene los siguientes rasgos, fruto de color verde, amarillo o morado y contiene los nutrimentos siguientes (cuadro1).

Cuadro 1. Aporte nutrimental de 67 g de peso fresco de chile habanero.

<b>Componente</b>	<b>Concentración</b>
Energía	25 kcal
Proteína	1.5 g
Lípidos	0.5 g
Hidratos de carbono	3.6 g
Fibra	1.1 g
Vitamina A	19.8 mg RE
Ácido ascórbico	63.2 mg
Ácido fólico	15.5 mg
Hierro	1.6 NO EMH mg
Potasio	228.5 mg

Fuente: Pérez-Moreno *et al.*, 2005

También se reportan algunos efectos medicinales tales como aumento en el número de calorías quemadas durante la digestión, reduce los niveles de colesterol, es un anticoagulante y se le asocia con cualidades antioxidantes debido a las grandes cantidades de betacaroteno y flavonoides antioxidantes. Tradicionalmente se ha hecho infusión para el asma, la tos, el resfriado;

analgésico en el caso de la artritis, antiinflamatorio (SIAP, 2010). El chile habanero se puede consumir en forma fresca o procesada (salsas, encurtidos), su sabor es muy picoso y es usado como condimento. Ochoa y Gómez (1993), mencionan que el picor del chile habanero se debe a una serie de alcaloides denominados capsaicinoides. Por su parte, Tun-Dzul (2001), menciona que, de esos compuestos, la capsaicina es la más abundante encontrándose en las células de la placenta, esta tiene algunas propiedades antibacteriales al prevenir y atacar las infecciones crónicas de los paranasales (sinusitis), puede prevenir cáncer del intestino, colon y estómago, y es un agente que eleva la actividad metabólica, ayudando así al cuerpo a quemar grasas y calorías (Papik, 2007).

El cultivo de chile (*Capsicum* spp.), junto con la calabaza, maíz y frijol constituyen un sistema de producción que ha generado los alimentos, que han sido la base de la alimentación en Mesoamérica (CONAPROCH, 2007). De acuerdo a Muños-Carrillo (2005), la producción de chile habanero en el estado de Yucatán ha incrementado debido a las siguientes razones: 1. Es un cultivo que la mayoría de los campesinos y productores conocen y saben cultivar; 2. Es un producto que se puede producir con calidad y en cantidad en cualquier época del año. Además, se puede multiplicar con un mínimo apoyo financiero y promoción por parte de los organismos dedicados al desarrollo rural del estado y de empresas que lo comercializan y 3. Existe un aumento en la demanda de chile habanero en el mercado nacional e internacional, tanto en fresco como procesado.

Producir chile habanero es un buen negocio porque además de ser comestible (Caamal *et al.*, 2000), la capsaicina que contiene puede emplearse en la elaboración de cosméticos, pomadas calientes, gas lacrimógeno, recubrimientos de sistemas de riego o eléctricos para protección contra roedores, y por su alta capacidad anticorrosiva, como un componente en pintura para barcos. Ramírez *et al.* (2005), señalaron que los frutos de *Capsicum* spp., fueron utilizados por la cultura azteca para elaborar algunos colorantes o tintes utilizados en sus artesanías.

Se ha reportado que el chile habanero es originario de Sudamérica y cultivado ampliamente en Yucatán, principal estado productor. Es uno de los de mayor pungencia por su alto contenido de capsaicina, por lo que es muy apreciado a nivel mundial con una creciente demanda en EE. UU, Japón, China, Tailandia, Inglaterra, Canadá, Cuba y Panamá, sin embargo, los únicos países exportadores son México y Belice (Ramírez *et al.*, 2005).

### 2.3 Clasificación taxonómica y descripción botánica del chile habanero

Según la CONABIO (2009), el chile habanero presenta la clasificación taxonómica siguiente (cuadro 2):

Cuadro 2. Clasificación taxonómica del chile habanero

REINO	Plantae
DIVISIÓN	Magnoliophyta
CLASE	Magnoliopsida
ORDEN	Solanales
FAMILIA	Solanaceae
GENERO	<i>Capsicum</i> L., 1753
ESPECIE	<i>Chinense</i> Jacq.,

Fuente: CONABIO (2009)

El género *Capsicum*, presenta 27 especies (Tun-Dzul, 2001), de éstas se han domesticado cinco: *Capsicum baccatum* L, *Capsicum pubescens* R y P., *Capsicum annuum* L., *Capsicum chinense* Jacq., y *Capsicum frutescens* L., incluyendo desde las variedades dulces hasta las más picantes como el chile habanero, cuyo fruto es de variados colores, sabores y diferentes tamaños.

Es una planta de ciclo anual, que puede alcanzar hasta doce meses de vida dependiendo del manejo agronómico, su altura oscilar entre 75 y 120 centímetros

en condiciones de invernadero. Su tallo es grueso, erecto y robusto; con un crecimiento semi determinado. Las hojas son simples, lisas, alternas y de forma lanceolada, de tamaño variable, lo mismo su color de follaje el cual puede presentar diferentes tonos de verde dependiendo de la variedad. Tiene raíz principal tipo pivotante, esta alcanza una profundidad de 0.40 a 1.20 m con un sistema radical bien desarrollado, cuyo tamaño va a depender de la edad de la planta, características del suelo y las prácticas de manejo. La floración inicia cuando empieza la bifurcación del tallo, las flores son hermafroditas, solas o en ramilletes de dos o más en cada una de las axilas, son de color blanco, miden entre 1.5 y 2.5 centímetros de diámetro de corola, el número de sépalos y pétalos varía de 5 a 7 aún dentro de la misma especie lo mismo que la longitud del pedúnculo floral (Tun-Dzul, 2001).

El fruto es una baya poco carnosa; tiene entre tres y cuatro lóbulos, las semillas se alojan en las placentas, son lisas y pequeñas, con testa de color café claro a oscuro, su periodo de germinación varía entre ocho y 15 días, la planta presenta un promedio de hasta seis frutos por axila, con un tamaño de entre 2 a 6 centímetros, el color es verde cuando son tiernos y cuando están maduros, pueden ser amarillos, anaranjados, rojos, o cafés y su sabor siempre es picante, aunque el grado del picor depende del cultivar (Tun-Dzul, 2001).

#### 2.4 Usos del chile habanero

Los usos que se le dan al chile habanero son variados, entre las cuales, se emplea como materia prima para elaboración de otros productos como son salsas y medicamentos. Es una excelente fuente de vitamina A, contiene el doble de vitamina C que los cítricos y fortalece el sistema inmunológico. Tiene una alta concentración de betacaroteno y flavonoides antioxidantes que desaceleran el envejecimiento. La capsaicina combate la migraña, los dolores de cabeza, y alivian la artritis. Además, posee fuertes propiedades antibacteriales que permiten prevenir y atacar las infecciones crónicas de los paranasales (sinusitis). Es un

potente antiinflamatorio que alivia dolores musculares y reumáticos. Su consumo regular disminuye el colesterol en la sangre. Puede aliviar padecimientos intestinales crónicos y ayudar en el proceso de digestión. También puede prevenir cáncer del intestino, colon y estómago. Es un agente termogénico, que ayuda a elevar la actividad metabólica y quema de grasas y calorías. El chile habanero estimula la producción de endorfinas, por lo que su consumo genera un estado placentero (Cosumer, 2012).

## 2.5 Requerimientos climáticos del cultivo de chile habanero

Los factores climáticos que limitan la adaptación, desarrollo y producción del chile habanero en Yucatán, son la precipitación y la temperatura. Este cultivo demanda una cantidad de agua relativamente alta (550 a 700 mm por ciclo), sobre todo durante las etapas de floración, fructificación y llenado de fruto. Se desarrolla mejor en regiones que presentan promedios de 24 °C, pocas variaciones de esta entre los horarios diurnos, nocturnos y humedad aprovechable del suelo entre 80 y 90%. No tolera condiciones menores a 15 °C, las cuales se pueden presentar ocasionalmente con una duración de pocas horas, en los meses de enero y febrero. La temperatura requerida para el desarrollo óptimo del chile habanero es de 25 °C; la mínima tolerada es de 15 °C y la máxima de 32 °C. Las características climatológicas inferiores a la mínima detienen el crecimiento de la planta y causan malformación del fruto y caída de las flores; las superiores a la máxima, provocan caída del fruto y flores, por quemadura y/o aborto. Esta especie se cultiva en altitudes inferiores a 1,000 m, aunque se tienen reportes de su adaptación a lugares de mayor altitud. Además, requiere suelos de textura media a fina con profundidad entre 40 y 50 cm y pH entre 6.0 y 6.5, aunque se adapta bien a suelos calcáreos con pH ligeramente mayor a 7.0 (Tun-Dzul, 2001).

## 2.6 La hidroponía como sistema de producción

El cultivo sin suelo o hidropónico en combinación con las estructuras de protección o invernaderos tal vez sea en esta época el método más intensivo para producir hortalizas, surge como una alternativa a la agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es disminuir o eliminar los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados al ambiente de producción, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas (Cánovas, 2001, Duran *et al.*, 2000, Jensen, 2001).

Hidroponía deriva del griego *hydro* (agua) y *ponos* (trabajo) dando origen a la palabra trabajo en agua o cultivo en agua (Alarcón, 2005. Mosse, 2004).

Hidroponía se define como un sistema de producción donde las raíces de las plantas, se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua y en lugar de suelo, se utiliza un material para anclaje y soporte de la planta llamado sustrato que es un material inerte y estéril o simplemente la misma solución nutritiva (González, 2006; Sánchez *et al.*, 1991).

El uso de esta técnica comenzó a partir del descubrimiento de las sustancias que permiten el desarrollo de las plantas, que en conjunto con el empleo de invernaderos y plásticos permitió un gran impulso, especialmente en el cultivo de flores y hortalizas, principalmente en países como Estados Unidos, Canadá, Japón, Holanda, España y otros de Europa, Asia, y África (Resh, 2001).

Los sistemas de cultivo hidropónico se dividen en dos grupos:

- 1) cerrados
- 2) abiertos.

Los primeros son aquellos que tienen un sistema de recirculación de la solución nutritiva, aportando de manera más o menos continua los nutrientes que

la planta va consumiendo y los abiertos, o, a solución perdida, es donde la solución nutritiva no es colectada para su reciclaje y es desechada (Mosse, 2004, Alarcón, 2005). Dentro de estos grupos existen variedad de sistemas y diseños empleados en los cultivos a establecer como son: sistemas de riego utilizado (goteo, subirrigación, circulación de la solución nutritiva, contenedores de solución nutritiva etc.); sustratos a utilizar (agua, inertes, vivos, orgánicos y sus mezclas etc.); aplicación de fertilizantes (disuelto en solución nutritiva, uso de fertilizantes de lenta liberación sobre el sustrato o sustratos enriquecidos). Por disposición del cultivo (superficial, inclinados, sacos verticales, en bandejas con diferente plano de inclinación etc.); recipiente del sustrato o contenedor (contenedores múltiples o individuales, sacos plastificados preparados, contenedores rígidos o flexibles etc.). A nivel mundial los sistemas cerrados son los más extendidos, mientras que en México la mayoría de las explotaciones comerciales emplean sistemas abiertos y adoptan el sistema de riego por goteo (Alarcón, 2005).

El interés mundial por el sistema de producción hidropónico, es gracias a los altos rendimientos y calidad del producto que por unidad de superficie se pueden obtener (González, 2006), lo que significa mejor mercado y precio de venta. Los altos rendimientos se debe en principio al balance entre el oxígeno para la respiración de la raíz, el agua y los nutrimentos; controlar la presencia de malas hierbas, mejor control de plagas y enfermedades, establecer un rango óptimo del pH y poder manejar una mayor densidad de población, dándonos ventajas en el cultivo como son mayor precocidad en la producción, eficiencia en el uso de agua y fertilizantes, con el uso de invernaderos podremos obtener varias cosechas por año (Sánchez *et al.*, 1991).

Por la fuerte inversión inicial, para la instalación y operación de estos sistemas, la rentabilidad económica se restringe a cultivos de alto valor en el mercado, con un manejo eficiente del espacio y tiempo para alcanzar la máxima productividad, entendida como el rendimiento por unidad de superficie y por unidad de tiempo (Rodríguez, 2004).

Destacan por su producción en invernaderos con hidroponía los estados de Baja California Sur, Chiapas, Coahuila, Colima, Estado de México, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Morelos, Quintana Roo, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Veracruz, Yucatán, y Zacatecas con una producción de 747,150 toneladas de pimiento, tomate y pepinos en una superficie de 2550 ha, la cual prácticamente se destina a los mercados estadounidenses y europeos (González, 2006). (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento de los tres principales cultivos producidos en invernadero en México.

Cultivo	Rendimiento (t h <sup>-1</sup> )		Productividad del agua (Kg m <sup>-3</sup> )	
	Cielo abierto	Invernadero	Cielo abierto	Invernadero
Tomate	43.7	132.5	7.3	22.1
Pimiento	30.5	98.0	0.67	2.2
Pepino	52.0	78.0	1.3	1.95

Fuente: (SIAP, 2013)

### 2.6.1 Ventajas y desventajas de la hidroponía

La hidroponía se puede considerar una importante industria de índole biológica, entre la agricultura y la manufactura de los cultivos, ya que, al hacer uso de esta técnica de producción controlada, se tiene una serie de ventajas y desventajas (Baca, 1995; García, 1997; Samperio, 1997). Las ventajas de la hidroponía son las siguientes: reducción de costos de producción; es menos afectado por los fenómenos meteorológicos extremos; permite producir cosechas fuera de estación al combinarla con el uso de invernaderos; requiere menos espacio y capital para una mayor producción; ahorro de fertilizantes e insecticidas; no requiere maquinaria agrícola pesada; mayor control en limpieza e higiene en el manejo del cultivo; producción de semilla certificada; control sobre las soluciones nutritivas y sus factores que pueden afectar o disminuir su objetivo



principal; alta eficiencia en el uso de agua; mayor precocidad en los cultivos; soluciona el problema de producción en zonas áridas; uniformidad en el cultivo, alto rendimiento por unidad de superficie y tiempo.

Las desventajas de la hidroponía son las siguientes: altos costos iniciales de adquisición y funcionamiento de las instalaciones hidropónicas; baja capacidad de amortiguamiento de las soluciones nutritivas; impedimentos prácticos para cambiar la solución nutritiva de un día para otro (en días nublados el amonio en una solución nutritiva provoca resultados contraproducentes); se requiere un suministro adecuado de energía eléctrica en la instalación hidropónica; altos costos en investigación y/o de la experimentación hidropónica.

#### 2.6.2 La producción de hortalizas bajo invernadero en México

La horticultura protegida en México se ha venido desarrollando en condiciones muy heterogéneas, con costos de adquisición e instalación de hasta 100 dólares americanos por metro cuadrado; también existen los de bajo costo llamados bioespacios (Bustamante, 2003), o casas sombras con un valor de 4 a 6 dólares americanos por metro cuadrado. En la actualidad se estima una superficie de 23,482.921 ha destinadas a la producción agrícola bajo condiciones protegida, de las cuales solamente 15,972.932 ha son activas. Para el 2015 se registró 51, 179.029 ha (SIAP, 2015) produciendo principalmente jitomate, pimiento y pepino, en un 73%, 11% y 16 %, respectivamente en los estados de Sinaloa, Baja California Sur, Baja California Norte, Jalisco, Colima, Michoacán, Estado de México, Veracruz y Zacatecas (Muñoz, 2004).

México presenta una gran diversidad de regiones distribuidas en el territorio nacional con diferentes climas, altitudes y condiciones meteorológicas, donde se puede producir bajo agricultura protegida, existen también diferentes tipos de estructuras que se pueden adecuar al ambiente de la región, facilidades de mano

de obra, apoyo por parte de los gobiernos federal y estatal. Las regiones de Sinaloa, Baja California norte, Baja California sur y Sonora se distinguen por su crecimiento y productividad en casa sombra, pues sus condiciones les permiten producir en invierno y en suelo sin estructuras formales de protección, utilizando únicamente mallas anti áfidos e infraestructura de tutores, bajando los costos de producción, sin embargo solo producen en invierno, debido a que su mercado está establecido en Estados Unidos, por otro lado, en la región central del país está creciendo el uso del invernadero multitúnel automatizado, principalmente utilizando sistemas hidropónicos, en cuanto a instalaciones formales de invernaderos estos se encuentran en los estados de Baja California, en el norte de Sonora, Puebla y Jalisco (Ojo de agua, 2007).

Los puntos principales de México en el desarrollo de agricultura protegida (utilizando casa sombra) están en Sinaloa, en las inmediaciones de Culiacán y los Mochis; en el sur de Sonora, hacia el valle del Yaqui y en Baja California Sur (Ojo de agua, 2007).

En el estado de Guanajuato en los municipios de Celaya, Irapuato, San Miguel de Allende, Dolores Hidalgo, y San Luis de la Paz; en Zacatecas, hacia la zona de Jerez, Ojo Caliente y Las Arcinas; en Coahuila en las inmediaciones de Torreón, en Chihuahua hacia los municipios de Delicias y Cuauhtémoc y finalmente en el estado de México se realizan cuantiosas inversiones con invernaderos en alta tecnología en la zona de pastaje, de clima frío, con alta humedad relativa y a menudo baja radiación solar por efecto de días nublados (Ojo de agua, 2007).

## 2.7 Sustratos

Castellanos y Vargas (2009), señalan que actualmente en México hay crecimiento constante en el uso de sistemas de producción de frutas y hortalizas en condiciones de invernadero (agricultura protegida), dentro de los cuales, el sistema más utilizado, es el de producir utilizando sustratos con o sin recirculación

de solución nutritiva. La sustitución del cultivo tradicional en suelo por el cultivo fuera del suelo sigue esta misma línea evolutiva de controlar los factores de producción, el aumento de este control brinda la posibilidad de aumentar la gama de productos, la productividad de los cultivos y la calidad de las cosechas, la evolución de estructuras para el control de factores ambientales así como los equipos de riego y fertilización proporcionan cada día mayor control sobre los factores de producción que afectan el sistema radical. Raviv *et al.* (1986), la FAO (1990) y Abad (1995), señalan las siguientes razones para sustituir el cultivo en suelo por cultivo fuera del suelo.

- a) La necesidad de transportar las plantas de un lugar a otro.
- b) La existencia de factores limitantes para la continuidad de los cultivos intensivos en el suelo natural, (salinidad, enfermedades, agotamiento de suelos agrícolas).
- c) La fuerte intensificación cultural que facilita el cultivo hidropónico y en sustrato, al permitir un control riguroso del medio ambiente que rodea las raíces de los vegetales, especialmente de los aspectos relacionados con el suministro de agua y nutrientes.

El termino sustrato se aplica a todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo *in situ*, que, colocado en un contenedor, puro o mezclado, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando, por tanto, el papel de soporte de la planta (Abad *et al.* 2005; Abad *et al.* 2004 y Teres, 2001). Este puede intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta, por lo que se le puede clasificar como químicamente activos (turberas, corteza de pino etc.) o químicamente inertes (perlita, lana de roca, roca volcánica, etc.) (Cadahía, 2005; Pastor, 1999; Teres, 2001; Urrestarazu y Salas 2004).

El sustrato es un sistema de tres fracciones con funciones propias, la fracción sólida asegura el mantenimiento mecánico del sistema radical y la estabilidad de la planta, la fracción líquida aporta agua a la planta y por interacción con la

fracción sólida, los nutrientes necesarios, la fracción gaseosa asegura el intercambio de oxígeno y bióxido de carbono del entorno radical y el medio externo (Lemaire, 2005). El problema fundamental de los sustratos es asegurar la producción de biomasa de las partes aéreas con la ayuda de un volumen limitado de sistema radical. Esto nos indica la importancia de conocer las propiedades físicas, fisicoquímicas, químicas y biológicas de estos mismos, ya que condicionan en mayor medida los cultivos en contenedor, determinando posteriormente su manejo. Se entiende por contenedor cualquier recipiente que tenga una altura limitada y que su base se encuentre a presión atmosférica (Burés, 1997). El sustrato está constituido por un material poroso, en el que se desarrolla el sistema radical de la planta, la cual toma agua, nutrientes que necesita para su desarrollo y el oxígeno necesario para el correcto funcionamiento del sistema radical.

### 2.7.1 Propiedades de los sustratos

Estas se dividen básicamente en tres categorías: físicas, químicas y biológicas.

#### 2.7.1.1 Las propiedades físicas de los sustratos

Son de gran importancia para el desarrollo normal de la planta, éstas determinan la disponibilidad de oxígeno, la movilidad del agua y la facilidad para la penetración y crecimiento de raíz (Quiroz *et al.*, 2009). Una vez colocado en el contenedor, dichas propiedades resultan prácticamente imposible modificarla (Pastor, 1999). Las propiedades físicas de un sustrato incluyen: porosidad, capacidad de retención de agua, textura, densidad aparente, estabilidad estructural, entre otras.

#### 2.7.1.1.1 Porosidad

Permite que la raíz de la plántula tenga suficiente oxígeno, cuando el contenido de este elemento es de 12% puede obstruir el crecimiento de nuevas raíces (Landis *et al.*, 1990). La relación aire-agua en el sustrato es consecuencia directa de la distribución del tamaño del poro, la forma, tamaño y distribución del poro condicionan las propiedades hídricas del sustrato y por lo tanto el manejo del agua de riego (Teres, 2001). Si la disponibilidad de agua es baja la planta tiene dificultades para su adecuada nutrición hídrica afectando su desarrollo (Teres y Beunza, 1997). La densidad real tiene un interés relativo, su valor varía en función del material de que se trate y suele oscilar entre 2.5-3 para la mayoría de los sustratos de origen mineral; mientras que la densidad aparente indica indirectamente la porosidad del sustrato, su facilidad de transporte y manejo, los valores bajos son los preferentes (0.7-0.1) y que garanticen una cierta consistencia de la estructura (INFOAGRO, 2002).

#### 2.7.1.2 Las propiedades químicas

Influyen en la disponibilidad de nutrientes, humedad u otros compuestos para la plántula de ahí su importancia (Quiroz *et al.*, 2009). También tiene un efecto en el suministro de nutrientes a través de la C.I.C., la cual depende a su vez, en gran medida de la acides del sustrato (Ansorena, 1994). Dentro de estas propiedades químicas de los sustratos destacan: fertilidad, capacidad de intercambio catiónico, pH, capacidad tampón, relación C/N, la fertilidad depende de la cantidad de nutrientes que la plántula requiere en gran cantidad (nitrógeno, fósforo y potasio). La capacidad de intercambio catiónico (CIC), es uno de los atributos más importantes relacionados con la fertilidad del medio de crecimiento, se define como la capacidad del medio o sustrato para absorber iones cargados positivamente o cationes (Quiroz *et al.*, 2009). Una de las propiedades a considerar para un sustrato es el pH, debido a su importancia en la disposición de

nutrientes para las plantas. Para la producción de plántulas en viveros y en contenedores se recomienda manejar un pH de 5.5-6.5 (Landis *et al.*, 1990), cuando el sustrato es muy ácido a pH menores a 5 o alcalinos mayor a 7.5 suelen aparecer síntomas de deficiencias nutrimentales, no por su escasez en el medio, sino por encontrarse químicamente no disponibles para la planta (Valenzuela y Gallardo, 2005).

### 2.7.1.3 Las propiedades biológicas

Se refiere a las propiedades aportadas por los materiales orgánicos. Donde se evalúa la estabilidad biológica del material, la presencia de componentes que pueden actuar como estimuladores o inhibidores del crecimiento vegetal (Teres, 2001). Una de las características a considerar es la velocidad de descomposición del material, en especial los sustratos orgánicos, dado que son susceptibles a degradaciones biológicas ocasionadas por la población microbiana.

### 2.7.2 Clasificación de los materiales utilizados como sustratos

La clasificación de los sustratos se basa en el origen de estos, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc. Sin embargo, la más común es en materiales orgánicos e inorgánicos (Abad, 1995; Burés, 1997; Abad *et al.*, 2005).

- Suelo.

Este es el principal medio de crecimiento de las plantas, comúnmente es utilizado en viveros y en cultivos bajo cubierta, debido a su disponibilidad y su costo que es nulo, aunque no siempre cumple con las condiciones óptimas para su utilización

en vivero. González (2002), menciona que el suelo por lo regular presenta problemas tales como: la degradación superficial debido al llenado de bolsas, es un hospedero de plagas y enfermedades que dañan el sistema radical; su textura no es homogénea (poca o demasiada compactación), sus propiedades físicas y químicas no son estables o constantes, Por lo tanto hay que tratar a cada suelo de modo específico con el fin de satisfacer las necesidades del cultivo, lo cual se logra con mayor facilidad en suelos con contenidos de arcilla del 10-15%, arena 50-60%, 12-20% limo y 6-8% de materia orgánica (FAO, 2002).

- Arena de río.

Es un material inerte, que se emplea en la confección de mezclas para sustratos artificiales. El tipo de arena adecuada para estas mezclas es la silica, de tamaño muy fino, pudiendo utilizarse la de río, de yacimientos y de playas; en este último caso es necesario lavarlas antes de ser empleadas (Serrano, 1990). La arena es uno de los materiales más utilizados debido a su fácil obtención, disponibilidad y económico. Las recomendaciones sobre su tamaño son considerablemente variables (Landis *et al.*, 1990). Su granulometría más adecuada oscila entre 0.5 y 2 mm de diámetro. Su capacidad de retención de agua es media (20 y más del 35% de su peso y volumen, respectivamente); su capacidad de aireación disminuye con el tiempo debido a su compactación; es relativamente frecuente que su contenido de caliza alcance del 8 al 10%. Algunos tipos de arena deben lavarse previamente. Su pH varía entre 4 y 8 Su durabilidad es elevada. Es muy frecuente su mezcla con turba, como sustrato de enraizamiento y de cultivo en contenedores (Castellanos y Vargas, 2009). La arena reduce la porosidad del medio de cultivo, la porosidad de la arena es de alrededor del 40% del volumen aparente, no contiene nutrientes y no tiene capacidad amortiguadora, la CIC es de 5 a 10 meq L<sup>-1</sup>., la arena impide movimientos ascendentes del agua, lo que evita el traslado de sales del suelo natural subyacente, disminuye la evaporación, evita el

desarrollo de malas hierbas, mejora la aireación de la zona radical y aumenta la temperatura del sustrato (Baudoin y Nisen, 2002)

- Tezontle rojo.

Es un material rojizo de origen volcánico, es ligero y con una apariencia esponjosa. La capacidad de retención de agua es de 36 a 49 %; el tamaño recomendado de las partículas fluctúa entre 5 y 15 mm de diámetro; está constituido por silicatos de aluminio, es uno de los más usados en México en cultivos sin suelo, se puede decir que es un excelente material, pero su principal inconveniente es su variabilidad respecto a su granulometría (Castellanos y Vargas, 2009)

- Cascarilla de arroz.

Este sustrato es un sub producto de la industria molinera, es utilizado principalmente para mezclas con otros sustratos, mayormente con gravas, es liviano de baja capacidad de retención de humedad, es de lenta descomposición, la principal función de este en las mezclas es favorecer la oxigenación del sustrato. Pero tiene mala capilaridad. Es un material rico en K y P pero bajo en N, además posee grandes cantidades de B y Mn, es una fuente principal de silicio (Calderón- Sáenz, 2002).

#### 2.7.2.1 Materiales orgánicos

De acuerdo a su origen los sustratos pueden ser de tres tipos:



#### 2.7.2.1.1 Naturales

Son materiales que están sujetos a descomposición biológica, ejemplo turba, tierra de monte etc.

#### 2.7.2.1.2 Sintéticos

Normalmente denominados plásticos: polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química como la espuma de poliuretano y poliestireno, espumas de resinas fenólicas (Bunt, 1988; Bures, 1997).

#### 2.7.2.1.3 Residuos y subproductos de diferentes actividades de producción y consumo

Los materiales de este grupo requieren una previa maduración o estabilización de su materia orgánica para poder ser adecuados como sustratos, como son las cortezas de los árboles, el aserrín, viruta de madera, residuos sólidos urbanos, estiércoles, cascarilla de arroz, paja de cereales, polvo de coco (Beeson, 1996; Bures, 1997; Chong y Cline, 1993; Tripepi *et al.*, 1996).

### 2.7.3 Materiales inorgánicos

#### 2.7.3.1 De origen natural

Son materiales obtenidos a partir de rocas o minerales de origen diverso (ígneas, metamórficas o sedimentarias), no son biodegradables ejemplo: arena, grava, roca volcánica, zeolita, etc.

#### 2.7.3.1.2 Transformados o frotados industrialmente

Son materiales cuyo origen son rocas o minerales, que han sufrido un proceso químico o físico, con el objetivo de obtener fibras y o gránulos ligeros muy porosos, por lo que en este grupo tenemos a la perlita, lana de roca, vermiculita, arcillas expandidas, etc. (Bunt, 1988; Hitchon *et al.*, 1990).

#### 2.7.3.1.3 Residuos y subproductos industriales

Estos materiales provienen de diversas actividades industriales, residuos de procesos de combustión, desechos de minería, escorias de carbón y escorias de los hornos etc. (Burés, 1997).

#### 2.7.4 Criterios de selección de un sustrato

La función principal de un sustrato es proporcionar el medio ideal para el crecimiento de la raíz. En cultivos sin suelo se pueden emplear un gran número de materiales en forma pura o mezclados (Abad, 1995; Abad y Noguera, 2000). La elección de un material como sustrato generalmente se hace de acuerdo a:

- a) suministro y homogeneidad: los cambios en la calidad del sustrato pueden provocar pérdidas en la producción por lo que es necesario que el material a utilizarse sea de abundante suministro y con una elevada homogeneidad en cuanto a sus características. Aspecto básico que deberán tomar en cuenta los proveedores de estos ya que son los responsables de garantizar la homogeneidad.
- b) Costos: es un parámetro significativo, aunque, no debe de estar por encima de las características básicas (es preferible adquirir un sustrato de mayor

costo que cumpla con las características mínimas ya que esto nos permite reducir riesgos)

- c) Finalidad de la producción: de la elección del sustrato dependerá el manejo y la calidad del producto.
- d) Propiedades: Una vez reunidos los tres puntos anteriores, se procede a realizar un análisis detallado de las propiedades del material, las cuales son el factor limitante para determinar el manejo del cultivo.
- e) Impacto ambiental: aquí se consideran dos grandes grupos de sustratos. 1) los materiales que provienen de recursos naturales difícilmente renovables como en el caso de la turba, los cuales su uso es cada vez más limitado a pesar de tener muy buenas propiedades. 2) los materiales transformados o tratados industrialmente (lana de roca), que constituyen un problema su desecho. El reciclado y la reutilización de residuos representan una buena alternativa.

Otro factor a considerar para elegir un determinado material a utilizar como sustrato, es la ausencia de sustancia tóxicas para la planta (fitotoxinas) (Abad, 1993)

#### 2.7.5 Caracterización de sustratos. Estudio de la fase sólida

Así como se han caracterizado y clasificado los suelos para su manejo, es necesario realizar lo mismo con los sustratos, en los suelos la caracterización química es primordial y en general se les asigna una menor importancia a las propiedades físicas. Por el contrario, en los sustratos las características físicas son de mayor importancia (Abad *et al.*, 2005; Abad, 2003; De Boodt *et al.*, 1974; Park *et al.*, 2004; Raviv *et al.*, 1984; Verdonck *et al.*, 1974, Verdonck y Demeyer, 2004) y las características químicas son de menor relevancia, dado que los nutrientes se suministran en la solución nutritiva. Por otra parte (Bures, 1997), señala que el conocimiento de las propiedades físicas y químicas dependerá el manejo de riego y fertilización, y por lo tanto el éxito del cultivo.

Por lo general, las propiedades que mejor caracterizan a un buen sustrato, en cuanto a su aptitud para la germinación, enraizamiento y el desarrollo de las plantas, son las siguientes (Abad *et al*, 2004; Abad *et al.*, 2005; López-Cuadrado y Masaguer, 2006; Raviv *et al.*, 1984).

#### 2.7.5.1 Propiedades físicas

Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, suficiente suministro de aire, distribución del tamaño de las partículas adecuado para que mantenga las condiciones anteriores, baja densidad aparente, elevada porosidad total y estructura estable que impida la contracción del sustrato, dentro de estas propiedades se encuentran las que se describen a continuación.

##### 2.7.5.1.1 Granulometría

El tamaño de las partículas del sustrato, así como las dimensiones de los poros que estas determinan, son dos características que van a condicionar el desarrollo de las plantas, puesto que la aireación radical y la retención de agua van a estar en función de aquellas (Abad, 1995).

El mejor sustrato se define como aquel material de textura gruesa a media, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 y 300 micras, equivalentes a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 y 2.5 mm, capaz de retener suficiente agua, fácilmente disponible y de poseer además un adecuado contenido de aire (Puustjarvi, 1983).

##### 2.7.5.1.2 Espacio poroso total

Se refiere al volumen total del sustrato de cultivo no ocupado por partículas orgánicas ni minerales (Abad y Noguera, 2000), estos espacios se clasifican en

porosidad externa e interna, respectivamente, los espacios que se forman entre las partículas originan la porosidad externa y se genera por la forma de empaquetamiento y grado de compactación a la que se someten los materiales, además está implicada por el tamaño del recipiente, forma, tamaño, naturaleza y características de las partículas constituyentes de la fracción sólida (Bastida, 2002).

El nivel óptimo se sitúa por encima del 85% del volumen del sustrato, el espacio poroso se refiere a la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar libremente (Abad, 1993).

#### 2.7.5.1.3 Densidad aparente

Se define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del sustrato húmedo, es decir incluyendo el espacio poroso entre las partículas. La densidad aparente desempeña una función importante, porque los sustratos y contenedores son transportados durante su manejo y manipulación, consecuentemente su masa debe ser tomada en cuenta (Abad y Noguera, 2000), la densidad aparente afecta el crecimiento de las plantas, debido a la influencia que tiene la resistencia y porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y disminuye la porosidad del suelo, estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presente el suelo y de la especie que se trate, por ejemplo: para suelos arenosos una densidad aparente de 1.759 kg/m<sup>3</sup> limita el crecimiento de las raíces de girasol, mientras que, en suelos arcillosos, ese valor crítico es de 1.460 a 1630 kg/m<sup>3</sup>, para la misma especie (Jones, 1983).

#### 2.7.5.1.4 Agua fácilmente disponible

Es la diferencia entre la cantidad de agua retenida por el sustrato, después de haberlo saturado con el riego y posterior drenaje a una tensión mátrica de 10 cm y la cantidad de agua que se encuentra en dicho medio a una tensión de 50 cm, el valor óptimo oscila entre el 20 y 30% del volumen (Abad, 1993).

#### 2.7.5.1.5 Capacidad de aireación

Es el porcentaje de volumen del sustrato que contiene aire después de que dicho medio ha sido saturado con agua, y dejado drenar usualmente a 10 cm de tensión. El nivel óptimo de la capacidad de aireación oscila entre el 20 y el 30% en volumen (Abad, 1993).

#### 2.7.5.2 Propiedades químicas

Baja o suficiente capacidad de intercambio catiónico en función de la fertilización aportada, suficiente nivel de nutrientes asimilables, baja salinidad, elevada capacidad tampón y pH ligeramente ácido y mínima velocidad de descomposición.

##### 2.7.5.2.1 Potencial de hidrogeno (pH)

La reacción del sustrato es importante porque ejerce sus efectos sobre la disponibilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. El chile habanero es moderadamente tolerante a la salinidad

(FAO, 1994; Aragón, 1995) y puede desarrollarse en un pH de 4.3 y 8.3 siendo su óptimo alrededor de 6.3 (FAO, 1994).

#### 2.7.5.2.2 Disponibilidad de nutrientes

La mayoría de los sustratos minerales no se descomponen químicamente ni biológicamente y desde un punto de vista práctico, se pueden considerar desprovistos de nutrientes, por el contrario los sustratos orgánicos difieren notablemente en sus contenidos de nutrientes asimilables; así algunos (*turba rubia, mantillo de bosque, etc.*) poseen un nivel reducido de nutrientes asimilables, mientras que otros (*composta*), presentan niveles elevados, dependiendo este del material de origen y del proceso del compostaje (Raviv *et al.*, 1986; Bures, 1997).

#### 2.7.5.2.3 Capacidad de intercambio catiónico

Se define como la suma de los cationes que pueden ser absorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato. Estos cationes están disponibles para la planta y no son lixiviados por efecto del riego. El valor óptimo de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los sustratos está estrechamente relacionado con la frecuencia de la fertirrigación (Lemaire *et al.*, 1989). Si ésta se aplica permanentemente, la capacidad de adsorción de cationes no constituye ninguna ventaja, siendo recomendable en este caso la utilización de materiales inertes, con muy baja o nula (CIC). Si, por el contrario, se aplica de modo intermitente, será conveniente utilizar sustratos con una capacidad de intercambio catiónico de moderada a elevada, es decir, superior a 20 meq/100 g (Abad, 1993).

#### 2.7.5.2.4 Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

La relación C/N se emplea tradicionalmente como un índice del origen de la materia orgánica, de su madurez, estabilidad y capacidad para suministrar nitrógeno a las plantas. Una relación C/N inferior a 20 es considerada como óptima para el cultivo en sustrato, es un indicador de un material orgánico maduro y estable (Abad, 1993; Ballester-Olmos, 1992; Paneque, 1998).

#### 2.7.5.2.5 Conductividad eléctrica (C.E.) salinidad y presión osmótica (P.O)

La salinidad es la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato y que no están absorbidas por el complejo de intercambio del mismo. El valor de la C.E. constituye un buen indicador de la salinidad de un sustrato, y depende de la concentración de iones en la disolución, además de la temperatura, no influyendo en ella la urea ni otros compuestos orgánicos que no se ionizan (Abad, 1995). Según Bunt (1988) y (Lamaire, 1997), las causas que originan un incremento en la salinidad del sustrato, una vez introducido en el contenedor, son:

- 1) La presencia de fertilizantes insolubles, como son los de lenta liberación, cuando se degradan para producir nitratos, o bien cuando liberan sales mediante difusión, en una cuantía superior a las cantidades absorbidas o lixiviadas;
- 2) Cuando la cantidad de sales aportadas con el agua de riego o la solución nutritiva son superiores a las cantidades absorbidas por la planta más las pérdidas por lixiviación y
- 3) Cuando el sustrato presenta una alta capacidad de intercambio catiónico y al mismo tiempo, se descompone durante el transcurso del cultivo liberando nutrientes. Todas estas situaciones pueden prevenirse mediante el conocimiento de las cantidades de fertilizante requeridas por el cultivo y evitando aplicaciones excesivas del mismo.



### 2.7.5.3 Propiedades biológicas

Un examen detallado de las propiedades de los sustratos de cultivo debe incluir el estudio de sus propiedades biológicas, las cuales evalúan la estabilidad biológica del material, así como la presencia de componentes que pueden actuar como estimuladores o inhibidores del crecimiento vegetal.

### 2.7.5.4 Otras propiedades

Los sustratos deberán estar libres de semillas de malas hierbas, fitopatogenos y sustancias citotóxicas, disponibilidad y bajo costo, fácil de manejar, re humectar y desinfectar, resistente a cambios físicos, químicos y ambientales externos.

#### 2.7.5.4.1 Tamaño de las partículas.

La fase solida del sustrato puede presentar distintos tamaños de partícula, el tamaño de la partícula se relaciona con:

- Capacidad de retención de agua disponible para las plantas y del suministro de esta.
- Facilidad para la circulación del agua.
- Capacidad de almacenar nutrientes.
- Superficie especifica de las partículas.

La elevada área superficial por unidad de peso (superficie específica) es una propiedad característica de las partículas pequeñas. La superficie específica varia de forma inversamente proporcional al tamaño de las partículas. En la práctica de los valores de superficie especifica suelen encontrarse entre 10 y 800

$\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$  para la arcilla y entre 800 y 900  $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$  para el humus, mientras que para el caso de arena gruesa es del orden de 0.701  $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$  (Masaguer y Cruz, 2007).

Efecto de las partículas gruesas. Masaguer y Cruz (2007), mencionan que los elementos gruesos presentan poca actividad, su superficie específica es baja y suelen ser resistentes a la descomposición. Estos materiales inciden sobre el comportamiento del sustrato y por lo tanto, en el crecimiento de las plantas sobre todo cuando su proporción es grande. Un predominio de elementos gruesos en un sustrato hace que este actúe como tamiz frente al agua a la que no es capaz de retener y, por otro lado, presenta escasas posibilidades para el suministro de nutrientes. Ansorena (1994), menciona como características de las partículas gruesas de las que podemos destacar:

- Aumenta la permeabilidad si se encuentran en proporciones suficientes.
- Si son porosas retienen la humedad.
- El almacenamiento de humedad es menor que en las partículas más pequeñas.
- Menor cantidad de nutrientes asimilables que en las partículas más pequeñas.
- Menor energía de retención de agua que en las partículas más pequeñas.
- Menor capacidad de agua fácilmente disponible que en las partículas más pequeñas.

Efecto de las partículas pequeñas. La presencia de partículas muy pequeñas hace que disminuya la porosidad total y aumente la cantidad de agua retenida, ya que aumenta el número de microporos o huecos pequeños, que son los que retienen el agua. También disminuye la porosidad ocupada por el aire al disminuir el volumen de los huecos entre partículas o macro poros, que son los de mayor tamaño. Masaguer y Cruz (2007), indican que entre sus principales características destacan:

- Presentan una cantidad de agua fácilmente aprovechable de media a alta.
- Alta superficie específica.

- Baja permeabilidad.
- Alta micro porosidad.
- Elevada energía de retención de humedad.

Estudio de la fase líquida. La fase líquida define la disposición de agua para las plantas, da soporte a la solución nutritiva y su conocimiento desde los puntos de vista energético e hidráulico permiten establecer las dosis y frecuencias de riego. El agua entra al sustrato por los macroporos y ocupa el total o parcialmente los poros capilares donde puede ser retenida. El agua disuelve y transporta elementos nutritivos, sales solubles y hace posible su absorción por las raíces de las plantas (Porta *et al.*, 2003).

Los sustratos en contenedor han de tener una elevada capacidad de retención de agua, ya que el volumen del medio de cultivo es pequeño, en relación con las pérdidas elevadas de agua por evapotranspiración (Ansorena, 1994). La relación aire-agua de un sustrato es muy importante, ya que el sustrato debe tener un equilibrio entre la fase gaseosa y la fase líquida. Una mezcla que tenga una elevada porosidad tendrá las ventajas potenciales de una buena aireación y retención de agua. Sin embargo, el que estas condiciones se den en la práctica dependerá, además, de la distribución del tamaño de los poros, si estos son muy grandes, la porosidad estará ocupada principalmente por aire, pudiendo llegar a ser insuficiente la cantidad de agua retenida. Por el contrario, si los poros son excesivamente pequeños, se retendrá mucha agua, pero disminuirá la cantidad de aire y será insuficiente para la respiración de las raíces. Por lo tanto, es necesario que la distribución de tamaño de poro sea la adecuada para que el sustrato retenga las cantidades convenientes de agua y aire (Ansorena, 1994).

Estado energético del agua. El sustrato es un medio poroso, donde el agua lo puede ocupar y moverse a través de él. Con ello, entra en contacto con la superficie de las partículas que constituyen la matriz sólida, con la que interaccionan, quedando el agua sometida a un conjunto de fuerzas. Toda la masa de agua se halla en el campo gravitatorio y los iones en disolución también interactúan con ella. Las fuerzas que retienen el agua dependen de su

composición química, la geometría del espacio poroso y de las propiedades de los materiales sólidos. Se considera que las principales formas de energía del agua son la cinética y la potencial. La cinética es despreciable dado los bajos valores de velocidad del agua al pasar por los poros de tamaño pequeño. Así, los procesos sustrato-agua, en analogía con lo que ocurre en el suelo, vienen determinados por la energía potencial, considerando despreciables efectos por la temperatura.

Fuerzas derivadas del campo gravitacional. El agua es sometida al campo gravitatorio y será mayor la fuerza cuanto mayor sea su masa según la ley de Newton. La fuerza de la gravedad tiende a extraer el agua al exterior del sustrato.

Fuerzas derivadas de la matriz. Son las fuerzas que generan las partículas de la matriz del sustrato sobre el agua y se clasifican en:

Fuerzas de adhesión. Se originan en las superficies de las partículas sin carga y son de origen molecular (fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrogeno), de corto enlace y la cantidad retenida de agua de esta forma es pequeña.

Fuerzas de cohesión. (Por efectos capilares) se deben a las uniones de moléculas de agua mediante puentes de hidrogeno. El agua es retenida con poca intensidad y, por lo tanto, son absorbibles por las plantas.

Fuerzas de difusión. La difusión es el movimiento de moléculas a lo largo de un gradiente de concentración, debido a la agitación térmica aleatoria. Es el movimiento de moléculas de las zonas de mayor concentración a zonas de menor concentración, hasta que se alcanza la condición de equilibrio.

La cohesión, adhesión y la tensión superficial dan como resultado el fenómeno de capilaridad, las fuerzas capilares son el resultado de la atracción del agua por las superficies al igual que pasa en el tubo capilar. De lo anterior podemos deducir que la fuerza de succión que deberá ejercer la planta para extraer el agua retenida por el sustrato será tanto mayor cuantas menores sean

los poros: si se reduce 10 veces el diámetro de los poros, la energía necesaria para extraer un volumen de agua determinado se multiplica por 10.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del sitio experimental

El experimento se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo ubicada en Apatzingán, Michoacán. Sus coordenadas geográficas son 19°06'00" latitud norte, 102°22'00" longitud oeste, a 350 m de altitud, clima cálido seco, precipitación anual de 750 mm (Figura 1)



Figura 1. Localización del sitio experimental

La duración diaria de la iluminación natural durante el desarrollo del experimento fue de 12 horas en promedio, la temperatura máxima de 40 °C y la mínima de 20 °C. Dentro de una estructura casa sombra tipo túnel, cubierta con malla sombra al 60%, orientada de oriente a poniente, con una superficie de 400 m<sup>2</sup>, 10 m de frente por 40 m de fondo, es una estructura rustica con altura de 7 m al cenit y 5 m a la canaleta, cuenta con sistema de riego por goteo, el cual está integrado por 4 cisternas marca Rotoplas de 2500 litros de agua cada una y una

bomba de agua de dos pulgadas para su sistema de riego y sistema de nebulización (Figura 2).



Figura 2. Casa sombra tipo túnel utilizado en el presente estudio.

### 3.2 Características genéticas del chile habanero utilizado

Debido a que las semillas de chile habanero tipo chocolate que se utilizó no proceden de ningún programa de mejoramiento genético, se considera criolla (Figura 3).



Figura 3. Semilla de chile habanero tipo chocolate

### 3.3 Material utilizado como sustrato.

#### 3.3.1 El suelo

El tipo de suelo donde se instaló el proyecto es vertisol pelico, el termino vertisol deriva del vocablo latino (verteré) que significa verter o revolver, haciendo alusión al efecto de batido y mezcla provocado por la presencia de arcillas hinchables (Suelos apatzingan-oeidrus consultado en línea junio- 2017).

#### 3.3.2 Arena de rio.

La arena utilizada para este experimento fue extraída de la orilla del rio Apatzingán, no se realizó ninguna modificación a su estructura ni contenido, tampoco se sometió a procesos de desinfección, el material fue utilizado tal y como fue extraído de su ámbito natural, es un material de color blanco arenisco, revuelca con poca piedra de rio y con presencia de pequeñas conchas y caracoles (Figura 4).





## Figura 4. Material utilizado como sustratos

### 3.3.3 Tezontle o granzón rojo

El tezontle o granzón rojo se adquirió en una comercializadora de materiales para construcción dentro de la localidad, este material se trajo de Buenavista Tomatlan donde se encuentra un banco de extracción de materiales, así como una trituradora la cual le da un volumen de tamaño específico al material dependiendo para lo que se vaya, a utilizar en este caso con una granulometría aproximada de 5 centímetros, de la misma forma no se le modificó el contenido del material ni tampoco se sometió al tratamiento alguna para su desinfección (Figura 4).

### 3.3.4 Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz se compró en la arrocera Covadonga, es una empresa que beneficia la semilla de arroz y el desecho “la cascarilla de arroz” la venden a cualquier persona que la ocupe para distintos fines, de la misma forma que los anteriores sustratos mencionados, no se le realizó ningún tratamiento adicional. El material fue depositado en las bolsas para recibir la plántula de chile habanero, este sustrato se encontraba mezclado con un mínimo de porcentaje de semilla arroz fértil la cual germinó durante el desarrollo del cultivo de chile (Figura 4).

## 3.4 Producción de plántula

El día 3 de febrero del 2017, se realizó la producción de plántula para el experimento, la germinación de la semilla ocurrió el día 10 de febrero del 2017; 7 días después de la siembra (dds), se le aplicó un riego al tercer día de depositada

la semilla en virtud que el sustrato ya no presentaba humedad adecuada para asegurar la hidratación de la semilla a consecuencia de las altas temperaturas. A los siete (dds) se destaparon las charolas y se colocaron en una sola hilera para aplicarles riegos por la mañana y por la tarde, con una regadera metálica de 2 litros de capacidad. Los riegos se realizaron diariamente a las 9 de la mañana y a las 3 de la tarde durante los primeros 45 dds (Figura 5).



Figura 5. Plántula producida previa al trasplante en macetas

Se utilizó semilla, de chile habanero tipo chocolate recolectada de un cultivo establecido con anterioridad en la región de Apatzingán Michoacán, la cual se sembró en cuatro charolas de poliestireno de 200 cavidades cada una que previamente se desinfectaron con cloro comercial por inmersión durante 5 minutos, las cuales fueron llenadas con sustrato hidratado Sunshine y posteriormente se depositó una semilla de chile habanero en cada cavidad a una profundidad no mayor a 3 mm y que fue cubierta con sustrato seco aplicándole un riego para humedecerlo, después se apilaron y cubrieron con un plástico negro para crear un ambiente óptimo para la germinación de la semilla y mantener una temperatura óptima (35 a 40 °C).

### 3.5 Establecimiento del experimento

Se utilizó como sustratos inertes, 500 kg de Granzón (tezontle rojo), 2000 kg de arena de río, 260 kg de cascarilla de arroz, (Figura 4) como recipiente para el sustrato se utilizó bolsa negra de 20X40X40 cm con fuste. Para instalar el sistema de riego se adquirió 200 metros de manguera de 16 mm, 100 arañas con 4 goteros auto calibrados de 8 l h<sup>-1</sup>, 10 mini válvulas 16 mm.

El material que se utilizó como sustrato se envió a un laboratorio agrícola para su análisis y conocer sus características físicas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Características físicas de los sustratos

<b>Sustrato</b>	<b>Peso específico (mg m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Porosidad (%)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Máxima retención de agua (L kg<sup>-1</sup>)</b>
Granzón	0.95	57.45	0.26	0.09
Arena de río	1.57	40.75	0.35	0.26
Cascarilla de arroz	0.11	89.59	5.90	1.27

Fuente: Diagnósis, laboratorio Agrícola, 2018

### 3.6 Tratamientos en estudio y diseño experimental

En total se evaluaron 6 tratamientos: T1: granzón; T2: granzón + cascarilla de arroz (1:1), (v/v); T3: arena de río + cascarilla de arroz (1:1), (v/v); T4: arena de río; T5: cascarilla de arroz y T6: trasplante en el suelo. La distribución en campo fue en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Por lo que se generaron 18 unidades experimentales (Figura 6). Cada unidad experimental estuvo integrada por 10 bolsas con una planta cada una y en testigo por 10 plantas trasplantadas en el suelo.

<i>T1R1</i>	<i>T2 R1</i>	<i>T3 R1</i>	<i>T4 R1</i>	<i>T5 R1</i>	<i>T6R1</i>
<i>T2 R2</i>	<i>T1R2</i>	<i>T4 R2</i>	<i>T5 R2</i>	<i>T3 R2</i>	<i>T6R3</i>
<i>T3 R3</i>	<i>T5 R3</i>	<i>T1 R3</i>	<i>T4 R3</i>	<i>T2 R3</i>	<i>T6R2</i>

Figura 6. Distribución de los tratamientos en casa sombra

Se llenaron las bolsas negras de plástico con los sustratos de acuerdo a cada tratamiento. Las bolsas llenas se colocaron dentro de la casa sombra de la siguiente manera: columnas dobles de 5 bolsas cada una orientadas de oriente a poniente de 80 cm de ancho, distancia entre filas y plantas de 40 y 50 cm, a respectivamente, total 5 columnas dobles y 6 pasillos de un metro de ancho entre las columnas de los tratamientos.

Una vez colocadas las bolsas con sustrato por tratamiento y repetición, enseguida se aplicó un riego para saturar el contenedor de agua a su capacidad de campo durante dos días para hidratarlo y facilitar la adaptación de la plántula en cada sustrato, posteriormente se perforaron las bolsas para drenar el agua sobrante y se realizó el trasplante de las plántulas en los contenedores cuando éstas tenían 45 días después de germinación (el día 27 de marzo del 2017) (Figura 7). A partir de esta fecha, diariamente se les aplicó dos riegos por goteo con dos horas de duración cada uno, el primero en la mañana a partir de las 8:00 am y el segundo por la tarde a partir de las 15 horas; únicamente la primera semana fue con agua pura (sin fertilizante), pero a los ocho días después del trasplante (4 de abril del 2017), se empezó a aplicar fertirrigación utilizando la solución nutritiva de Steiner al 100% (Cuadro 6).



Figura 7. Distribución de la planta dentro de la estructura.

### 3.7 Manejo del cultivo

#### 3.7.1 Riego

Diariamente se realizaron tres riegos durante el día (8:00- 8:45, 14:00-14:45 y 19:00-19:45) con una duración de 45 minutos, pero la duración de éste aumentó de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo; a partir de la fase vegetativa dos horas a intervalo de 4 horas y en la parte productiva, pasó a tres horas a intervalos de 4 horas. Para mantener la humedad de los sustratos, entre los intervalos de fertirriego, se realizaron riegos con agua sin nutrientes con una duración de 20 minutos. También se realizó un análisis de agua para ver la calidad de la misma y proceder a realizar ajuste en la solución nutritiva (Cuadro 5).

Cuadro 5. Resultado del análisis de agua utilizado en el riego.

pH	C.E.	Na	k	Ca	Mg	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	CL	SO <sub>4</sub>	B	RAS	SP
	dSm <sup>-1</sup>	Me L <sup>-1</sup>								Mg L <sup>-1</sup>	Me L <sup>-1</sup>	
<b>7.84</b>	0.39	0.37	0.10	1.22	2.21	0.00	2.87	1.0	0.05	0.02	0.28	1.02

Fundación produce Michoacán

### 3.7.2 Solución nutritiva

A partir de los 15 días después del trasplante (15 ddt<sup>1</sup>), se inició la aplicación de la solución nutritiva al 50%, posteriormente se incrementó al 100%, durante el primer mes. La formulación química de la solución nutritiva utilizada, corresponde a la descrita por Steiner (1961), (Cuadro 6). Al momento de prepararla, se ajustó el pH del agua a 5.5 adicionando ácido sulfúrico al 95% (0.07 ml/l agua), características necesarias para evitar precipitados y eliminar la mayor parte de bicarbonatos presentes. La solución nutritiva se preparó para un volumen de agua de 2500 L de solución al final, de cada solución nutritiva se tomaron datos de (C.E), para comprobar los valores de pH, así como la temperatura de la solución.

Cuadro 6. Cantidad y fuentes de fertilizante utilizado para el cultivo de chile habanero tipo chocolate, tomando como base la solución Steiner.

Macro elementos	Cationes			Aniones		
	N	P	K	Ca	Mg	S
<b>solución Nutritiva me L<sup>-1</sup></b>	12	1	7	9	4	7
<b>ppm</b>	600	100	200	200	50	60
Nitrato de calcio Ca (No <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> g	818.86					
Nitrato de potasio K No <sub>3</sub> g			517.18			
Sulfato de potasio K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> g			281.34			
Sulfato de magnesio MgSo <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O g					119.83	
Ácido fosfórico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> mL		16.54				

Esta solución se aplicó inicialmente al 50% durante una semana, posteriormente se incrementó al 100%, la frecuencia de ésta varió en función a las temperaturas que se registraron dentro de la zona de estudio, modificando la frecuencia de los riegos.

Los microelementos fueron aplicados en forma de quelatos vía foliar utilizando, polyquel y Aminocel 500 a una dosis de 1 g/ L de agua.

### 3.7.3 Podas y tutores

Las plantas se condujeron a tres tallos (Figura 8), para esto se eliminaron brotes laterales del tallo principal durante los tres primeros meses del cultivo, práctica que se realizó manualmente, iniciándose con esta actividad a los 75 ddt.



Figura 8. Plantas de chile habanero con tres tallos principales.

#### 3.7.4 Polinización

Un factor que limita la producción en invernadero es la polinización y por lo consiguiente el rendimiento del cultivo (Quezada-Euán, 2009), la cual, puede ser propiciada por medios abióticos, como el uso de hormonas y medios bióticos usando insectos polinizadores (Dávila, 2011), por lo antes expuesto se realizaron 2 aplicaciones de hormonas comerciales (agromil v plus) en dosis de 1 ml L<sup>-1</sup> de agua, con un intervalo de aplicación de 30 días.

#### 3.7.5 Plagas y enfermedades

Se realizaron seis aplicaciones preventivas con productos orgánicos contra plagas y enfermedades fungosas a base de extractos vegetales (canela, neem, ajo, piretroides, chile,), a intervalos de 15 días, a una dosis de 2 ml L<sup>-1</sup> de agua.

El cultivo presentó síntomas de virosis ya que desarrollo sintomatología de un mosaico, afectando el 40% el cultivo, por lo que se procedió a realizar aplicaciones foliares de sales potásicas a dosis de 1 ml L<sup>-1</sup> agua y mezclado con elementos menores comerciales a razón de 2 g/L<sup>-1</sup> agua, también hubo presencia de mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) (Figura 9) a partir de los meses de abril y mayo, época óptima para el desarrollo de éstos insectos por sus temperaturas ya que aparece en la épocas más calurosas del año, en primavera y verano son más activas, para su control se realizaron aplicaciones a intervalos de 15 días de endosulfan, thiodan y sulfoximinas, realizando una rotación de éstos cada 20 días, realizando en total seis aplicaciones. Además, se presentó araña roja, (Figura 10) para su control se realizaron tres aplicaciones de abamectina comercial a una dosis de 2 ml L<sup>-1</sup> agua, con intervalos de 20 días entre aplicaciones, dentro de la etapa de producción se observó la presencia de palomilla, lo que nos ocasionó la presencia de gusano del fruto, (Figura 11), para



lo cual se realizaron aplicaciones de jabón orgánico (*neem, chile, piretro*) con acción ovicidas para el control de esta plaga).



Figura 9. Mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*)



Figura 10. Araña roja (*Tetranychus urticae*)



Figura 11. Gusano del fruto (*Heliothis virescens*)

### 3.7.6 Cosecha

Se realizó en forma manual y por planta de acuerdo a la maduración del fruto, y al mismo tiempo se fueron midiendo diversas variables, el primer corte se realizó el día 28 de agosto del año 2017 (155 ddt) para los tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5). Para el T6, las plantas no presentaron frutos maduros en esa fecha de corte. Se cortaron cuando el fruto presentó en su totalidad una coloración café brillante (Figura 12).



Figura 12. Frutos de chile habanero en madurez de cosecha

### 3.8 Variables evaluadas

#### 3.8.1 Variables morfológicas

##### 3.8.1.1 Altura de la planta (AP)

Se utilizó una cinta métrica flexible, se midió la longitud del tallo desde el nivel del sustrato hasta la parte apical de la planta, las evaluaciones se realizaron a intervalos de 30 días (Figura 13).



Figura 13. Medición de altura de la planta con cinta métrica metálica

##### 3.8.1.2 Diámetro del tallo (DT)

Se midió utilizando un vernier digital, el punto de medición se hizo a 5 cm del nivel del sustrato y por debajo de la primera bifurcación (Figura 14).



Figura 14. Determinación del diámetro del tallo con Vernier digital

### 3.8.1.3 Número de hojas (NH)

Se realizó cuantificando cada una de las hojas desarrolladas de cada planta cada 30 días (Figura 15).



Figura 15. Planta de chile habanero al momento de realizar el primer conteo de hojas.

### 3.8.2 Componente de las variables de rendimiento

#### 3.8.2.1 Número de frutos por planta (NFP)

Para esta variable se realizó la sumatoria de todos los cortes que se hicieron en cada U.E., el total obtenido se dividió entre el número de plantas muestreadas (10 plantas por U.E.), posteriormente se realizó la sumatoria de todos los tratamientos para sacar un total general, por tratamiento y por experimento.

#### 3.8.2.2 Peso fresco del fruto (PFF)

De los frutos cosechados de cada U.E. se tomaron 20 chiles y se pesaron, individualmente en una báscula digital (Figura 16), se sumaron y posteriormente se dividió entre el número de fruta pesada.



Figura 16. Determinación del peso promedio de fruto

### 3.8.2.3 Diámetro ecuatorial del fruto (D.E.)

Se realizó utilizando el vernier digital, tomando las lecturas de la parte central de 20 frutos de chile, (Figura 17), posteriormente estos valores se sumaron y se dividieron entre el número de fruta medida.



Figura 17. Determinación de diámetro ecuatorial del fruto de chile habanero

### 3.8.2.4 Longitud del fruto (LF)

Utilizando el vernier digital se midió la distancia existente entre la parte basal y la parte distal en 20 frutos por tratamiento. (Figura 18), se realizó la sumatoria de los valores y posteriormente se dividió entre el número de frutos medidos.



Figura 18. Determinación de la longitud promedio de frutos.

### 3.8.3 Variables de biomasa

#### 3.8.3.1 Peso seco de raíz (g) (PSR)

Para esta variable se cosecharon seis (U.E) de cada tratamiento, las cuales fueron secadas a la intemperie durante 30 días, posteriormente se pesaron en una báscula digital. También se obtuvo el peso seco total de raíces por tratamiento y posteriormente el peso seco promedio de la raíz por planta.

#### 3.8.3.2 Peso seco del tallo (g) (PST)

De las mismas 6 (U.E.) y con el procedimiento utilizado en raíz, se obtuvo el peso seco total del tallo por tratamiento y posteriormente el peso seco promedio por planta.

### 3.8.3.3 Peso seco de la hoja (g) (PSH)

Con el mismo tamaño de muestra y con el procedimiento utilizado con anterioridad, se obtuvo el peso promedio de las hojas por tratamiento y posteriormente el peso seco promedio de hojas por planta.

### 3.8.3.4 Peso seco del fruto (g) (PSF)

De las seis unidades experimentales, se tomó al azar la cantidad de 20 frutos, los cuales fueron deshidratados en una estufa marca Felisa a 60°C durante 72 horas a peso constante obteniendo el peso promedio por tratamiento, posteriormente el peso promedio por planta (Figura 19)



Figura 19 Proceso de secado de los frutos en estufa eléctrica.

### 3.8.3.5 Peso total de la materia seca (g)

Para obtener esta variable se realizó la sumatoria de los pesos secos de tallos, hojas, raíz y fruto.



### 3.9 Diseño experimental

La distribución de los tratamientos fue en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones = 18 unidades experimentales (U.E). Cada U.E. estuvo formada por 10 bolsas con una planta cada una y en el testigo por 10 plantas en el suelo.

### 3.10 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables de respuesta de cada tratamiento se analizaron estadísticamente con el paquete estadístico SAS versión 9.1 y a las variables que resultaron con diferencias estadísticas se les aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de probabilidad del error (SAS, 2003).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Altura de la planta

La altura de la planta de chile habanero, en función de los días después del trasplante en todos los tratamientos se ajustó a modelos de regresión cuadrática ( $y = \alpha + \beta_0x - \beta_1x^2$ ). Los modelos resultantes indican que existió variación en la velocidad de crecimiento en altura de las plantas, en este sentido, las plantas cultivadas en arena de río mostraron el mayor incremento de altura por día desde que se inició el registro de esta variable (30 días después del trasplante), la respuesta anterior también las mostraron las plantas establecidas en la mezcla de arena más cascarilla de arroz. El sustrato en el que las plantas presentó la menor velocidad de incremento por día, fueron las que se trasplantaron en el suelo (Figura 20).

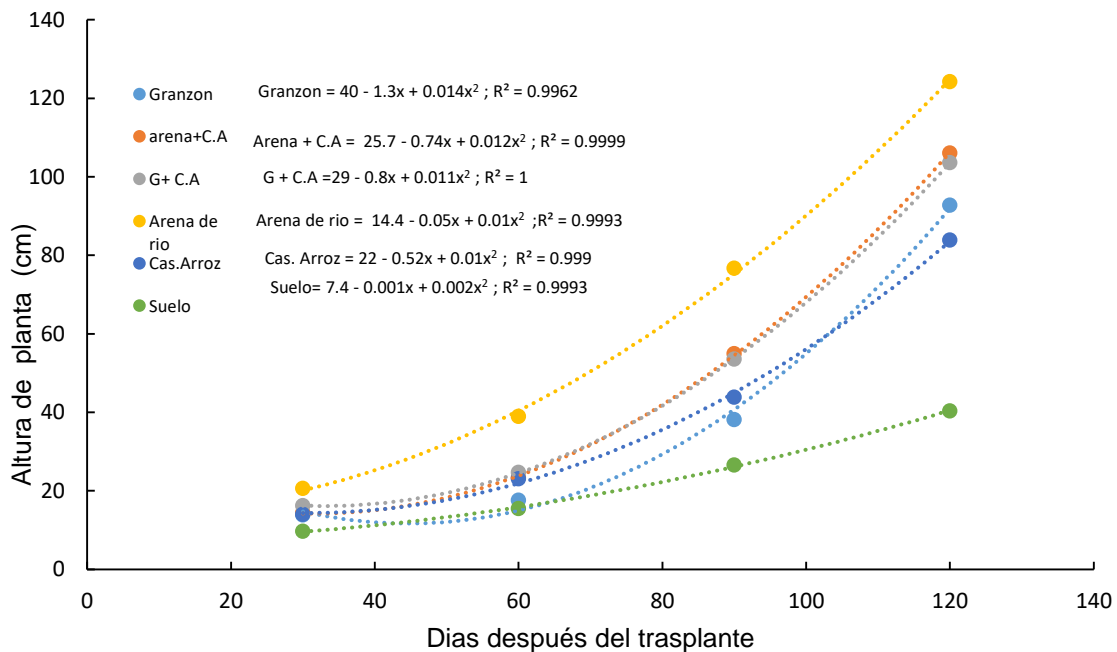


Figura 20. Dinámica de altura de la planta de chile habanero durante el ciclo del cultivo.

El análisis estadístico de la altura de la planta durante el ciclo del cultivo de chile habanero, indica que existen diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) por efecto del tipo de sustrato (Cuadro 7 y Figura 20).

Las plantas que crecieron en arena de río presentaron la altura mayor desde los 30 ddt y esta tendencia se mantuvo durante todo el ciclo del cultivo, seguidas por las plantas establecidas en las mezclas de arena más cascarilla de arroz y granzón más cascarilla de arroz las que estadísticamente fueron similares en esta variable. El sustrato que limitó la altura de la planta fue el granzón al presentar estas alturas de 33, 55, 50 y 25% menores a los 30, 60, 90 y 120 ddt respectivamente, en comparación con las plantas cultivadas en arena de río.

Las plantas establecidas en suelo fueron las que presentaron los valores más bajos de altura durante todo el ciclo del cultivo en comparación con las trasplantadas en los contenedores con los diferentes sustratos utilizados (Cuadro 7 y Figura 21).

Cuadro 7. Altura de la planta de chile habanero en cm a los 30,60 y 90 días después del trasplante.

Tratamiento	Días después del trasplante		
	30	60	90
Granzón	13.8 ± 1.4 bc	17.6 ± 2.7 bc	38.1 ± 7.5 cd
Arena+ C.A.	14.3 ± 2.9 bc	23.4 ± 3.0 bc	54.9 ± 3.1 b
Granzón+ C.A.	16.1 ± 2.0 ab	24.7 ± 2.3 b	53.5 ± 5.1 b
Arena de rio	20.5 ± 2.4 a	38.9 ± 3.0 a	76.7 ± 6.0 a
Cascarilla de arroz (C.A.)	13.9 ± 2.0 bc	23.0 ± 2.9 bc	43.8 ± 2.9 bc
Suelo	9.7 ± 0.89 c	15.4 ± 1.1c	26.5 ± 1.1 d
Media general	14.77	23.85	48.94
Prob. F	**	**	**
DMSH 0.05	6.16	8.24	12.74
C.V.	14.7%	12.2%	9.2%

¶ Medias ± desviación estándar con letras distintas en la misma columna indican diferencias, Tukey ( $P \leq 0.05$ );  $DMSH_{0.05}$  = diferencia mínima significativa honesta; C.V. = Coeficiente de variación. \*\*  $P \leq 0.01$ .

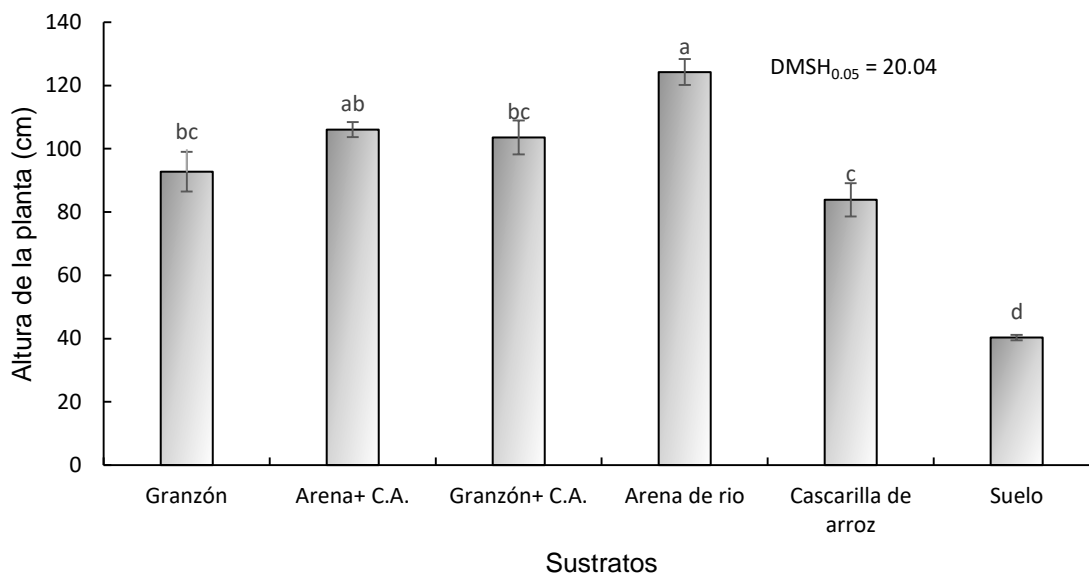


Figura 21. Altura de la planta de chile habanero a los 120 días después del trasplante en función del tipo de sustrato. C.A. =Cascarilla de arroz, DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

Respuesta similar a la del presente estudio encontraron García *et al.* (2001), con *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta, estas especies registraron diferencias estadísticas significativas por el tipo de sustrato, en este caso las plantas establecidas en arena + polvo de coco mostraron mayor altura que las cultivadas en cascarilla de arroz. Por otra parte, Moreno *et al.* (2014), al evaluar mezclas de vermicompost +arena para encontrar aquellas que mejor satisfaga las necesidades nutricionales del chile húngaro (*Capsicum annum*) variedad Yellow, reportan que las establecidas en arena sola, fueron las que mostraron valores superiores de altura de planta, diámetro basal del tallo, en comparación con los tratamientos en el que se incluyó vermicompost en los sustratos. También Rendón *et al* (2012), en su trabajo sobre el cultivo de lechuga hidropónica (*Lactuca sativa* L.), variedad Great Lakes 188, mediante la utilización de diferentes tipos de sustratos sólidos en la zona de Babahoyo, obtuvieron respuesta similar al registrar que las plantas cultivadas en arena únicamente, presentaron diferencias estadísticas en las variables: altura de la

planta, número de hojas y rendimiento en relación con los demás tratamientos. Velasco-Hernández *et al.* (2004), evaluaron como sustrato cascajo, lama y arena para la producción de jitomate bajo ambiente protegido encontraron que, tanto en los días a floración, número de hojas total y número de racimos por planta resultaron estadísticamente iguales, pero con respecto a número de frutos amarrados por racimo por planta, las establecidas en arena y lama fueron las que mostraron valores superiores con respecto a las del sustrato de cascajo y para la variable número de frutos por planta, el sustrato que resultó mejor fue a arena el registrar una media de 19.34 en comparación con el cascajo, en el cual se registró únicamente 16.06 frutos por planta.

#### 4.2 Diámetro del tallo de las plantas

El diámetro del tallo de la planta de chile habanero en función de los días después del trasplante, en todos los tratamientos se ajustó a modelos de regresión cuadrática ( $y = \alpha + \beta_0x - \beta_1x^2$ ). Los modelos resultantes indican que existió variación en la velocidad de crecimiento del diámetro del tallo, teniendo mayor diámetro las plantas cultivadas en arena de río, en virtud que presentaron una diferencia en comparación con los demás tratamientos, siguiendo esta tendencia el cultivo establecido en la mezcla de granzón con cascarilla de arroz, el sustrato donde las plantas presentaron menor incremento en el diámetro del tallo por día fueron las establecidas el suelo (Figura 22).

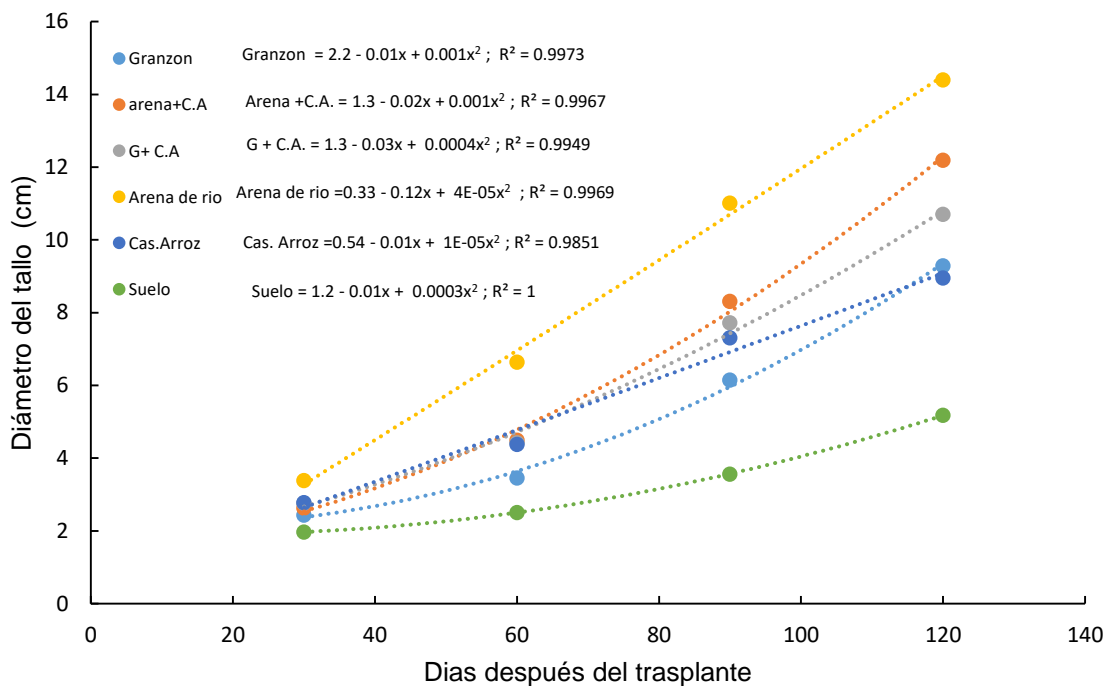


Figura 22. Dinámica del diámetro del tallo de la planta de chile habanero durante el ciclo del cultivo.

El tallo es el soporte de la planta y el sistema distribuidor primordial de agua y nutrientes, de ahí su importancia de estar en las mejores condiciones posibles ya que influye de manera significativa en el rendimiento (Stevenson y Mertens 1986).

Los resultados del análisis estadístico de la variable diámetro del tallo durante el ciclo del cultivo de chile habanero, indican que existen diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) por efecto del tipo de sustrato (Figura 22 y Cuadro 8). Las plantas cultivadas en el sustrato arenan de rio fueron las que presentaron mayor grosor de tallo, seguidas por las plantas establecidas en los sustratos arena más cascarilla de arroz y en granzón más cascarilla de arroz únicamente durante los primeros 30 ddt. Durante los 60 y 90 ddt no presentaron diferencias estadísticas significativas excepto las que fueron trasplantadas en arena de rio, las cuales continuaron aumentando en esta variable. El sustrato que limitó el desarrollo del

diámetro del tallo fue el granzón, en este, las plantas mostraron 28, 48.7, 44 y 35.4% menor diámetro de tallo durante los 30, 60, 90 y 120 ddt., respectivamente.

Las plantas establecidas en suelo, fueron las que presentaron de manera general los valores más bajos con respecto a esta variable.

Cuadro 8. Diámetro del tallo de la planta de chile habanero en cm a los 30, 60 y 90 días después del trasplante.

Tratamiento	Días después del trasplante		
	30	60	90
	Diámetro del tallo en centímetros		
Granzón	2.4 ± 0.2 bc	3.4 ± 0.1 bc	6.1 ± 0.7 b
Arena+ C.A.	2.6 ± 0.3 b	4.5 ± 0.6 b	8.3 ± 1.1 b
Granzón+ C.A.	2.7 ± 0.1 ab	4.4 ± 0.6 b	7.7 ± 1.0 b
Arena de rio	3.3 ± 0.0 a	6.6 ± 0.4 a	11. ± 0.5 a
Cascarilla de arroz (C.A)	2.7 ± 0.1 ab	4.3 ± 0.1 b	7.3 ± 0.2 b
Suelo	1.9 ± 0.1 c	2.5 ± 0.1 c	3.5 ± 0.2 c
Media general	2.66	4.32	7.34
Prob. F	**	**	**
DMSH 0.05	0.62	1.20	2.24
C.V.	8.3%	10%	10.1%

‡ Medias ± desviación estándar con letras distintas en la misma columna indican diferencias, Tukey ( $P \leq 0.05$ );  $DMSH_{0.05}$  = diferencia mínima significativa honesta; C.V. = Coeficiente de variación. \*\*  $P \leq 0.01$ .



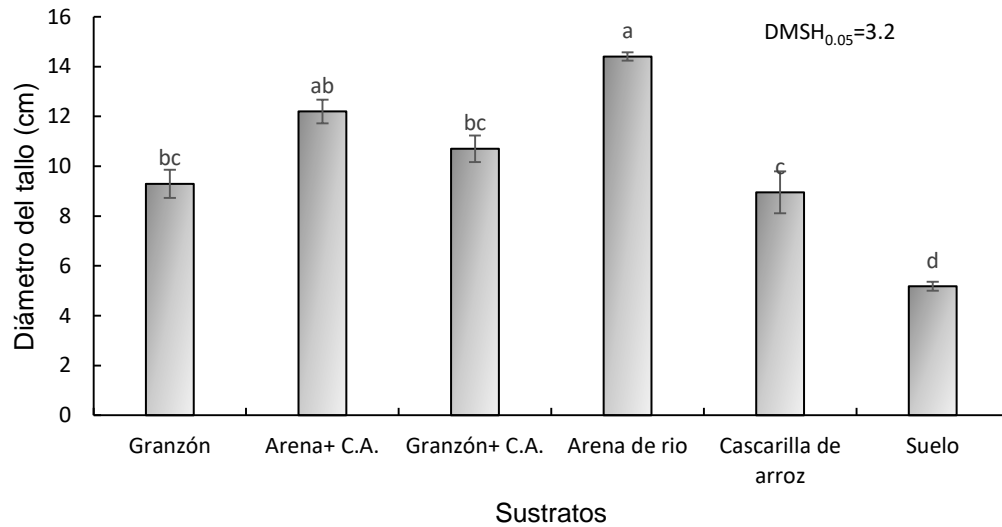


Figura 23. Diámetro del tallo de la planta de chile habanero a los 120 días después del trasplante en función del tipo de sustrato.

Resultados similares reportaron Flores-Pacheco *et al* (2016), quienes al evaluar sustratos inertes T1= Arena (50%) + afrecho de arroz (50%), T2 = afrecho de arroz (100%), T3 = Aserrín (50%) + arena (50%) y T4= tierra (100%) en tomate y chiltoma (*Capsicum annuum*), encontraron diferencias significativas con los tratamiento T1 y T3 para las variables fenológicas: altura, diámetro del tallo, número de ramas y hojas; productivas: flores, frutos y biomasa; en ambas especies vegetales, en tanto que en los tratamientos T2 y T4, los vegetales no presentaron diferencias significativas para esta última. No obstante, en T1 la variable diámetro de tallo fue de 1.7 cm y 2.1 cm a los 75 y 125 dds respectivamente, estos valores contrastaron con los obtenidos en los sustratos restantes, en los cuales, estos oscilaron entre 0.9 cm y 1.4 cm a los 75 y 125 dds respectivamente. Por su parte, Viscano (2017), en su trabajo de investigación sobre tres tipos de sustratos para la producción de semilla botánica de papa variedad súper chola (*Solanum tuberosum* L.), bajo condiciones de invernadero, determinó que la variable diámetro del tallo evaluado a los 7, 15, 45 y 120 ddt, el análisis de varianza demostró que si hubo diferencias altamente significativas con

promedios de 0.43, 0.56, y 0.70cm respectivamente, los valores obtenidos a los 120 ddt, determinaron que las plantas del tratamiento con pomina + tierra de paramo + estiércol, fueron las que presentaron el mayor promedio de diámetro de tallo con 0.86 cm, pero estadísticamente similar a los otros tratamientos combinados con: arena + turba + humus; arena + tierra de paramo + compost y arena + tierra de paramo + estiércol, excepto en los tratamientos compuestos por: cascarilla + turba + estiércol; pomina + tierra de paramo + humus y cascarilla + tierra de paramo + humus, que junto con el testigo (tierra), se registró el menor promedio. Por su parte, Tut-Maynor (2014), en su trabajo “Evaluación de cinco sustratos para la producción en vivero de palo blanco (*Tabebuia donell-smithii* Rose), menciona que el análisis de varianza de la variable diámetro del tallo, demostró que existen variables significativas haciendo referencia que al menos un sustrato provee las mejores condiciones para el crecimiento en diámetro de *Tabebuia donell-smithii* en la fase de vivero determinando que el mejor resultado se obtuvo en el tratamiento cinco (arena + lombricomposta 1:1) con 6.95 cm, seguido por el tratamiento 4 (lombricomposta 2:1:1) con 6.35 cm. Siendo el tratamiento 2 (arena + gallinaza + suelo 2:1:1) el que presentó menor valor en diámetro de tallo con 2.80 cm.

#### 4.3 Número de hojas

El número de hojas en la planta de chile habanero, en función de los días después del trasplante, en todos los tratamientos se ajustó al modelo de regresión cuadrática ( $y = \alpha + \beta_0x - \beta_1x^2$ ). Esto indica que existió variación en la velocidad de producción de hoja, teniendo mayor cantidad de hojas las plantas cultivadas en arena de río en virtud que presentaron una diferencia en comparación con los demás tratamientos, siguiendo esta tendencia las que se establecieron en cascarilla de arroz y en el suelo, el sustrato donde las plantas presentaron menor número de hojas por día fue en granzón solo (Figura 24 y Cuadro 9).

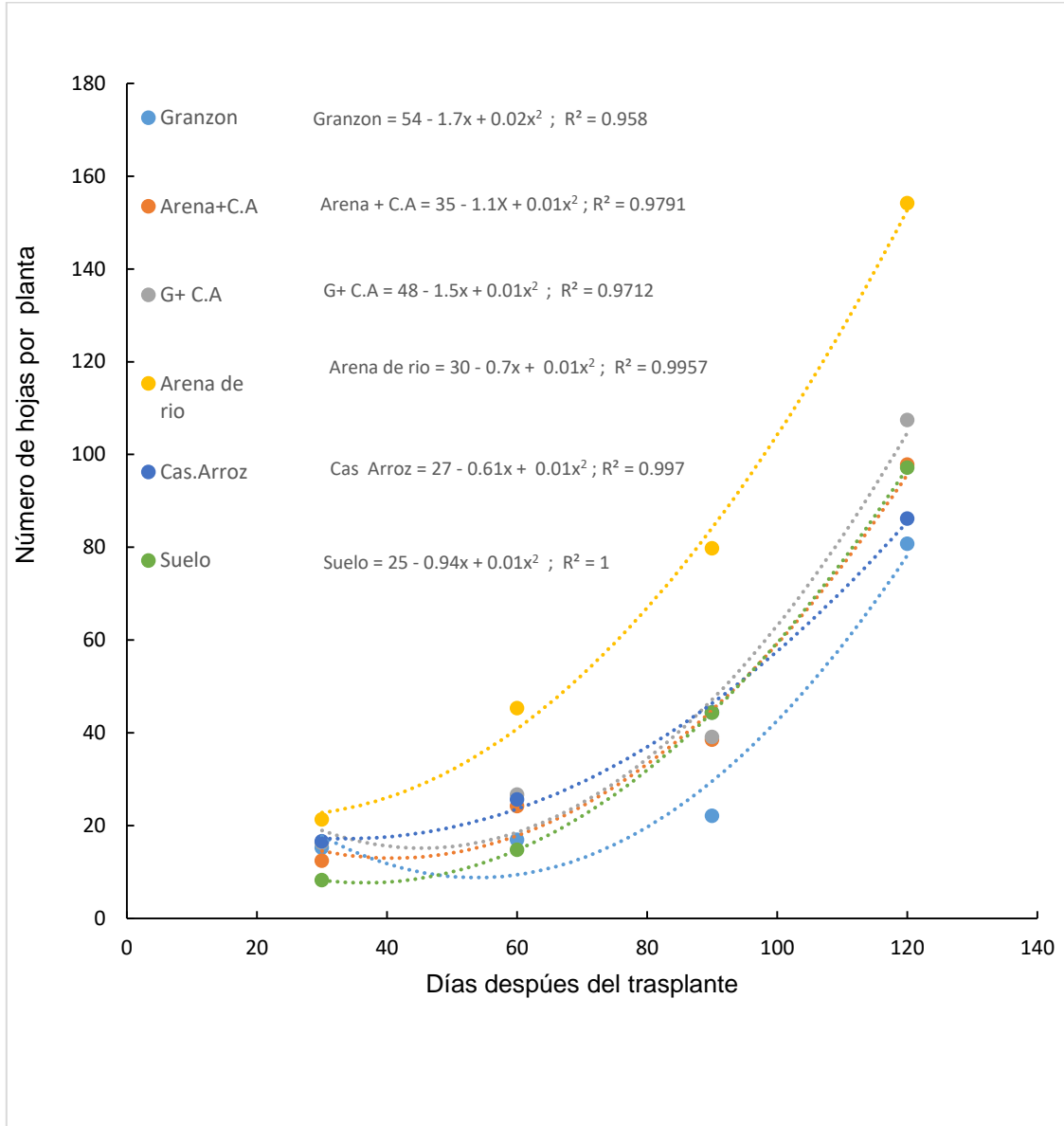


Figura 24. Dinámica de número de hojas en la planta de chile habanero durante el ciclo productivo.

Para esta variable el tratamiento en que las plantas presentaron el mayor número de hojas por planta fueron las establecidas en el sustrato arena de rio, seguido por el tratamiento cascarilla de arroz y suelo con 79.7, 44.4 y 44.3 hojas por planta respectivamente (Cuadro 9, Figura 25).

Cuadro 9. Número de hojas de la planta de chile habanero a los 30, 60 y 90 días después del trasplante.

Tratamiento	30	60	90
	Días después del trasplante (ddt)		
Granzón	15.2 ± 1.20 ab	16.9 ± 1.91 b	22.1 ± 3.86 c
Arena+ C.A.	12.4 ± 3.58 bc	24.2 ± 2.74 b	38.5 ± 9.03 bc
Granzón+ C.A.	16.3 ± 1.63 ab	26.7 ± 5.17 b	39.1 ± 9.54 bc
Arena de rio	21.3 ± 0.24 a	45.3 ± 14.4 a	79.7 ± 11.84 a
Cascarilla de arroz	16.6 ± 2.41 ab	25.6 ± 7.50 b	44.4 ± 2.84 b
Suelo	8.22 ± 1.83 c	14.8 ± 1.92 b	44.3 ± 5.74 b
Media general	15.01	25.58	44.7
Prob. F	**	**	**
DMSH 0.05	6.29	18.46	21.01
C.V.	14.8%	25.4%	16.6%

¶ Medias ± desviación estándar con letras distintas en la misma columna indican diferencias, Tukey ( $P \leq 0.05$ );  $DMSH_{0.05}$  = diferencia mínima significativa honesta; C.V. = Coeficiente de variación. \*\*  $P \leq 0.01$ .

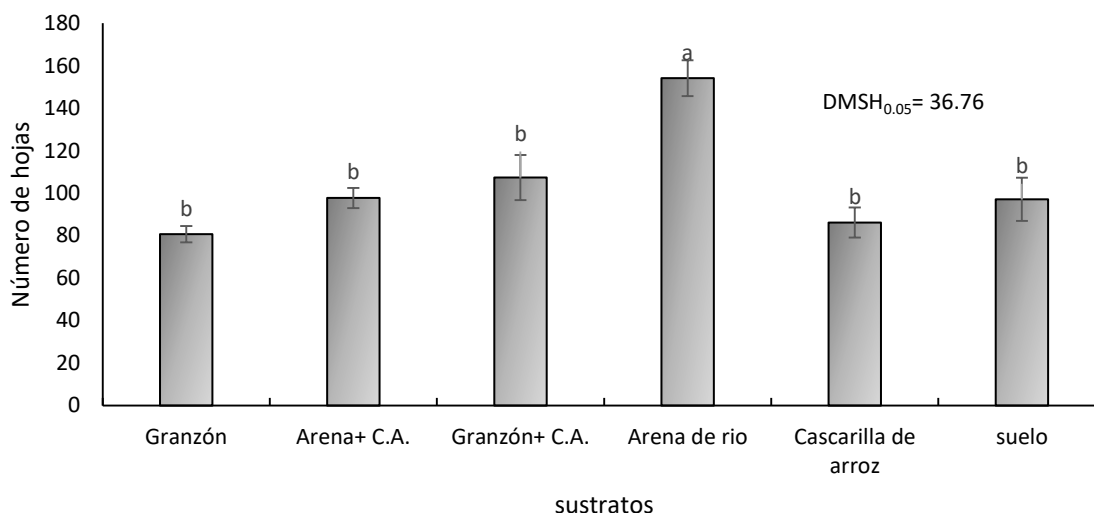


Figura 25. Número de hojas de la planta de chile habanero a los 120 días después del trasplante.

Resultados similares a la del presente estudio encontraron García *et al.* (2001), en *Epipremnum aureum* cultivadas en maceta, registraron diferencias estadísticas significativas por el tipo de sustrato, en este caso, las plantas en arena + polvo de coco mostraron mayor número de hojas que las cultivadas en cascarilla de arroz, y en *Spathiphyllum wallisii* no se presentaron diferencias significativas en todos los tratamientos. Por el contrario, Velasco-Hernández *et al.* (2004), mencionan que dentro de su investigación en cuanto a la variable número de hojas, para el cultivo de jitomate, los tres sustratos evaluados no presentaron diferencias estadísticas significativas indicando que esta variable no es afectada por los sustratos, pero para la variable producción, los sustratos si tuvieron un efecto observando que los que los valores más altos los obtuvieron en arena 15.46, cascajo 15.53 y lama 13.53. Respecto al tamaño de la hoja, estas fueron estadísticamente iguales en los sustratos arena y lama, no obstante, fueron menores en cascajo, referenciando que estos valores y las variables evaluadas indican que tuvieron efecto en la producción observando que los valores más altos los obtuvieron arena con 850.98 gr y lama con 730 g. A su vez, Tut-Maynor (2014), indica que después de los 90 días de estancia en el vivero, el análisis de

varianza de número de hojas en la planta de (*Tabebuia donell-smithii* Rose) “Palo blanco” demuestra que hubo diferencia significativa entre los tratamientos 5 (arena + lombricomposta) y 4 (lombricomposta) en comparación con el tratamiento 3 (suelo, arena, lombricompuesto 1:1:1), con valores para T5, T4 y T3 de 8.20, 8.08 y 7.05 hojas por plántula respectivamente, siendo T2 quien no presentó las mejores condiciones para el desarrollo de esta variable con un valor de 5.53 hojas por planta.

#### 4.4 Rendimiento de fruto

##### 4.4.1. Número de frutos por planta (NF)

Para esta variable, la dinámica muestra que la mayor cantidad de frutos cosechados de un total de cinco cortes por tratamiento, el mayor rendimiento se registró en la primera cosecha realizada, posteriormente este fue disminuyendo gradualmente en los cuatro cortes restantes (Figura 26).

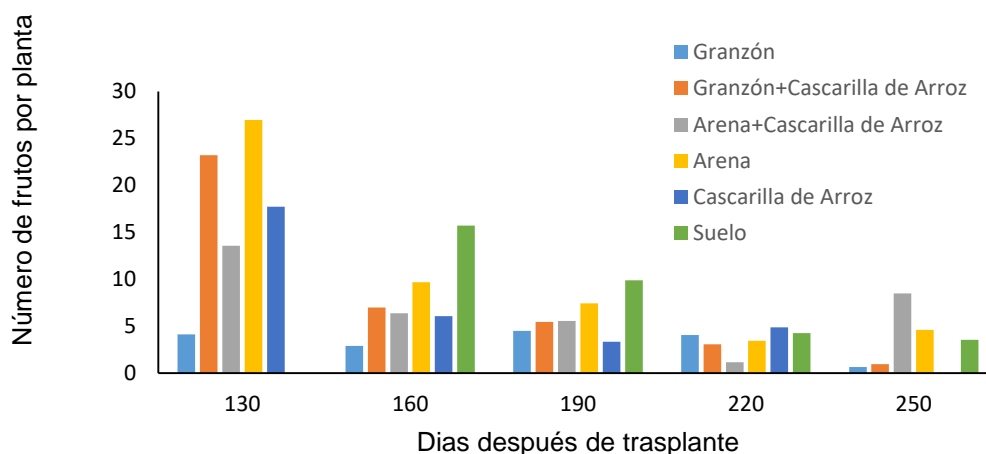


Figura 26. Dinámica de número de frutos por planta.

Al evaluar el número de frutos por planta de chile habanero, no se encontraron diferencias estadísticas significativas por efecto del sustrato utilizado; sin embargo, en donde se presentó el mayor número de frutos de chile habanero por planta fue en T4 (Arena) con 47 y, en donde se presentó el menor número de frutos fue en granzón contabilizando únicamente 15 frutos por planta (Figura 27).

Resultados similares presentaron Gáelas y Domínguez (2014), en su trabajo “Evaluación de cuatro sustratos para la producción de chile dulce (*Capsicum annuum*) var. Aristotle X3R en macrotúnel” en el Zamorano Honduras, utilizando como sustratos fibra de coco, composta y dos mezclas de composta+ arena en relaciones 4:1 y 3:1 respectivamente, , mencionando que en la primera semana de cosecha utilizando nueve frecuencias de riego no existió diferencia productiva entre los sustratos, pero al reducir la frecuencia seis disminuyó la producción, los sustratos en que las plantas presentaron mayor producción al final del ensayo fueron en la composta-arena 4:1 y la composta con 1.54 kg/m<sup>2</sup> y 1.51 kg/m<sup>2</sup> respectivamente. Por otra parte, Velazco-Hernández *et al.* (2004), en su trabajo “Evaluación de sustratos y variedades en la producción protegida de jitomate” utilizando como sustrato arena de río, lama y cascajo, y variedades de jitomate súper río grande, lobo y HMX2861 F1, de hábito de crecimiento determinado en invernadero bajo condiciones de hidroponía, evaluando variables de producción y factores ambientales del invernadero, obtuvieron que para la variable frutos por planta, la mayor cantidad de estos la presentaron las plantas desarrolladas en arena, con 19.34 frutos, por el contrario, las establecidas en cascajo fueron las que presentaron menor número de frutos (16.06) y las establecidas en lama fueron estadísticamente iguales a las de la arena y cascajo, por el contrario, Martínez-Martínez *et al.* (2013), en su trabajo “Efecto del nitrato de calcio y sustratos en el rendimiento del tomate” utilizó el sustrato suelo y arena donde estableció las variedades de jitomate Aníbal, cid y Sun 7705 en invernadero, evaluando en cada tratamiento el rendimiento y la calidad del fruto, obtuvieron como resultado para la variable rendimiento (número de frutos por planta), que las

plantas que se establecieron en suelo, presentaron mayor rendimiento en frutos con 2,847.9 g que las que se establecieron arena con 2603.4 g, esto puede deberse, a que el suelo tiene mayor (CIC) que la arena, además de contar con elementos minerales que parcialmente se van solubilizando hasta estar disponibles por la planta (Cadahía, 2000; Resh, 2001).

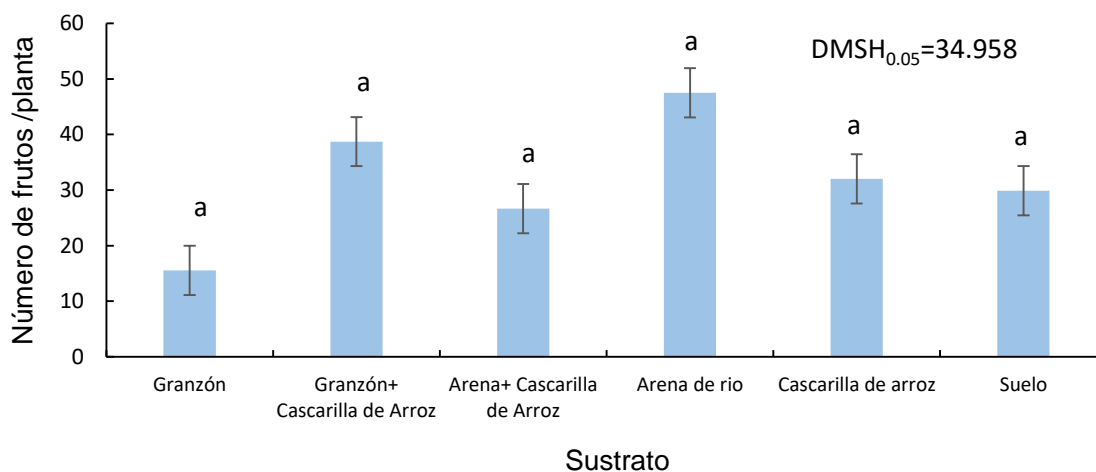


Figura 27. Número de frutos por planta de chile habanero con diferentes sustratos.

#### 4.5 Peso fresco del fruto en gramos por planta

La dinámica de peso fresco del fruto de chile habanero se muestra en la (Figura 28). Se hicieron en total cinco cortes a intervalos de 30 días cada uno, realizando el primero a los 130 ddt, registrándose en éste la mayor cantidad de frutos colectados en todos los tratamientos, disminuyendo esta cantidad en los cortes subsecuentes.



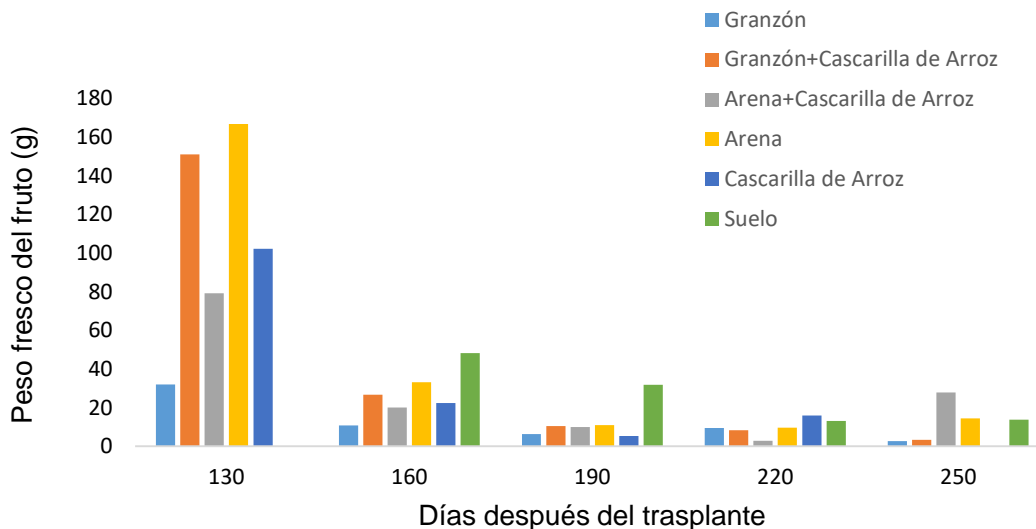


Figura 28. Dinámica peso fresco del fruto del chile habanero durante el ciclo del cultivo.

El peso fresco del fruto de chile habanero en plantas establecidas en arena de río (220.37 g) resultó con diferencias estadísticas significativas comparado con aquellas plantas establecidas en granzón (58.64 g). Las plantas establecidas en arena más cascarilla de arroz, granzón más cascarilla de arroz y en cascarilla de arroz, fueron estadísticamente iguales para esta variable (Figura 29). Resultados similares a la presente investigación presentaron Velazco-Hernández *et al*, (2004) en su trabajo “Evaluación de sustratos y variedades en la producción protegida de jitomate” donde utilizaron como sustrato arena de río, lama y cascajo, utilizando variedades de jitomate. Súper río grande, lobo y HMX2861 F1, donde se menciona que las plantas desarrolladas en arena de río presentaron frutos con un peso promedio de 44.25 g, siendo este superior a las registradas por las plantas desarrolladas en lama y cascajo, con valores de 40.15 y 33.95 g, respectivamente aun que estadísticamente no hubo diferencias. Por otro lado, Martínez-Martínez *et al*, (2013) manifiesta en su investigación que las plantas establecidas en el

sustrato arenan produjeron frutos de mayor peso y volumen que las establecidas en suelo. La respuesta anterior puede deberse a que la arena presenta mayor cantidad de espacios porosos favoreciendo la aireación de la raíz tal como lo sugieren (Cruz-Lázaro *et al*, (2010) en su trabajo. Además, la arena se caracteriza por presentar adecuada permeabilidad, lo que permite un buen anclaje de las plantas y la disponibilidad de nutrientes (Mora, 1999).

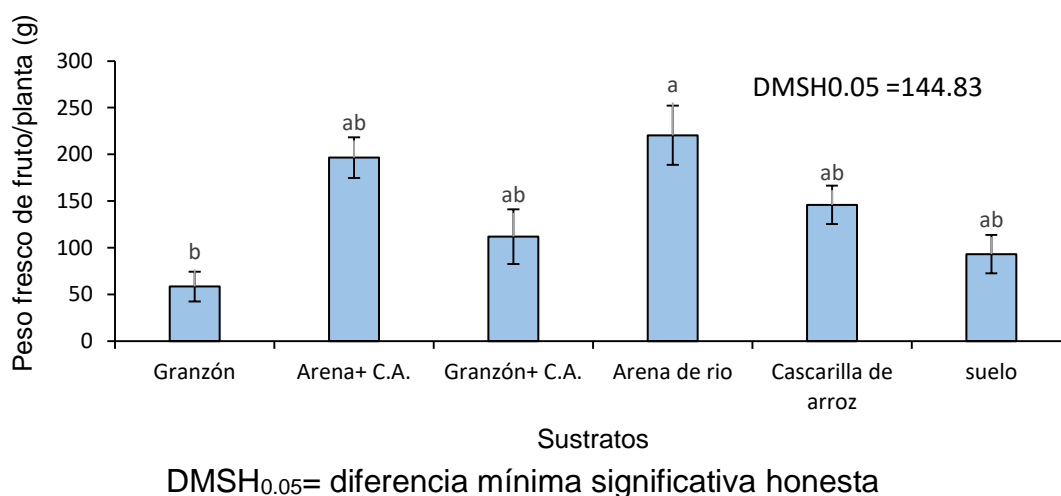


Figura 29. Peso fresco del fruto de chile habanero con diferentes sustratos

#### 4.6 Diámetro ecuatorial del fruto de chile habanero.

Con respecto a esta variable, los análisis estadísticos indican que fue en el tratamiento T5 (Cascarilla de arroz) donde se registró frutos de mayor diámetro ecuatorial (2.5 cm), en comparación con T6 (plantas establecidas en suelo), en cual fue menor (1.91 cm), en el resto de los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas (Figura 30).

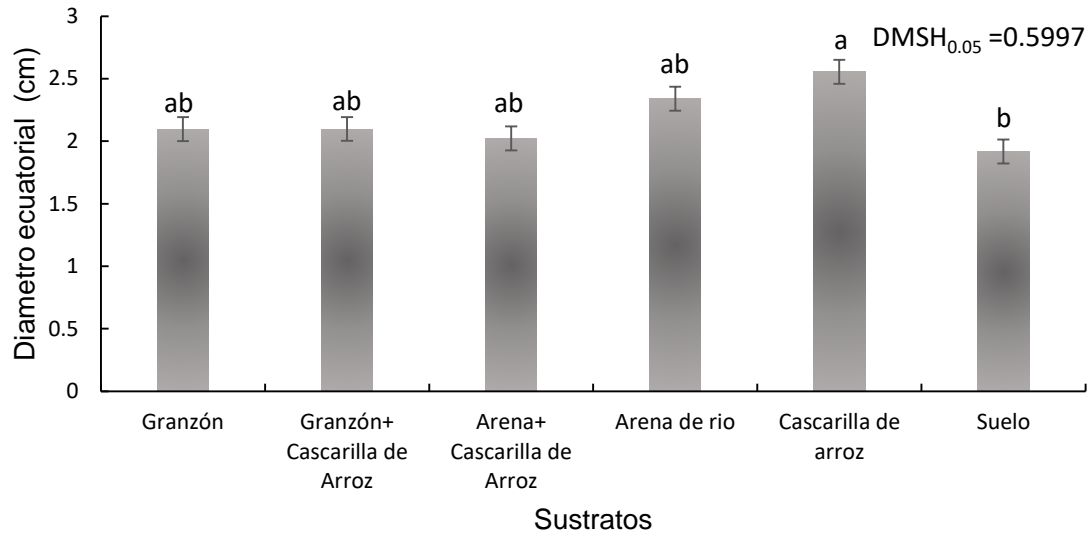


Figura 30. Diámetro ecuatorial de la fruta de chile habanero en cm.

#### 4.7 Longitud del fruto

Con respecto a esta variable, los análisis realizados indican que la cascarilla de arroz (T5) fue el tratamiento que mejor favoreció el crecimiento al registrarse en este los frutos más largos con un valor de 3.14 cm.

Las plantas establecidas en granzón, arena más cascarilla de arroz, granzón más cascarilla de arroz, y suelo, no presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto a esta variable, registrando fruto con una la longitud media de 2.2 cm, 2.4 cm, 2.1 cm y 2.1 cm respectivamente. Las plantas establecidas en arena de rio produjeron frutos de longitud intermedia (2.67 cm) (Figura 31).

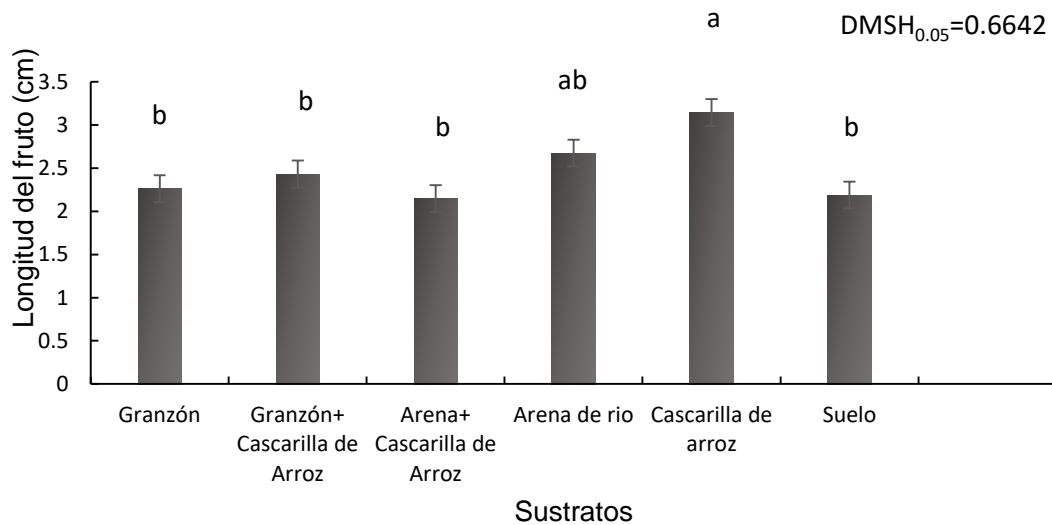


Figura 31. Longitud del fruto de chile habanero con diferentes sustratos.

#### 4.8 Producción de biomasa

Esta variable se determinó a partir del peso seco del fruto, y los resultados del análisis estadístico de estos datos demuestra que el tratamiento en que registró el valor más alto fue T4 con un peso de 33.5 g por planta, por el contrario, en el tratamiento T1, el valor de esta variable fue la más baja al registrar 8.2 g por planta, en el resto de los tratamientos no hubo diferencias estadísticas (Figura 32).

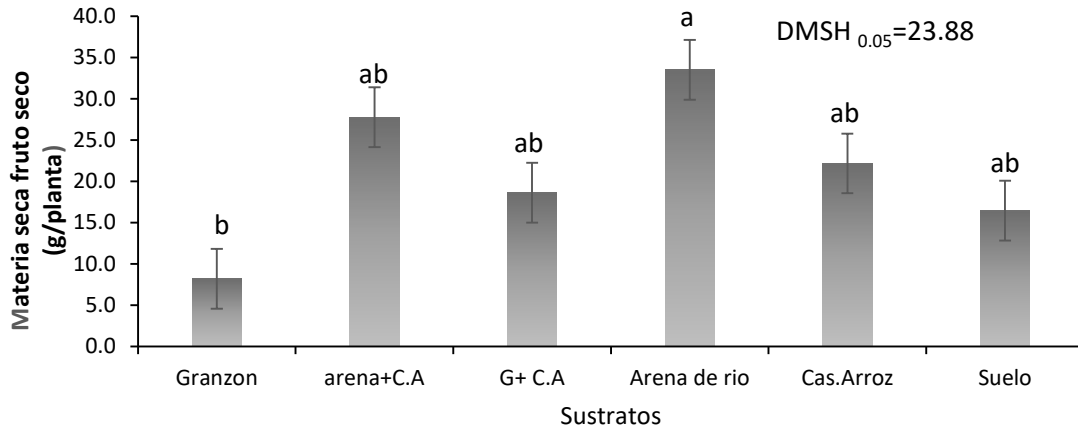


Figura 32. Materia seca del fruto seco en plantas de chile habanero con diferentes sustratos.

#### 4.9 Materia seca de hojas.

Para esta variable, los resultados del análisis estadístico muestra que fue estadísticamente igual en los seis tratamientos, sin embargo, en el tratamiento en donde se utilizó arena como el sustrato, se registró el mayor pesaje 15.5 g, seguido por las plantas establecidas en suelo con un peso de 13.5 g (Figura 33).

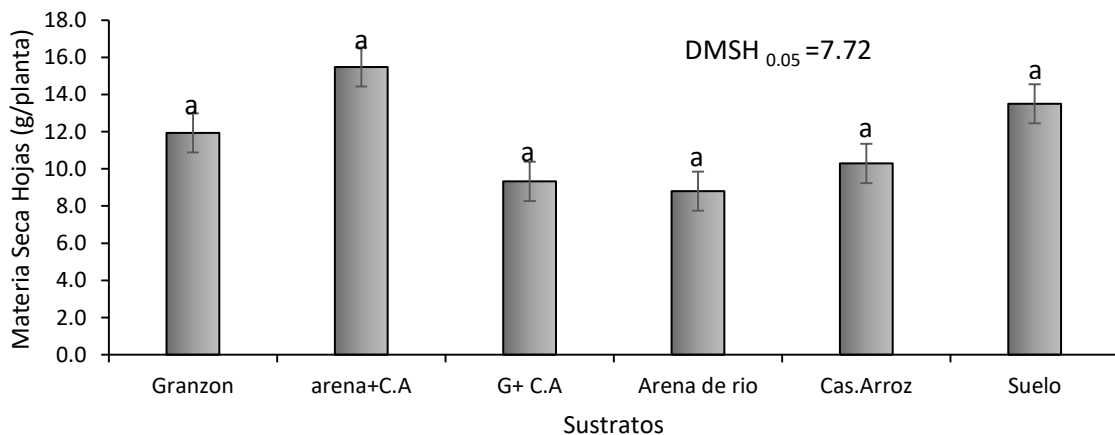


Figura 33. Materia seca en hojas de plantas de chile habanero con diferentes sustratos.

#### 4.10 Materia seca de la raíz

El análisis estadístico de esta variable muestra diferencias altamente significativas, siendo las plantas establecidas en suelo las que presentaron el mayor peso al pesar 42.3 g, en comparación con el resto de los tratamientos cuyo valor osciló entre 13.8 y 22.9 g (Figura 34).

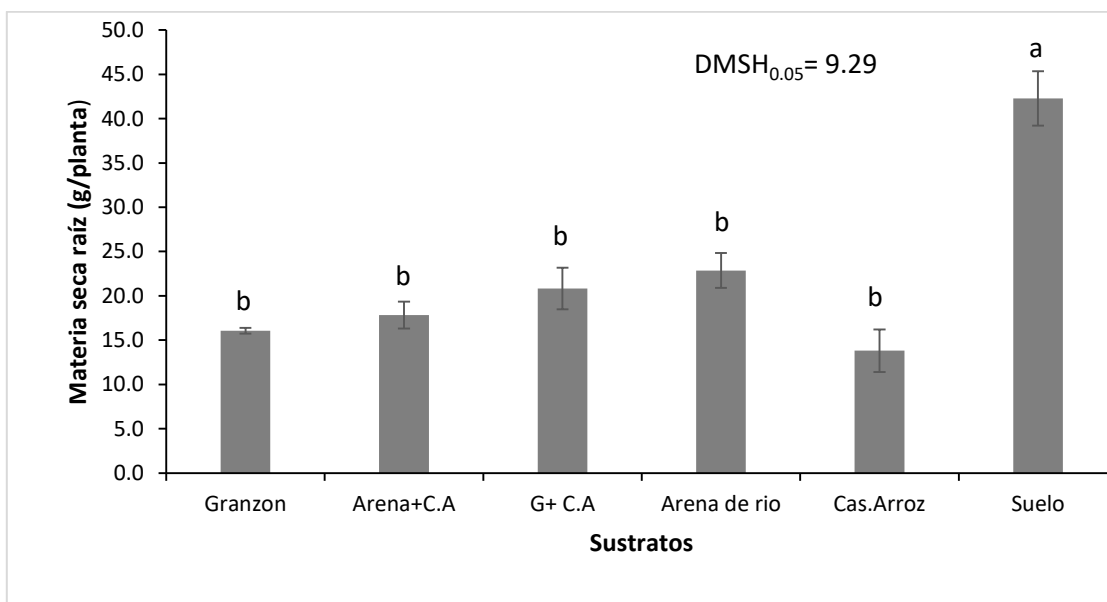


Figura 34. Materia seca de la raíz de plantas de chile habanero con diferentes sustratos.

#### 4.11 Materia seca del tallo

Los resultados obtenidos de analizar esta variable demuestran que el T4 (arena) fue el sustrato donde se tuvo más desarrollo y crecimiento del tallo, al registrar un peso en materia seca de 102.8 g, seguido del T2 (arena+C.A) con 79.8 g; siendo los T1 y T6 los que limitaron el desarrollo de esta variable con 43 y 36.8 g respectivamente (Figura 35).

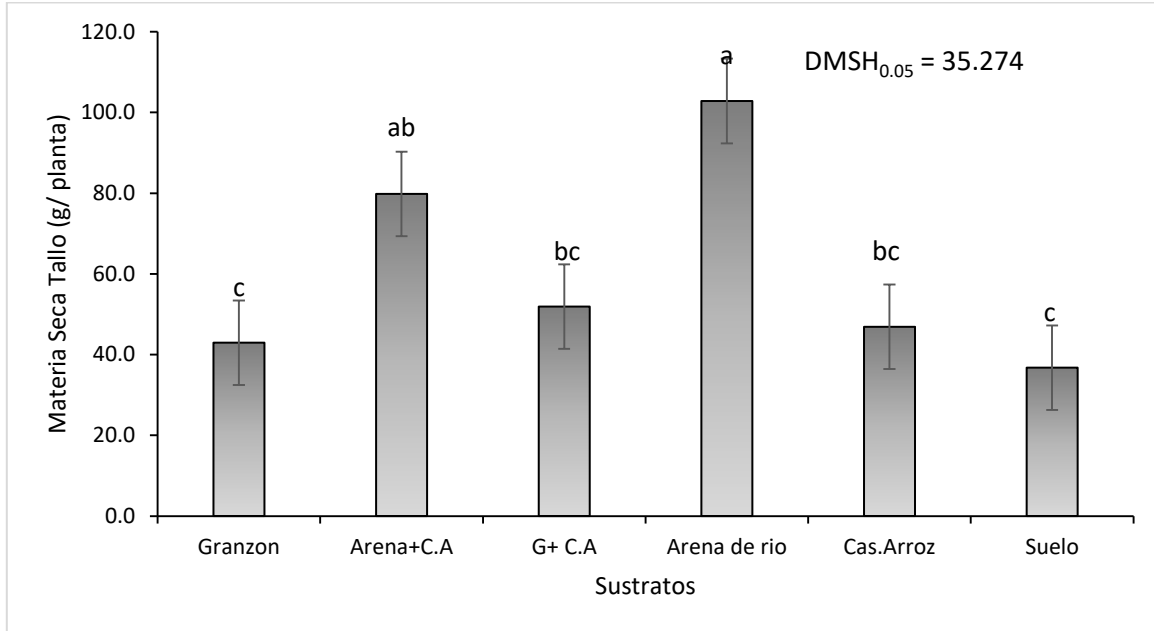


Figura 35. Variable de materia seca del tallo en chile habanero con diferentes sustratos.

#### 4.12 Distribución de biomasa en la planta de chile habanero

Al analizar la distribución de la biomasa en las plantas de chile habanero en función de los sustratos utilizados, se observó que estos afectaron directamente a las variables evaluadas de acuerdo a sus características físicas (granulometría, porosidad, retención de humedad), siendo el sustrato arena (T4) el que presentó la mejor condición para el desarrollo y crecimiento de la planta de chile habanero con 168 g seguido por el sustrato arena + cascarilla de arroz con 140.9 g. Las plantas de chile habanero establecidas en granzón y cascarilla de arroz, resultaron ser los más afectados en la materia seca con 85.2 g y 93.2 g., respectivamente (Figura 36).

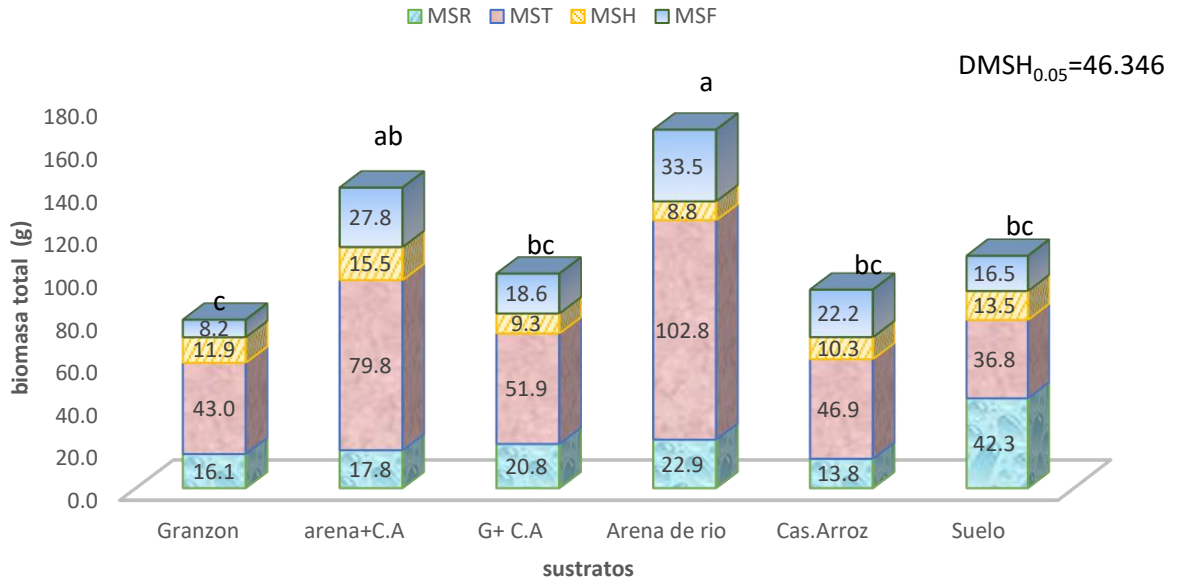


Figura 36. Distribución de la materia seca en (g) en la estructura de la planta de chile habanero.

#### 4.13 Temperaturas

Para conocer el requerimiento térmico del cultivo de chile habanero con relación a su desarrollo fenológico en casa sombra, se calcularon las unidades de calor acumuladas por el cultivo mediante el método residual, utilizando la ecuación de Snyder (1985), (Figura 37).

$$UC = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - TB$$

Donde:

UC= unidades de calor, Tmax = temperatura máxima diaria (°C), Tmin = temperatura mínima diaria en (°C), TB = temperatura base o umbral 15°C (Barrios y López, 2009).



Las temperaturas mínimas y máximas que se registraron cada 10 días durante el desarrollo de las plantas de chile habanero establecidas en diferentes sustratos, influyeron de manera importante en las etapas fenológicas del chile habanero tipo chocolate. En casa sombra se observó que la temperatura máxima ( $T_{max.}$ ), osciló entre 48 y 46 °C y la temperatura mínima ( $T_{min.}$ ), entre 16 y 24 °C, esta última se alcanzó en la tercera decena de días después del trasplante (Figura 37).

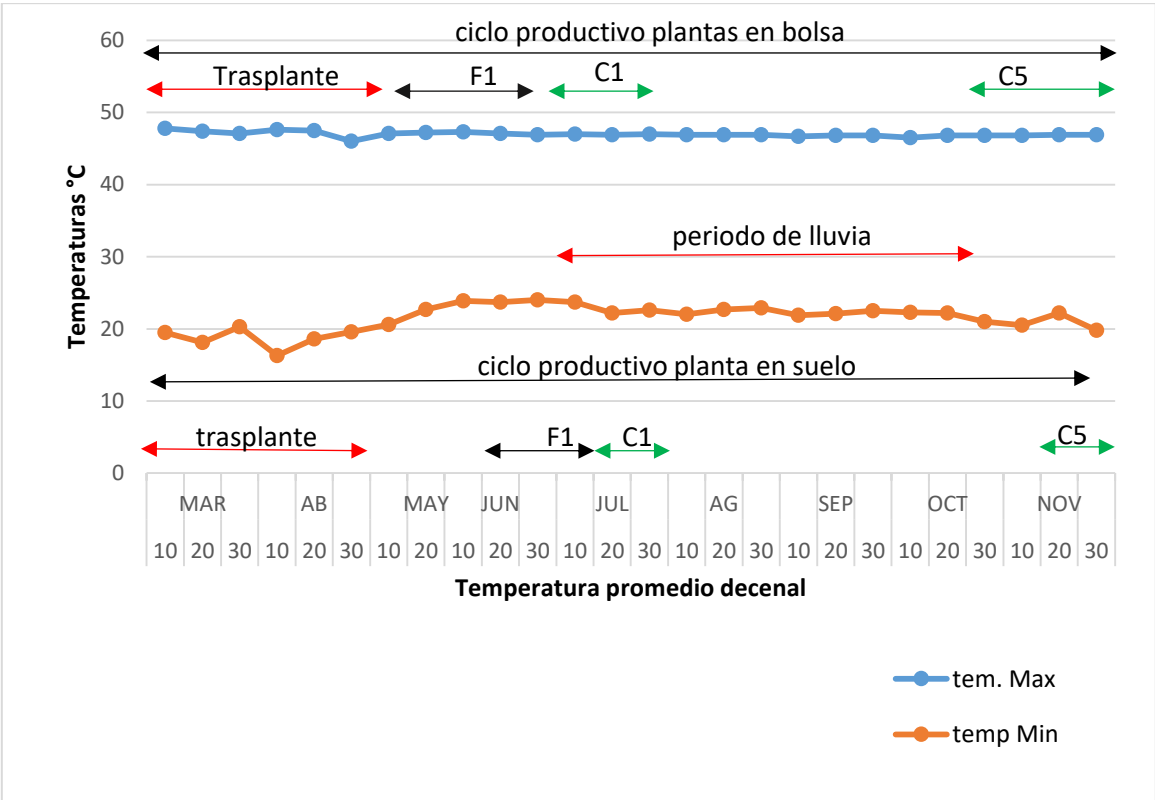


Figura 37. Temperaturas máximas y mínimas durante el desarrollo del chile habanero con sustratos diferentes

F1: Inicio antesis, C1: primer corte C5: ultimo corte. Durante el desarrollo de las plantas establecidas en bolsas negras y las establecidas en suelo marcando diferencia en F1 y C1.

#### 4.14 Unidades calor (U.C)

Las UC durante el ciclo productivo del chile habanero tipo chocolate decenalmente fueron de 19 °C al trasplante, 20 °C a inicio de floración, 19 °C a primer corte y 18 °C a último corte. (Figura 38).

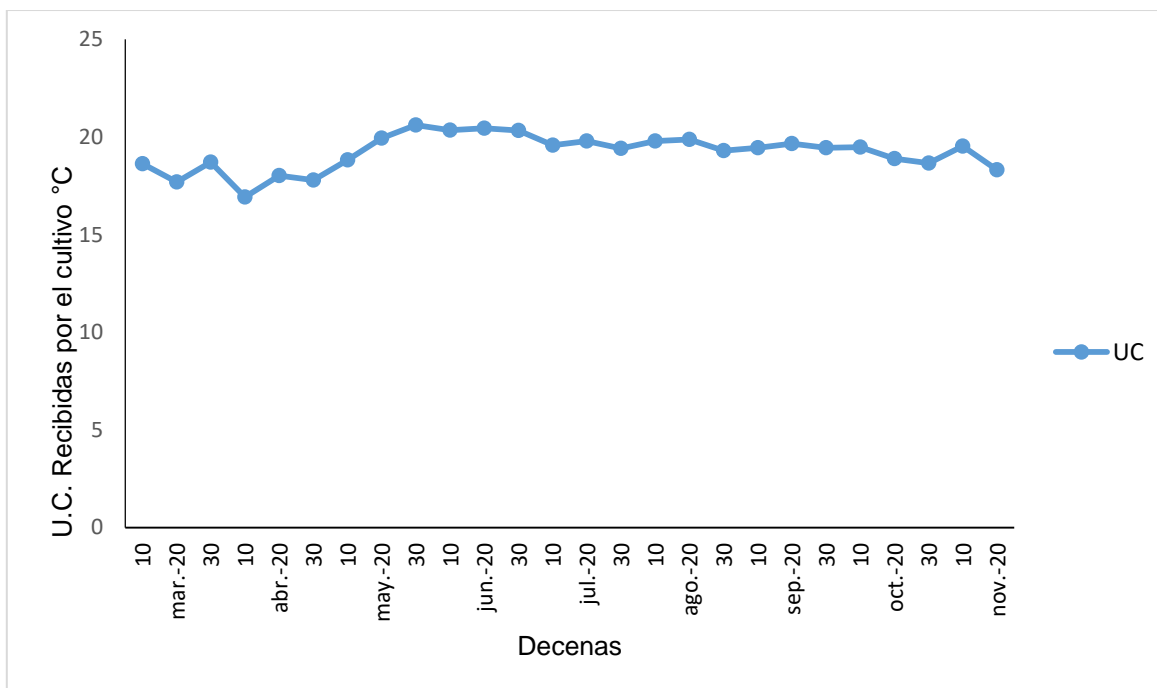


Figura 38. Unidades calor que recibió la planta del chile habanero en casa sombra durante el ciclo del cultivo.

#### 4.15 Unidades calor acumuladas.

El calor acumulado medido a través de las unidades calor (UC, °C) fue similar entre tratamientos. La dinámica de las UC desde la siembra hasta al corte cinco, se ajustó a una regresión lineal. Las (U.C) acumuladas fueron de 1059.25 °C al trasplante, 2284.995 °C a inicio de floración, 2872.448 °C a primer corte y 5193.134 °C en el último corte (Figura 39).

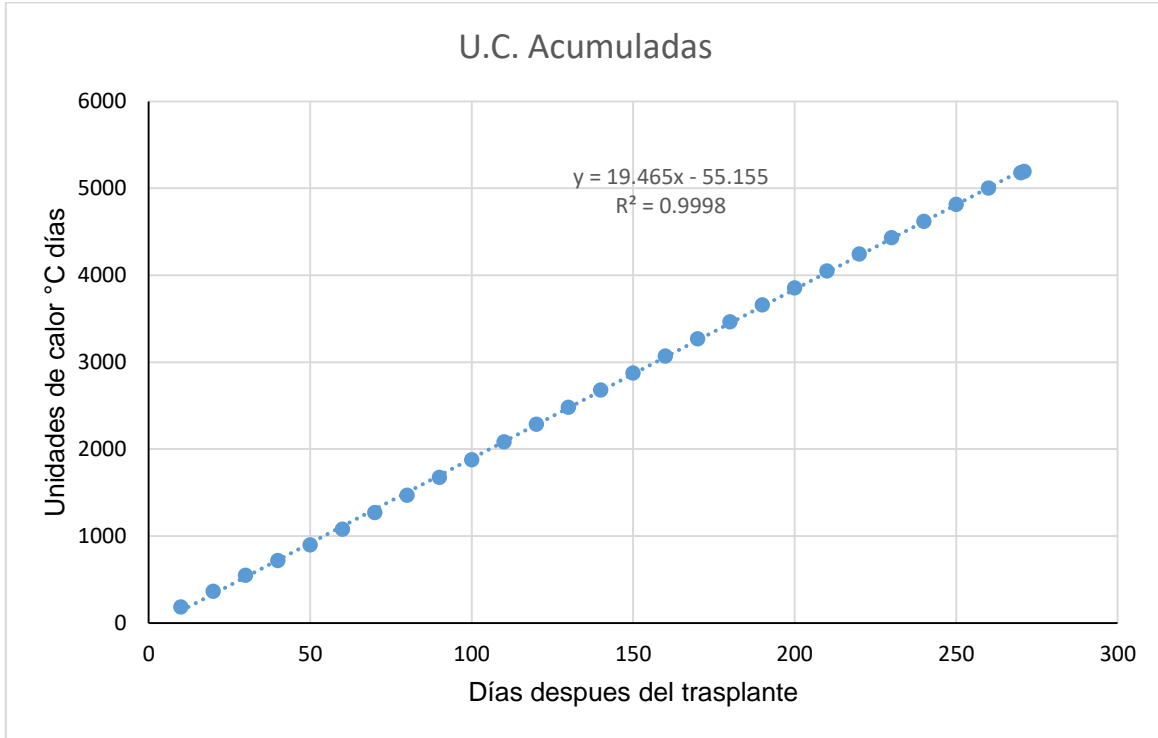


Figura 39. Unidades de calor acumulado en el cultivo de chile habanero durante su ciclo productivo.

## CONCLUSIONES

- Las plantas de chile habanero tipo chocolate establecidas en arena de río presentaron valores mayores para las variables altura, diámetro de tallo, número de hojas, peso fresco del fruto, materia seca del fruto, materia seca del tallo y biomasa total.
- El número de frutos por planta y materia seca de hojas en chile habanero tipo chocolate, no fueron afectados por el tipo de sustrato evaluado en la presente investigación.
- El sustrato cascarilla de arroz mejoró la longitud del fruto, el diámetro ecuatorial y peso promedio de los frutos de chile habanero.
- Las plantas de chile habanero establecidas, en suelo presentaron la mayor materia seca de la raíz.

## LITERATURA CITADA

- Abad-Berjon M, Noguera-Murray P, Carrión-Benedito C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu-Gavilán. Cultivo sin suelo. Madrid: Mundi Prensa. 113-158.
- Abad, M. 2003. Sustratos para el cultivo sin suelo, In: El cultivo del tomate. F. Nuez (coord.). Ediciones Mundi-Prensa, pp. 131-166.
- Abad, M.; Noguera, P. y Carrión, C. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En: C. Cadahía (Coord. y Dir.). Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y Ornamentales 3ª ed. Pp.299-354. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Abad, M. y Noguera, M. 2000. Los sustratos en cultivos sin suelo. En manual de cultivos sin suelo. Urrestarazu Gavilán, M. (ed), Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa, Almería España 137-182 p.
- Abad, M; 1995. Sustratos para el cultivo sin suelo. En: el cultivo del Tomate. Coord. F Nuez. Pág. 131-166. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Abad, M. 1993. Características y propiedades. (Sustratos). En: Cultivo sin suelo. Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA.
- Alarcón V. A. L. 2005 Soluciones Nutritivas y Fertirriego. Consideraciones, manejo y diagnostico en cultivos sin suelo. Rev. Tecnoagro 6: 16-19
- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 172 pp.
- AMHPAC. 2016. Agricultura protegida en México. Consultada 17 de noviembre del 2017 [www.amhpac.org/es/index.php/homepage/agricultura-protegida-en-mexico](http://www.amhpac.org/es/index.php/homepage/agricultura-protegida-en-mexico).
- Aragón P. De L., L.H. 1995 Factibilidades agrícolas y forestales en la república mexicana. Ed. Trillas. México, D.F. 177 p.
- Avilés B. W. y Tun D. J. 2007 Tecnología de producción de chile habanero en el estado de Yucatán. Revista Deseado. pp. 12-13
- Barrios G., E. J. y López C., C. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. Agrociencia 43(1): 29-35. <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2009/ene-feb/art-4.pdf>.

- Baudoin W. y A. Nisen. 2002 El cultivo protegido en clima Mediterráneo. FAO Italia pp.145-184.
- Bastida T. 2002. Sustratos hidropónicos. Serie de publicaciones agribot. Chapingo, México. Colegio de postgraduados, Texcoco, México. 31 32p
- Ballester-Olmos, J.1992 Sustratos para el cultivo de plantas ornamentales. Hojas divulgadoras (11)
- Baca Castillo, G.A. 1995. Notas del curso de cultivos hidropónicos. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 192p.
- Beeson, R. C. Jr. 1996. Composted yard as a component of container substrates. Journal Environmental Horticulture 14:115-121.
- Bosland, P.W.1996.Capsicum; Innovative uses of an ancient crop. P.479-487. In: J. Janick (ed.), Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA.
- Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London. 309 p.
- Burés S. 1997 Sustratos. Madrid: Ediciones Agro técnicas, 342.
- Bustamante O., J.D. 2003 Bioespacios y la modificación microclimática. Alternativa de control del "chino" en tomate (*L. esculentum*. M) y otras hortalizas. In memoria del curso internacional sobre la producción de hortalizas en invernadero. J. z. Castellanos y J.J Muñoz (eds inifap. Celaya, Gto. Pp245-251.)
- Caamal, C. I., F. Jerónimo A. y F. A. Chin C. 2000. Beneficio económico de la producción de chile habanero (*Capsicum chinense*) en el municipio de alacho, Yucatán. UACH. Chapingo México, pp1-17.
- Cadahía, C. L. 2000. Fertirrigación cultivos hortícolas y ornamentales. Edit. Mundi-prensa. Madrid, España. 475 p.
- Cadahía, 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y Ornamentales 3ª ed. Pp.299-354. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Calderón, Sáenz, F. 2002. La cascarilla de arroz caolinizada; una alternativa para mejorar la retención de humedad como sustrato para cultivos hidropónicos. La%20\_Caolinización\_%20de%20la%20Cascarilla%20de%20arroz%20para%20mejorar%20la%20retención%20de%20humedad%20como%20sustrato%20para%20cultivos%20hidroponicos.

- Cánovas M. F. 2001 manejo del cultivo sin suelo in: el cultivo del tomate. F. Nuez MundiPrensa. España pp227-254.
- Castellanos J, Z y P. Vargas T. 2009. Los sustratos en la horticultura protegida In: Manual de producción de tomate en invernadero, J. Z. Castellanos INTAGRI México pp 105-130.
- Castellanos J., Z y C Borbón M 2009. Panorama de la horticultura protegida en México. In: Manual de producción de tomate en invernadero. J. Z. Castellanos. INTAGRI México. Pp1-18.
- Cauch O., J. J. G. Quezada E., V. Melendez R., G. R. Valdovinos-Núñez and H. Moo-Valle 2006 Pollination of habanero pepper (*Capsicum chinense*) and production in enclosures using the stingless bee *Nannotrigona perilampoides*. Journal of Apicultural Research 45:125-130.
- Cheng, S. 1989. The use of *Capsicum chinense* as Sweet Pepper cultivars and source for gene transfer. En: Tomato and Pepper Production in the Tropics. Int. Synp. AVRDC. Taiwan. Pp.55-62
- Chong, C. and R. A. Cline. 1993. Response of four ornamental shrubs to container substrate amended with two sources of raw paper mill sludge, HortiScience 28-807-809.
- CONABIO (2009). *Capsicum chinense* Jacq. Recuperado el 12 de junio de 2017. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21809\\_especie.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21809_especie.pdf)
- CONAPROCH, 2007. Plan Rector Nacional del Sistema Producto Chile. [www.conaproch.org/documentos/planrectorSPchile](http://www.conaproch.org/documentos/planrectorSPchile) Consultado 15 de diciembre 2017.
- COSUMER. 2012. Ciencia y tecnología. (Disponible en línea en: <http://www.consumer.esseguridad-alimentaria/ciencia-y-ecnologia/2008/03/26/175613.php>)
- Cruz-Lázaro, E; Osorio-Osorio, R; Martínez-Moreno, E.; Lozano del rio, A. J.; Gomez-Vazquez, A Y Sanchez-Hernandez., R. 2010. Uso de compostas y vermicomposta para la producción de tomate orgánico en invernadero. Interciencia 35:363:368.

- Dávila M. R. 2011 polinización en invernadero. Hortalizas junio 2011. <http://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/polinización-en-invernadero/> (nov 2015).
- De Boodt, M., O. Verdonck e I. Cappaert. 1974, Method for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Hort. 37:2054-2062.
- Dewitt, & D. Bosland, P.1994 The pepper garden, Berkeley, California, USA. Ten Speed Press.pp.59-71
- Duran J.M., E. Martínez, y L.M. Navas. 2000. Los cultivos sin suelo de la hidroponía a la aeroponía. Consultado en línea: <http://www.eumedia.es/articulos/vr/hortofrut/> (revisado el 10de agosto 2017)
- E. Velasco-Hernández; I. Miranda-Velázquez; R. Nieto-Ángel; H. Villegas-Rodríguez. Evaluación de sustratos y variedades en la producción protegida de jitomate. Revista Chapingo serie Horticultura. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, estado de México.10 (2): 239-246, (2004).
- FAO. 1990. Soilless Culture for Horticultural Crop Production. FAO Plant Production and Protection Paper n.o 101. FAO, Rome, 188 pp.
- FAO. 1994 ECOCROP. 1 The adaptability level of de FAO crop environmental requeriments database. Versión 1.0 AGLS. FAO. Rome Italy.
- FAO. 2002, El cultivo protegido en clima mediterráneo. ROMA, 323 p.
- Felipe Calderón Sáenz, 2002. La cascarilla de arroz “caolinizada” una alternativa para mejor la retención dela humedad como sustrato para cultivos hidropónicos. Asistencia técnica agrícola Ltda. Noviembre 10 de 2002. Rev. Nov 14/2002.
- FIRA. 2010. Panorama agroalimentario. Tomate rojo. Pp.13-7
- Flores N. A. 2013 Invernaderos: el chile Habanero se abre mercado en diferentes países. Revista digital De Riego 11. <http://editorialderiego.com/invernaderos-el-chile-habanero-se-abre-mercado-en-diferentes-pases/> (noviembre 2015).
- Flores-Pacheco, J. A; Murillo, J; Oporta, R; Flores, P. C; Alemán Y. 2016. Producción hidropónica de tomate (*solanum lycopersicum*) y chiltoma (*Capsicum annuum*) con sustratos inertes. Revista científica de FAREM-Esteli. Medioambiente, Tecnología y Desarrollo Humano No. 20/ año 5/ Octubre-diciembre 2016.



- Gáleas. L. Héctor N. y Domínguez. V. Maycol E. 2014. Evaluación de cuatro sustratos para la producción de chile dulce (*Capsicum annum*) var. Aristotle X3R en macrotunel. Tesis ing. Agrónomo. Zamorano Honduras.
- González N. J. F. 2006 productores mayas exportan chile habanero, tomate y pepino a la Unión Europea. Hortalizas, Frutas y Flores. Editorial Agro Síntesis S.A. de C.V. México D.F.: 8-11
- González, S.M.R. YA.D. Orellana P. 2006 recolección de germoplasma de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*), en el Departamento del Peten Guatemala, C.A. In: Memoria de resúmenes. XXI Congreso Nacional y I Internacional de fitogenetica. Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México.
- González, S. D. 2002. Evaluación de la efectividad del musgo de pantano (sphagnum) como sustrato para producción de pilones de café (*Coffea arabica* L.) en bandeja (tipo IPL 25) en Cobán, Alta Verapaz. Universidad Rafael Landívar.
- García, C. O., Alcántar, G. G., Cabrera, F. R. L., Gavi, R. y Volke, H. V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra Latinoamericana, 19(3): 249-258.
- García, M. 1997. Eficacia en el uso de la fertirrigación recirculante en cultivos hortícolas sin suelo bajo condiciones de clima semiárido. Tesis Doctoral. Universidad de Almería 147 pp.
- Guzmán-Maldonado y Paredes-López, 1998. Functional products of plant indigenous to Latin America: Amaranth, quinoa, common beans and botanicals. En Functional Foods-Biochemical & Processing Aspects. Mazza G. ed. Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA. p 293, 328.
- Hernández-Pérez, Anselmo; Tapia-Vargas, Mario; Larios-Guzmán, Antonio; Guillén-Andrade, Héctor; Díaz-Sánchez, Deisy D.; Vidales-Fernández, Ignacio; Ramírez-Ojeda, Gabriela; 2016. PRODUCCION HIDROPÓNICA DE CHILE HABANERO NEGRO (*Capsicum chinense* Jacq.). Revista Fitotecnia Mexicana, 241-245.  
[http://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/siap/Paginas/superficie\\_agricola\\_protegida.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/siap/Paginas/superficie_agricola_protegida.aspx).

- Hernández R.J.; Martínez V. O.; Quinto D, P.; Cuevas D, j.; Acosta, O. R y Aguilar, J. O. 2010. "Secado del chile habanero con energía solar". Revista Iberoamericana de Tecnología Pos cosecha, vol. 10, núm. 2, 2010, pp. 120-127.
- Hitchon, G. M. D. A. Hall, R. A. K. Szmidt 1990 hydroponic production of glasshouse tomatoes in Sardinian plaster-grade perlite. *Acta horticulturae* 287. 261-266.
- INFOAGRO. (2002). Tipos de sustratos de cultivos. Consultado el 18 de Julio, 2017. Disponible en [http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/tipo\\_sustrato2.asp](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustrato2.asp)
- ISMAIL, M. R; HALIMI, M. S; JUSOH, K. 1993 Growth and yield of tomatoes as influenced by different substrates, substrates volumes and irrigation frequencies. *Acta Horticulturae* 342: 143-147.
- Jensen M. 2001 producción hidropónica en invernadero. Boletín informativo número 12 consultado en línea: [www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin12 htm](http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin12.htm). Revisado el 10 de Agosto del 2017.
- Jones, C. 1983. Effect of Soil Texture on Critical Bulk Density for Root Growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 1.208-1.211 p.
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. 1990. Containers and growing media. En the Container Tree Nursery Manual. Vol. 2, pág. 88, Washington D.C; U.S. Department of Agriculture, Forest Service: Agric. Handdbk. 674.
- León, J. 1987, Botánica de los Cultivos Tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). Servicio Editorial IICA, San José Costa Rica, C.A. 182 p.
- Lemaire, F. 1997. The problem of bioestability in organic substrates. *Acta Hortic.* 450: 63-69.
- Lemaire, F. 2005. Cultivos en maceta u contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones. Mundi-prensa. Madrid España. 210 p.
- Lemaire, F.; Dartigues, A.; Riviere, L.M., y Charpentier, S. 1989. Cultures en Potset Conteneurs. INRA -PHM Revue Horticole, París-Limoges, 184 pp.
- Long, J. 2004 La ruta del chile habanero cuadernos de nutrición UNAM. México.
- Long-Solís, J.1998. Capsicum y Cultura: La Historia del Chile. Fondo de Cultura Económica México 2ª. Edición. Pp.77-78.

- López-Cuadrado, M. C; Masaguer, A. 2006. Sustratos para viveros: Conocer sus propiedades ayuda a su correcta utilización. *Horticultura*, vol. Extra, p 44-50.
- Martínez-Martínez. L; Velasco. V. A; Ruiz Luna j; Enríquez-del Valle J. R; Campos Ángeles G. V y Montano Lugo M. L. 2013 Efecto del nitrato de calcio y sustratos en el rendimiento de tomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas Pub. Esp.* Núm. 6 14 de agosto- 26 de septiembre p.1175-1184.
- Masaguer y Cruz, 2007. Avances en sustratos para cultivos hortícolas; caracterización y manejo 4º curso internacional de actualización en horticultura protegida, Universidad Politécnica de Madrid (España). 44 p.
- Mora L. 1999. Sustratos para cultivos sin suelo o hidroponía. In: XI Congreso Nacional Agronómico. III Congreso Nacional de Suelos. San José Costa Rica.
- Moreno A., R., J Aguilar D., y A Luévano G. 2011 Características de la agricultura protegida y su Entorno en México. *RevMex de Agronegocios.* 29: 763-774.
- Moreno A. R., Rodríguez D. N., Reyes C. J.L, Márquez-Quiroz, C. & Reyes G. J. 2014. Comportamiento del chile húngaro (*Capsicum annum*) en mezclas de vermicompost- arena bajo condiciones protegidas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(2), 97-111.
- Mosse F. 2004. Hidroponía cultivos sin suelo consultado en línea:<http://anpso.com/monografías/hidroponía/>. Revisado 7 de julio del 2017
- Muñoz R., J.J. 2004. Estructuras de invernaderos y cubiertas de protección. In: Castellanos Z., J. (ed). *Manual de Producción Hortícola en Invernadero.* 2ª. Ed. Ed. Intagri. México. Pp: 18-34.
- Muños-Carrillo, C. 2005. Plan de mercadeo. En: Seminario de Chile Habanero. Memorias. Compiladores: Héctor Torres Pimentel y Carlos Franco Cáceres. SAGARPA-INIFAP, Fundación PRODUCE Yucatán, México, pp, 87-101.
- Ochoa, N y Gómez, J. 1993. Activity of enzymes involved in capsaicin biosynthesis in callus tissue and fruits of chilli pepper (*capsicum annum*). *J Plant Physiol.*
- Ojo de agua 2007. Estrés salino y comparación de dos sistemas de producción sobre el rendimiento del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) cultivada en invernadero. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México. 105p.

- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria-OIRSA 2003 producción ecológica de chile habanero. En: Producción ecológica con Énfasis en Cultivos Tropicales. Proyecto Regional de Fortalecimiento de la Vigilancia Fitosanitaria en Cultivos de Exportación no Tradicional-VIFINEX. República de China. Petén Guatemala, C.A.
- Papik 2007 Propiedades del Chile habanero consultado en julio 23, 2017 <http://www.habanero-yucatan.com/sp/ropiedades.htm>.
- Paneque, V.1998. Abonos Orgánicos, conceptos prácticos para su evaluación y aplicación/ V.M. Paneque, M Bertoli. La Habana, Cuba: INCA. 34 p.
- Park, H. J., Y.K. Jung, K.H. Kim and J.E. Son 2004. Comparison of physical and chemical properties of growing media based on the European standard method and the self-compaction. *Acta Horticulturae* 644: 225-230.
- Pastor, J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Tierra*, 17 (3), pp. 231-235.
- Pérez-Moreno, L. A. S. Casillas-Barajas, A. S. y Ramírez-Malagón, R. 2005. El Cultivo de Chile y su Importancia Económica en el Norte del estado de Guanajuato, México. Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Guanajuato, México. pp. 13-89.
- Porta C., J., M. López-Acevedo., R., y C. Roquero., D. L. 2003. Textura del suelo. *In: Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi-Prensa México. pp. 91-110.
- Puustjarvi, V. 1983. Nature of changes in peat properties during descomposition, peat and plant yearbook. Helsinki, 1983 p.
- Quezada-Euán J.J. 2009 Potencial de las abejas nativas en la polinización de cultivos. *Acta biológica colombiana* 14: 169-172.
- Quiroz I., García, E., González, O., Chung, P. y Soto, H. 2009. Vivero Forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. Concepción, Chile.
- Ramírez J.G., S. Avilés, B.W., Dzib, E. R., 2006 Áreas con potencial productivo para chile habanero (*C. chinense Jacq*) en el estado de Yucatán. En: Primera Reunión Nacional A agrícola y Forestal (RENIAF). COFUPRO, A.C., SAGARPA-INIFAP, UACH, CP, CICY, UAMX-XOCHIMILCO, y otras, Mérida Yucatán, México, pp.66-67.

- Ramírez M.M., Vásquez G. E. 2007 potencial de producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jack), en el sur de Tamaulipas. INIFAP- Campo Experimental Sur de Tamaulipas. Apartado postal No. 31 Altamira Tamaulipas., CP 89601, México.
- 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, Y OTRAS. Mérida Yucatán, México. 23p.
- Raviv, M., Chen, and; Inbar, Y. 1986 Peat and Peat substitutes as growth media for container-grown plants in: The Role of Organic matter in Modern Agricultural Eds. Y. Avnimelech. Pp.257-287. Martinus Nijhoff.
- Raviv M, Chen Y, Geler Z, Medina S, Putievski E, Inbar Y, 1984. Slurry produced by Methanogenic fermentation of cow manure as a growth medium for some Horticultural crops. Acta Horticulturae, 150: 563-573.
- Rendón, L. V., Yance, M. Mario A. 2012 Establecimiento del cultivo hidropónico de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Great Lakes 188, mediante la utilización de diferentes tipos de sustratos sólidos en la zona de Babahoyo. Editorial Babahoyo: UTB, 2012 <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/201>
- Resh, H. M. 2001. Cultivos hidropónicos. Ediciones Mundi-Prensa. Quinta edición. Madrid España. 558 p.
- Rodríguez M., R. 2004 Desarrollo y caracterización de sustratos orgánicos a partir del bagazo de agave tequilero. Tesis Doctor en Ciencias. Colegio de Post graduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. 134 p.
- Ruiz-Lau, N., F. Medina Lara, y M Martínez Estévez. 2011. El chile habanero: su origen y sus usos. Ciencia. Julio-Septiembre: 70-77
- Salaya D. J. 2010. Elaboración artesanal de dos abonos líquidos fermentados y su efectividad en la producción de plántula de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) Tesis Maestro en Ciencias Campus Tabasco. Colegio de postgraduados, Cárdenas Tabasco. Pp.11-12.

- Samperio, R. 1997. Hidroponía Básica; el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. Ed. Diana, S.A. de C.V. México. 153 p.
- Sánchez del C. F. 1994 Relaciones entre fuente y demanda en jitomate manejo con despuntes y altas densidades de población. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de recursos genéticos y productividad Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 189p.
- Sánchez del C.F., E. Escalante. R y P. Espinoza R. 1991 experiencias sobre la producción de flores y hortalizas en México con sistemas hidropónicos. Rev. Chapingo. Serie Hort. (73-74). 7-13.
- Serrano, Z. 1990. Técnicas de invernadero. España: Sevilla, 664p.
- SAS, Statistical Analysis System. 2003. User Guide: Basic Versión. SAS Institute, Cary N.C. USA.
- SIAP. 2010 Chile habanero de la península de Yucatán. SAGARPA (en línea) [http://siap.sagarpa.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=306:chile-habanero-de-la-peninsula-de-yucatan&catid=72,infograma&itemid=442](http://siap.sagarpa.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=306:chile-habanero-de-la-peninsula-de-yucatan&catid=72,infograma&itemid=442) (revisado 19 de agosto del 2017)
- SIAP. 2013. Estadística de la Producción Agrícola de 2013 consultado en línea, [infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php). Fecha de consulta enero 2018.
- SIAP, 20015. Índice de Volumen Físico del sector agropecuario SIAP... programas de apoyo a la producción agrícola, pecuaria y pesquera de la SAGARPA. Consultado en línea. [infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php). Febrero del 2018.
- SNIIM, 2008 Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. Consultado el día 23 de diciembre del 2017 boletín electrónico. <http://www.economia-sniim.gob.mx/2010prueba/Analisis.asp>
- Steiner. A. A.1961 A universal method for preparing nutrient solution of ascertain desired composition. Plant and Soil. XV: 134-154.
- Stevenson, F. Mertens, A. 1986 Anatomía Vegetal. Editorial Limusa 1ª. Edición, México.
- Suelos apatzingan-oeidrus consultado en línea junio- 2017 [www.oeidrus.michoacan.gob.mx/App/html/publicaciones/Rasgos/086%20Apatzingan.pdf](http://www.oeidrus.michoacan.gob.mx/App/html/publicaciones/Rasgos/086%20Apatzingan.pdf).

- Tapia-Vargas, Mario, Larios-Guzmán, Antonio, Díaz-Sánchez, Deisy D., Ramírez-Ojeda, Gabriela, Hernández-Pérez, Anselmo, Vidales-Fernández, Ignacio, Guillén-Andrade, Héctor 2016. Producción hidropónica de chile habanero negro (*Capsicum chinense* Jacq.) Revista Fitotecnia Mexicana [en línea], 39: [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2017] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61046936008>> ISSN 0187-7380
- Terés, V. 2001. Relaciones aire-agua en sustrato de cultivo como base para el control de riego. Metodología de laboratorio y modelización. Universidad Politécnica de Madrid. Tesis doctoral.
- Terés, V., & Beunza, A. 1997. Caracterización física de los sustratos de cultivos. Horticultura, 38-41.
- Tripepi, R.R., M.W. George, A.G. Campbell and B. Shafii. 1996. Evaluation pulp and peper sludge as a substrate for comparison in container media, journal Environmental Horticulture 14:91-95.
- Trujillo A., J.J.G. y Pérez L.L., C. 2004 Chile habanero *Capsicum chinense*. L. Diversidad Varietal. Campo Experimental Uxmal, CIRSEINIFAP. Folleto Técnico. 24p.
- Trujillo-Aguirre, J. J. G y Pérez-Llanes, C. del R. 2004. Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) diversidad varietal. Centro de Investigación Regional del Sureste, INIFAP, Campo Experimental Uxmal, Yucatán, Mexico.pp.5-23.
- Tun-Dzul. J de la C. 2001 Chile habanero. Características y tecnología de producción. Centro de investigación Regional del Sureste INIFAP-SAGARPA. Mococho, Yucatán. México. Pp5-74.
- Tut-Maynor 2014 Evaluación de cinco sustratos para la producción en vivero de palo blanco (*Tebebuia donell-smithii* Rose) Tesis de grado Universidad Rafael Saldívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. San juan chamelco, alta vera paz mayo 2014 campus San pedro Claver.
- Uribe F. 2008 Chile habanero como opción de cultivo. Hortalizas. <http://www.hortalizas.com/uncategorized/chile-habanerocomo-opcion-de-cultivo/> (noviembre 2015)

- Urrestarazu, M., y Salas, M. C. 2004 Sistemas con sustrato y recirculación de la solución nutritiva. En: Urrestarazu, M. (ed). Tratado del cultivo sin suelo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, pp. 369-422.
- Valle, G. 2008. Crisis ecológica de la agricultura moderna o convencional. Consultado en mayo 10, 2011 en [www.una.edu.ni/.../Crisis%20ecológica%20de%20la%20agricultura%20convencional](http://www.una.edu.ni/.../Crisis%20ecológica%20de%20la%20agricultura%20convencional)
- Valenzuela, O., y Gallardo, C. 2005. Características de los sustratos utilizados por los viveros forestales. Universidad Entre Rios.
- Vázquez, L. 2008. Preguntas y respuestas sobre agricultura sostenible. Consultado en Septiembre 5, 2010 en <http://www.inisav.cu/publicaciones/otras>.
- Velasco-Hernández, E. Miranda-Velázquez, Nieto Ángel, Raúl, Villegas-Rodríguez, H. 2004. Evaluación de sustratos y variedades en la producción protegida de jitomate. Artículo. Vol. X. Revista Chapingo Serie Horticultura. 239-246 pp.
- Verdonck O, Cappaert I, De Boodt M, 1974. The properties of the normal y used Substrates in the region of Ghent. Acta Horticulturae 37:1930-44.
- Verdonck, O., and P. Demeyer. 2004. The influence of the particle size on the physical properties of growing media. Acta Horticulturae 644: 99-101.
- Vizcano, V. F. A. 2017 Tesis. Evaluación de tres tipos de sustratos en la producción de semilla básica de papa variedad súper chola (*Solanum tuberosum* L), bajo condiciones de invernadero. Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de ciencias agropecuarias. E-UTB-FACIAG-IN.



## APENDICE

Cuadro 1A. Análisis de varianza de la altura de la planta de chile habanero tipo chocolate a los 30 días después de trasplantado (30 ddt) en función del tipo de sustrato.

<b>F.V</b>	<b>g l</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	4.5	2.24	0.47	0.0028**
<b>Tratamiento</b>	5	189.10	37.82	8.01	
<b>Error</b>	10	47.19	4.72		
<b>Total</b>	17	240.77			

**C.V = 14.7 %**

Cuadro 2A. Análisis de varianza de la altura de la planta de chile habanero tipo chocolate a los (60 ddt) en función del tipo de sustrato.

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	5.49	2.75	0.32	0.0001**
<b>Tratamiento</b>	5	1019.37	203.87	24.10	
<b>Error</b>	10	84.58	8.46		
<b>Total</b>	17	1109.43			

**C.V=12.2%**

Cuadro 3A. Análisis de la altura de la planta de chile habanero tipo chocolate a los (90 ddt.) en función del sustrato.

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	78.54	39.27	1.95	<.0001**
<b>Tratamiento</b>	5	4417.12	883.42	43.79	
<b>Error</b>	10	201.76	20.18		
<b>Total</b>	17	4697.42			

**C.V.=9.2%**

Cuadro 4A. Análisis de la altura de la planta de chile habanero tipo chocolate a los (120 ddt.) en función del sustrato.

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	460.13	230.07	4.61	0.0001**
<b>Tratamiento</b>	5	12319.88	2463.98	49.34	
<b>Error</b>	10	499.37	49.94		
<b>Total</b>	17	13279.38			

**C.V = 7.7 %**

Cuadro 5A. Análisis del diámetro de tallo del chile habanero tipo chocolate a los (30 ddt.) en función del sustrato.

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	0.0099	0.0050	0.10	0.0004**
<b>Tratamiento</b>	5	3.23	0.65	13.24	
<b>Error</b>	10	0.49	0.049		
<b>Total</b>	17	3.73			

**C.V=8.3%**

Cuadro 6A. Análisis del diámetro de tallo del chile habanero tipo chocolate a (60 ddt.) en función del sustrato.

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	0.13	0.065	0.36	0.0001**
<b>Tratamiento</b>	5	28.39	5.68	31.65	
<b>Error</b>	10	1.79	0.18		
<b>Total</b>	17	30.32			

**C.V.=10%**

Cuadro 7A. Análisis del diámetro de tallo del chile habanero tipo chocolate a los (90 ddt.) en función del sustrato.

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	0.68	0.339	0.54	0.0001**
<b>Tratamiento</b>	5	90.80	18.16	29.11	
<b>Error</b>	10	6.24	0.62		
<b>Total</b>	17	97.72			

**C.V.=10.1%**

Cuadro 8A. Análisis del diámetro de tallo del chile habanero tipo chocolate a los (120 ddt.) en función del sustrato.

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	0.0092	0.0192	0.003	0.0001**
<b>Tratamiento</b>	5	148.25	15.10	23.28	
<b>Error</b>	10	12.74	1.56		
<b>Total</b>	17	160.99			

**C.V.=11.1%**

Cuadro 9A. Análisis del número de hojas en la planta de chile habanero tipo chocolate a los (30 ddt.) en función del sustrato.

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	3.29	1.64	0.33	0.0006**
<b>Tratamiento</b>	5	290.96	58.19	11.83	
<b>Error</b>	10	49.19			
<b>Total</b>	17	343.45			

**C.V.=14.8%**

Cuadro 10A. Análisis del número de hojas en la planta de chile habanero tipo chocolate a los (60 ddt.) en función del sustrato.

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	188.61	94.30	2.22	0.0025**
<b>Tratamiento</b>	5	1751.24	350.25	8.26	
<b>Error</b>	10	423.98	42.40		
<b>Total</b>	17	2363.83			

**C.V.=25%**

Cuadro 11A. Análisis del número de hojas en la planta de chile habanero tipo chocolate a los (90 ddt.) en función del sustrato.

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	189.07	94.54	1.72	0.0001**
<b>Tratamiento</b>	5	5426.51	1085.30	19.77	
<b>Error</b>	10	548.90	54.89		
<b>Total</b>	17	6164.49			

**C. V. = 16.6%**

Cuadro 12A. Análisis del número de hojas en la planta de chile habanero tipo chocolate a los (120 ddt.) en función del sustrato.

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	1312.51	656.25	3.91	0.0005**
<b>Tratamiento</b>	5	10422.09	2084.42	12.41	
<b>Error</b>	10	1680.12	168.01		
<b>Total</b>	17	13414.71			

**C. V. 12.5%**

## COMPLEMENTACION DE CUADROS

Tratamiento	ap1	ap2	ap3	ap4	dt1	dt2	dt3	dt4	nh1	nh2	nh3	nh4
	Centímetros								numero de hojas			
<b>Granzón</b>	13.8bc	17.6bc	38.1cd	92.76bc	2.4bc	3.4bc	6.1b	9.2bc	15.2ab	16.9b	22.1c	80.7 b
<b>Arena+ C.A.</b>	14.3bc	23.4bc	54.9 b	106.0ab	2.6 b	4.5 b	8.3b	12.2ab	12.4bc	24.2b	38.5bc	97.7 b
<b>Granzón+ C.A.</b>	16.1ab	24.7b	53.5 b	103.5bc	2.7ab	4.4b	7.7b	10.7bc	16.3ab	26.7b	39.1bc	107.3b
<b>Arena de rio</b>	20.5a	38.9a	76.7 a	124.2a	3.3 a	6.6a	11.0 a	14.4a	21.3a	45.3a	79.7a	154.1a
<b>Cascarilla de arroz</b>	13.9bc	23.0bc	43.8bc	83.8 c	2.7ab	4.3b	7.3b	8.9 c	16.ab	25.6b	44.4b	86.1b
<b>suelo</b>	9.7 c	15.4c	26.5d	40.3 d	1.9c	2.5c	3.5c	5.1d	8.2c	14.8b	44.3b	97.1b
<b>Media general</b>	14.7	23.8	48.9	91.8	2.6	4.3	7.3	11.1	15.0	25.5	44.7	103.9
<b>Prob. F</b>	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
<b>DMSH 0.05</b>	6.16	8.24	12.74	20.04	0.62	1.20	2.24	3.2	6.2	18.46	21.01	36.76
<b>C.V.</b>	14.7%	12.2%	9.2%	7.7%	8.3%	10%	10.1%	11.1%	14.8%	25.4%	16.6%	12.5%
<b>Granzón</b>	1.4	2.7	7.5	12.5	0.2	0.1	0.7	1.1	1.2	1.9	3.8	7.6
<b>Arena+ C.A.</b>	2.9	3.6	3.1	4.8	0.3	0.6	1.1	0.9	3.5	2.7	9.0	9.4
<b>Granzón+ C.A.</b>	2.0	2.3	5.1	10.8	0.1	0.6	1.0	1.0	1.6	5.1	9.5	21.2
<b>Arena de rio</b>	2.4	3.0	6.0	8.1	0.0	0.4	0.5	0.3	0.2	14.4	11.8	16.9
<b>Cascarilla de arroz</b>	2.0	2.9	2.9	10.5	0.1	0.1	0.2	1.6	2.4	7.5	2.8	14.1
<b>suelo</b>	0.8	1.1	1.1	1.7	0.1	0.1	0.2	0.3	1.8	1.9	5.7	20.2

Cuadro 13A. Análisis del número de frutos de chile habanero tipo chocolate

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	180.56	90.2	0.59	0.12*
<b>Tratamiento</b>	5	1764.8	352.9	2.32	
<b>Error</b>	10	1519.4	151.9		
<b>Total</b>	17	3464.9			

**C.V.= 38.8 %**

Cuadro 14A. Análisis del peso fresco del fruto

<b>F.V</b>	<b>Gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	1411.4	705.7	0.27	0.02**
<b>Tratamiento</b>	5	57802.2	11560.4	4.43	
<b>Error</b>	10	26081.3	2608.1		
<b>Total</b>	17	85295.0			

**C.V.= 37.6 %**

Cuadro 15A. Análisis del diámetro ecuatorial del fruto de habanero

<b>F.V</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Bloque</b>	2	0.2475	0.1237	2.77	0.038**
<b>Tratamiento</b>	5	0.8186	0.1637	3.66	
<b>Error</b>	10	0.4471	0.0447		
<b>Total</b>	17	1.5132			

**C.V.= 9.7 %**

Cuadro 16A. Análisis de la longitud del fruto de habanero

F.V	gl	SC	CM	F cal.	Pro. f
<b>Bloque</b>	2	0.1934	0.0967	1.76	0.0029**
<b>Tratamiento</b>	5	2.1836	0.4367	7.96	
<b>Error</b>	10	0.5484	0.0548		
<b>Total</b>	17	2.9256			

**C.V.= 9.4 %**

Cuadro 17A. Análisis del peso promedio del fruto.

F.V	gl	SC	CM	F cal.	Pro. f
<b>Bloque</b>	2	0.2993	0.5193	2.39	0.0002**
<b>Tratamiento</b>	5	4.709	2.1963	15.02	
<b>Error</b>	10	0.6272	1.1849		
<b>Total</b>	17	5.6365			

**C.V.= 7.3 %**

Cuadro 18A. Análisis de la materia seca de la hoja.

F.V	DF	SC	CM	F cal.	Pro. f
<b>Modelo</b>	7	117.58	16.79	2.26	0.1167
<b>Error</b>	10	74.18	7.41		
<b>Total correcto</b>	17	191.77			

**C.V.= 23.5 %**



Cuadro 19A. Análisis de la materia seca tallo.

<b>F.V</b>	<b>DF</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Modelo</b>	7	10631.14	1518.73	9.8	0.0009
<b>Error</b>	10	1547.10	154.71		
<b>Total correcto</b>	17	12178.24			

**C.V.= 20.6 %**

Cuadro 20A. Análisis de la materia seca de la raíz.

<b>F.V</b>	<b>DF</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Modelo</b>	7	1706.07	243.72	22.69	0.0001**
<b>Error</b>	10	107.43	10.74		
<b>Total correcto</b>	17	1813.51			

**C.V.= 14.7 %**

Cuadro 21A. Análisis de la materia seca del fruto seco.

<b>F.V</b>	<b>DF</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Modelo</b>	7	1226.73	175.24	2.47	0.0943**
<b>Error</b>	10	709.06	70.90		
<b>Total correcto</b>	17	1935.79			

**C.V.= 39.8 %**

Cuadro 22A. Análisis de la materia seca del fruto fresco.

<b>F.V</b>	<b>DF</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F cal.</b>	<b>Pro. f</b>
<b>Modelo</b>	7	59509.13	8501.03	2.36	0.1056**
<b>Error</b>	10	36016.03	3601.60		
<b>Total correcto</b>	17	95525.17			

**C.V.= 40.5 %**