



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



COORDINACION GENERAL DE POSGRADO

INSTITUTO DE HORTICULTURA

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

COMBINACIÓN DE SUSTRATOS Y SOLUCION NUTRITIVA EN

CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R & P)

TESIS

Que como requisito parcial

para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA

Miguel Ángel González Jiménez

Chapingo, México, Junio del 2011



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



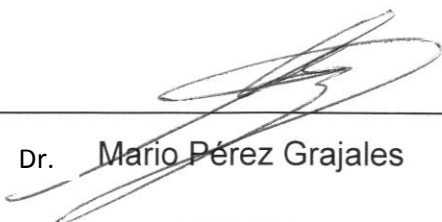
COMBINACIÓN DE SUSTRATOS Y SOLUCION NUTRITIVA EN

CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R & P)

Tesis realizada por Miguel Ángel González Jiménez, estuvo bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



Dr. Mario Pérez Grajales

ASESOR:



Dr. Rogelio Castro Brindis

ASESOR:



Dr. Sweetia Ramírez Ramírez

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico para la realización de los estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo por las instalaciones prestadas para la realización del presente trabajo de investigación, en particular al departamento de Fitotecnia.

Al Dr. Mario Pérez Grajales por asesorarme con su amplia experiencia, por su confianza, paciencia y comprensión.

Al Dr. Rogelio Castro Brindis por su colaboración apoyo y paciencia en la realización del presente trabajo.

A la Dra. Sweetia Ramírez Ramírez, por su apoyo comentarios y sugerencias en la presente investigación.

A toda la planta de profesores que me orientaron o contribuyeron con mi formación académica profesional, Gracias!

A todos los que confiaron en mí para la realización del presente proyecto de investigación, mi más sincero agradecimiento.

Miguel Ángel González Jiménez

Dedicatorias

A Dios

Con amor y gratitud por iluminar mi camino colmar de bendiciones mi vida, quien siempre estará conmigo, no dejándome caer en el orgullo cuando triunfo, ni en la desesperación cuando fracaso, y más bien recordarme que el fracaso es la experiencia que precede al triunfo.

Con amor y gratitud a mi familia por apoyarme, guiarme, aconsejarme, motivarme y por la constancia que me han transmitido, con quien he compartido momentos maravillosos en mi vida y han estado detrás mí apoyándome como hasta ahora.

A todos aquellos estudiantes, investigadores como productores y público en general interesados en conocer sobre la presente investigación. Esperando contribuir para desarrollar sus inquietudes y satisfacer sus expectativas.

Ing. Miguel Ángel González Jiménez

- Nació el 13 de diciembre de 1978 en el Mpio. de Tetela del Volcán, Estado de Morelos.
- Su educación básica primaria, secundaria, y bachillerato lo realizó en el Mpio. de Tetela del Volcán, Estado de Morelos. (1984-1996).
- Estudio la licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo (2000-2004), obteniendo el Título de Ingeniero agrónomo especialista en Parasitología Agrícola.
- De manera independiente fue productor de hortalizas en el estado de Morelos (2004 - 2006).
- Fue Promotor de ventas para Syngenta Agro en maíz y sorgo para el estado de Morelos (2006 - 2007).
- Técnico de campo para el consejo estatal de productores de aguacate A.R. de I. C de R.L en el estado de Morelos (2007- 2008).
- Estudio la Maestría en Ciencias en el departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (2009 - 2010).

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1 El chile manzano.....	4
3.1.1 Origen y distribución.....	4
3.1.2 Características botánicas de <i>Capsicum pubescens</i>	4
3.1.3 Requerimientos ambientales.....	6
3.1.4 Principales enfermedades.....	6
3.2 La solución Nutritiva Universal de Steiner (SNUS) y consumo nutrimental.....	9
3.2.1 Criterios de riegos.....	11
3.2.2 Materia seca.....	12
3.3 Propiedades de los sustratos.....	13
3.3.1 Introducción.....	13
3.3.2 Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigacion.....	16
3.3.3 Propiedades físicas de sustratos.....	18
3.3.4 Propiedades química de los sustratos.....	24
3.3.5 Propiedades biológicas de los sustratos.....	33
3.3.6 Sustratos más empleados en horticultura.....	35

4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
4.1 Sitio experimental.....	42
4.2 Material vegetal.....	42
4.3 Manejo del cultivo.....	42
4.4 Tratamientos y diseño experimental.....	44
4.5 Variables evaluadas y análisis de datos.....	45
4.5.1 Variables de rendimiento y calidad de frutos.....	45
4.6 Distribución de materia seca e índice de cosecha.....	47
4.7 Uso eficiente del agua y nutrimentos.....	47
4.8 Caracterización de la propiedades físicas y químicas de los sustratos.....	48
4.9 Presencia de <i>Phytophthora capsici</i> en lombricomposta.....	48
4.9 Análisis económico.....	48
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
5.1 Rendimiento, calidad y precocidad de fruto.....	49
5.1.1 Peso y número de frutos.....	49
5.1.2 Calidad de fruto (volumen de fruto).....	54
5.1.3 Precocidad de fruto.....	57
5.2 Altura de planta, diámetro de tallo y distribución de materia seca.....	58
5.3 Uso eficiente del agua y los nutrimentos.....	63
5.4 Propiedades físicas y químicas de los sustratos.....	66
5.5 Diagnóstico de la presencia de <i>Phytophthora capsici</i>	73
5.6 Análisis económico.....	73

6. CONCLUSIONES.....	77
7. LITERATURA CITADA.....	78
8. ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cantidad de fertilizantes utilizados para prepara 1000 L de solución nutritiva para irrigar plantas de chile manzano establecidas en maceta bajo condiciones de invernadero. Chapingo, México, 2010.....	10
Cuadro 2. Coeficientes similares de extracción de los principales cultivo manejados en invernadero (Rincón, 2002).....	11
Cuadro 3. Capacidad de intercambio catiónico para algunos sustratos estándares.....	29
Cuadro 4. Niveles de referencia de los nutrientes en la disolución del sustrato, en el cultivo hidropónico de tomate sobre materiales minerales inertes.....	31
Cuadro 5. Contenido de N P K y materia orgánica en diferentes sustratos.....	33
Cuadro 6. Propiedades físicas de la fibra de coco.....	37
Cuadro 7. Caracterización físicas del tezontle negro usado como sustrato en invernadero.....	38
Cuadro 8. Comparación de propiedades físicas y químicas de diferentes sustratos.....	41
Cuadro 9. Productos químicos utilizados en chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	44

Cuadro 10. Tratamientos estudiados para la evaluación de combinaciones de sustratos y concentración de SNUS en chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	45
Cuadro 11. Litros de sustrato utilizado por maceta de 40 x 45 cm (18 l) de acuerdo a cada combinación de sustrato y combinación de solución nutritiva en chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	46
Cuadro 12. Comparación de medias para la variable rendimiento promedio de fruto por planta por efecto de la concentración de la SNUS, combinación de sustratos e interacción de estos factores en el cultivo de chile manzano. Chapingo, México, 2010.....	53
Cuadro 13. Comparación de medias para la variable volumen promedio de frutos por planta por efecto de la concentración de SNUS, combinación de sustrato e interacción de la SNUS en los sustratos el cultivo del chile manzano. Chapingo, México, 2010.....	55
Cuadro 14. Precocidad de frutos considerando los tres primeros cortes de chile manzano cultivado en invernadero con diferentes concentraciones de solución nutritiva y combinaciones de sustratos. Chapingo, México, 2010....	57
Cuadro 15. Comparación de medias de altura de planta y diámetro de tallo de plantas de chile manzano cultivado en invernadero con diferentes concentraciones de SNUS y combinación de sustratos. Chapingo, México, 2010.....	59

Cuadro 16. Peso seco e índice de cosecha (IC) estimado para chile manzano cultivado en invernadero con diferentes concentraciones de SNUS y combinación de sustratos. Chapingo, México, 2010.....	63
Cuadro 17. Características físicas, químicas y constantes de humedad de las combinaciones de los sustratos constituidas en una proporción v/v, que fueron empleadas en el estudio del chile manzano en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	67
Cuadro 18. Análisis químico de sustratos empleadas en el estudio de combinaciones de sustratos y SNUS en el estudio de chile manzano. Chapingo, México, 2010.....	68
Cuadro 19. Valor de pH en diferentes fechas de muestreo de la Solucion Nutritiva Universal de Steiner diferentes concentraciones aplicadas a macetas con plantas de chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	69
Cuadro 20. Día y mes del pH determinado del agua lixiviada de la maceta del chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, Mexico, 2010.....	70
Cuadro 21. Valores de CE estimada en mS de la Solución Nutritiva de Steiner en diferentes concentraciones aplicada en chile manzano, cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	70

Cuadro 22. Comportamiento de la CE medida en mS del agua lixiviada en el cultivo de chile manzano en diferentes concentraciones de SNUS y combinaciones de sustratos. Chapingo, México, 2010.....	71
Cuadro 23. Rendimiento obtenido por planta por año, en los tratamientos de combinación de sustratos y SNUS de chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	74
Cuadro 24. Costo del sustrato, SNUS, y costo para producir un kilogramo de fruto (M.N) en los diferentes tratamientos, en el estudio del cultivo de chile manzano en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidad relativa de nutrientes para suelos con base mineral y para suelos con base orgánica (Kuhns, 1985).....	25
Figura 2. Plántulas de chile manzano establecidas en charolas de polietileno 10, 70 días después de la siembra y recién trasplantada a bolsa de poliestireno negro (40 x 45 cm). a), b) y c) respectivamente. Chapingo, México, 2010.....	43
Figura 3. Planta de chile manzano con el mejor tamaño de fruto a los 7 meses después de trasplante con la aplicación de la SNUS al 75%, y cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	50
Figura 4. Aspecto de la planta de chile manzano con un promedio de 16.4 frutos por planta, a los 6 meses después del trasplante, cultivado con SNUS al 75% de concentración y sustrato tezontle con lombricomposta en una proporción 3:1. Chapingo, México, 2010.....	52
Figura 5. A) Planta de chile manzano con frutos de calidad con un peso promedio de 77g por fruto obtenidos en el tratamiento de y B) SNUS al 75%, con frutos de chile manzano cosechados de plantas cultivadas al B1)100, B2) 75, B3) 50 y B4) 25% de la SNUS. Chapingo, México, 2010.....	56

Figura 6 Distribución de materia seca en porcentaje entre los órganos de la planta de chile manzano cultivado en invernadero con diferentes concentraciones de la solución nutritiva y combinaciones de sustratos. Chapingo, México, 2010.....	62
Figura 7. Cantidad de agua consumida por planta de chile manzano a conductividad eléctrica 1, 1.5 y más de 2.5 mS en el estudio de concentraciones de SNUS y combinaciones de sustratos. Chapingo, México, 2010.....	65
Figura 8. Síntomas de deficiencia de potasio en hojas de chile manzano provocada por la salinidad del sustrato tezontle al aplicar la SNUS a una concentración de 100%. Chapingo, México, 2010.....	72

ANEXOS

Anexo 1A. Metodología para determinar las características físicas y químicas de los sustratos utilizados en el estudio de chile manzano en invernadero con diferentes SNUS. Chapingo, México, 2010.....	96
Figura 1A. Planta de chile manzano 6 meses después del trasplante con tratamiento de SNUS al 75% y la combinación tezontle con polvo de coco (3:1) en el estudio de chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	98
Figura 2A. Aspecto de la planta de chile manzano a los 6 meses después del trasplante con SNUS 75% y la combinación tezontle con peat moss (3:1) realizado en Chapingo, México, 2010.....	98
Figura 3A. Planta de chile manzano 6 meses DDT de SNUS 75% en la combinación tezontle con lombricomposta (3:1) cultivado en invernadero. Chapingo, México. 2010.....	99
Figura 4A. Planta de chile manzano 6 meses DDT de SNUS 50% y la combinación tezontle con polvo de coco (1:1) cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	99
Figura 5A. Planta de chile manzano 6 meses DDT de SNUS 50% y la combinación tezontle con peat moss (1:1) cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	100

Figura 6A. Planta de chile manzano 6 meses DDT de SNUS 50% y la combinación tezontle con lombricomposta (1:1) cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	100
Figura 7A. Planta de chile manzano 6 meses DDT de SNUS 100 % con tezontle solo (testigo), de chile manzano, cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	101
Figura 8A. Planta de chile manzano 6 meses DDT de SNUS 25 % con la combinación tezontle con lombricomposta (1:1) cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	101
Figura 9A. Planta de chile manzano 6 meses DDT de SNUS 25% y la combinación tezontle con peat moss (1:1), cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	102
Figura 10A. Planta de chile manzano 6 meses DDT de SNUS 25% y la combinación tezontle con polvo de coco (1:1) cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.....	102
Figura 11A. Temperatura y humedad relativa promedio ambiental durante el mes de abril en invernadero con chile manzano. Chapingo, México, 2010.....	103
Figura 12A. Temperatura y humedad relativa promedio ambiental durante el mes de mayo en invernadero con chile manzano. Chapingo, México, 2010.....	103
Figura 13A. Temperatura y humedad relativa promedio ambiental durante el mes de junio en invernadero con chile manzano. Chapingo, México, 2010.....	104
Figura 14A. Temperatura y humedad relativa promedio ambiental durante el mes de agosto en invernadero con chile manzano. Chapingo, México, 2010.....	104

Figura 15A. Temperatura y humedad relativa promedio ambiental durante el mes de septiembre en invernadero con chile manzano. Chapingo, México, 2010.....	106
--	-----

RESUMEN

En combinación con la Solución Nutritiva Universal de Steiner (SNUS) en sustrato inerte y estéril ha permitido crecer plantas de chile manzano libres de *Phytophthora capsici*, principal problema fitosanitario en el cultivo de chile manzano. No obstante, en los últimos años, el costo de los fertilizantes empleados para preparar la solución de nutritiva se ha incrementado sustancialmente. Por tal motivo se propone el uso de tezontle rojo combinado con sustratos orgánicos y a su vez emplear menor concentración de la SNUS. El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero, se empleo el diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 4x3, con cinco repeticiones. El primer factor fue la concentración de la SNUS (25, 50, 75 y 100%) y el segundo los sustratos con tres niveles, lo anterior generó nueve tratamientos y el testigo que consistió de tezontle solo 100% de la SNUS. La combinación de sustrato que permitió las mejores condiciones físicas y químicas al crecimiento y desarrollo del cultivo de chile manzano fue la combinación tezontle y lombricomposta (3:1) con una concentración de la SNUS 75%, obteniendo un rendimiento promedio por planta de 8.5 kg por año, peso promedio por fruto de 77 g equivalente a un volumen mayor o igual a 106 ml, y costo de producción de 3.1 pesos por kg de fruto Vs 10.3 del testigo. También se alcanzó mayor eficiencia en el uso de agua, ya que para producir un kilogramo de fruto se necesitaron 86.6 L Vs 186 L del testigo; y el riesgo de utilizar sustratos orgánicos en las proporciones ensayadas fue nulo ya que no existió manifestación de *Phytophthora capsici*.

Palabras claves adicionales: *Phytophthora capsici*, Steiner, sustratos orgánicos, tezontle.

ABSTRACT

The use of Steiner's Universal Nutrient Solution (SUNS) in sterile inert substrate has allowed growing apple chile plants free of *Phytophthora capsici*, the main pest that affects the cultivation of apple chile. However, in recent years, the cost of fertilizers used to prepare the nutrient solution has increased substantially. For this reason we propose the use of red volcanic rock combined with organic substrates and, in turn, the use of a lower concentration of SUNS. The experiment was conducted under greenhouse conditions using a completely randomized experimental design with a 4X3 factorial arrangement and five replications. The first factor was the concentration of SUNS (25, 50, 75 and 100%) and the second substrates with three levels, which generated nine treatments. The control consisted of volcanic rock at only 100% SUNS. The substrate combination that allowed the best physical and chemical conditions for growth and development of the chile apple crop was the combination of tezontle and vermicomposting (3:1) at a concentration of 75% SUNS, obtaining an average yield of 8.5 per plant kg per year, average weight per fruit of 77 g (equivalent to a volume greater than or equal to 106 ml), and a production cost of 3.1 pesos per kg of fruit Vs 10.3 for the control. Greater water use efficiency was also achieved, as 86.6 L was needed to produce 1 kilogram of fruit, compared to 186 L for the control. In addition, the risk of using organic substrates in the proportions tested was nil since there was no manifestation of *Phytophthora capsici*.

Additional keywords: *Phytophthora capsici*, Steiner, organic substrates, volcanic rock.

1. INTRODUCCIÓN

México es reconocido como el segundo país con mayor volumen de producción de chile en el mundo con 1.85 millones de toneladas (SIAP-SAGARPA, 2006). De la gran diversidad de chiles que se siembra y consume, el tipo jalapeño se ubicó como la especie de mayor volumen con 503 mil toneladas y una superficie de 27,758 hectáreas (SIAP-SAGARPA, 2006).

En particular del chile manzano se cultivan 1500 ha, de la cuales, veinte se llevan a cabo en invernadero y las demás a campo abierto. En la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), desde 1994 a la fecha, se ha generado un paquete tecnológico a través de la línea de investigación genética y fisiología de chile manzano en invernadero. La propuesta ha sido adoptada por productores de Altotonga, Veracruz; Zacango, Tenancingo y Coatepec de Harinas en el estado de México y de Tacámbaro y Villa Madero en Michoacán, entre otros. En la propuesta se incluye el uso de tezontle rojo como sustrato inerte y estéril, así como la Solución Nutritiva Universal de Steiner. Ambos componentes tecnológicos han contribuido en la obtención de alto rendimiento ($80 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}$) y calidad de fruto (Pérez y Castro, 2008). El sustrato inerte y estéril ha permitido crecer plantas libres de *Phytophthora capsici*, principal problema fitosanitario, en el cultivo de chile manzano a campo abierto, y la SNUS proporciona los nutrimentos de forma balanceada. No obstante, en los últimos años, el costo de los fertilizantes empleados para preparar la solución de nutritiva se ha incrementado sustancialmente, de tal manera que es necesario proponer alternativas encaminadas a disminuir la cantidad aplicada de fertilizantes minerales, sin afectar la calidad y rendimiento de fruto del cultivo. Entre estas alternativas se encuentra el empleo de abonos orgánicos (compostas y vermicompostas)

Y combinación de sustratos que más comúnmente se usan en la horticultura protegida en los sistemas de cultivo sin suelo como son: perlita, lana de roca, tezontle arena, turba, corteza de pino y fibra de coco.

De acuerdo con lo anterior, en el presente proyecto, se pretende disminuir los costos de producción, al emplear diferentes combinaciones de sustratos orgánicos con tezontle rojo y variar el porcentaje de concentración de la solución nutritiva, de tal manera que al emplear sustrato orgánico con el cual puede aportar nutrimentos y disminuya la cantidad aplicada, pero balanceada, de los fertilizantes minerales a través de la solución nutritiva. No obstante, es fundamental tomar en cuenta que los sustratos orgánicos pueden ser fuente de inóculo de *Phytophthora capsici* por lo que deberá seleccionarse cuidadosamente el tipo de sustrato orgánico y la cantidad empleada en la combinación con el tezontle rojo. Por ello, será necesario evaluar la presencia o no del hongo en los diferentes tratamientos, conocer las propiedades físicas y químicas de los sustratos para seleccionar la combinación que favorezca el mayor índice de cosecha y calidad de fruto pero considerando el uso eficiente del agua y la relación beneficio costo.

2 OBJETIVOS E HIPOTESIS

OBJETIVO GENERAL

Proponer alternativas para disminuir la cantidad de fertilizantes minerales empleados en la producción intensiva de chile manzano en invernadero a través del uso de tezontle rojo combinado con sustratos orgánicos y disminuir la concentración de la solución nutritiva universal de Steiner.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar, a través de las propiedades físicas y químicas, la mejor combinación de sustrato (tezontle, peat moss y lombricomposta) que maximice el rendimiento y calidad de fruto, usando la solución nutritiva de Steiner en diferentes concentraciones.
2. Determinar la eficiencia en el uso del agua y analizar la relación beneficio-costos en las diferentes combinaciones de sustrato.

HIPÓTESIS

La combinación de tezontle con sustrato orgánico y solución de Steiner al 50% permite disminuir significativamente el costo de producción del sistema, sin afectar el rendimiento y calidad de fruto de chile manzano Vs 100 % de tezontle y 100% de la concentración universal de Steiner.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El chile manzano

3.1.1 Origen y distribución

El género *Capsicum* es originario de América del sur y existen cinco especies domesticadas *C. annum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq., *C. baccatum* L. y *C. pubescens* R. & P. esta última cultivada en las tierras altas de América del sur, América central y México (Smith y Heiser 1957). El chile manzano (*C. pubescens* R y P) originario del Perú, actualmente se cultiva en diversos países. En México, las entidades con mayor superficie destinada a este cultivo son: Michoacán, Puebla, Veracruz, Estado de México y en menor escala Chiapas Oaxaca y Morelos, donde forma parte de los hábitos alimenticios (Pérez y Castro, 2010).

La superficie sembrada a nivel nacional con este tipo de chile es de aproximadamente 1500 ha en campo abierto, donde se alcanzan rendimientos promedio de 8 t·ha⁻¹·año⁻¹, y alrededor de 10 ha son bajo condiciones de invernadero donde se llegan a obtener hasta 80 t·ha⁻¹·año⁻¹ (Pérez y Castro, 2010).

3.1.2 Características botánicas de *Capsicum pubescens*

Semilla. Es el único del género *Capsicum*, que posee semillas negras, de forma ovalada, con el borde ligeramente ondulado. Mide alrededor de 5 mm de diámetro y están constituidos de testa gruesa, embrión y endospermo. El embrión es curvo y ligeramente enrollado con cotiledones plegados. El endospermo es el tejido en donde se localizan las reservas alimenticias, razón por la cual pertenece a la familia de las semillas albuminosas.

Raíz. Cuando se cultiva a campo abierto, el sistema radical consta de una raíz principal típica y pivotante de origen seminal y numerosas raíces secundarias que pueden alcanzar hasta 1.2 m de profundidad y 0.8 de exploración horizontal; el 80 % de ellas se encuentra en una capa de 20 a 30 cm pero,

cuando se cultiva en sustratos inertes como el tezontle rojo, se concentra en los primeros 15 cm, es mas ramificada y su volumen se ve reducido.

Tallo. Es leñoso con hábito de crecimiento compacto y erecto; abundante pubescencia y es de color verde, excepto en los primeros entrenudos, en los cuales es de color purpura. Su ramificación es pseudodicotómica.

Hoja. Es simple, su forma es cordada con ápice acuminado y borde liso, excesivamente vellosa y la nervadura es reticulada perinerve. Es peciolada de filotaxia alterna dística.

Flor. Es hermafrodita de color violeta y raramente blanca. El centro es blanco, el cáliz y la corola están fusionadas en su base. Los estambres tienen la misma longitud y el ovario es súpero. En las axilas se encuentran, uno o dos pedicelos, cuya posición puede ser erecta o intermedia. Cuando el número de pedicelos es de tres el centro se desarrolla y crece más rápidamente. Esta situación se presenta con mayor frecuencia en los extremos de las ramas de las plantas adultas.

Características del fruto. El fruto es una baya, el color en estado inmaduro es verde y maduro puede ser amarillo, naranja, o rojo. Tiene una placentación axilar. Su forma varía dependiendo del número de lóculos. Cuando se presenta uno o dos tiene la forma de pera y cuando tiene tres o cuatro la forma es de manzana. La longitud de fruto es de 4 a 8 cm y diámetro de 2 a 6 cm; el grosor de pericarpio varía de 2 a 4 mm. Su posición es declínate, la forma del cáliz es dentado es dentado, presenta una constricción anular en la unión del cáliz y el pedúnculo, la forma del fruto en la unión con el pedúnculo es truncada y acorazonada, no presenta cuello en la base del fruto y la forma del ápice es hundido y raras veces de forma obtusa.

3.1.3 Requerimientos ambientales

Temperatura. El intervalo óptimo de temperatura para el crecimiento y desarrollo adecuado de esta especie va de 18 a 22 ° C en el día y 10 a 12 °C en la noche. La temperatura base o cero vegetativo es de 5°C y cuando la temperatura es mayor a 35 °C se provoca el aborto de las flores. La especie se adapta bien en altitudes de 1700 a 2400 m siempre que no existan heladas. Para la germinación de las semillas se requieren de 25 a 28 °C, lo cual sucede en los primeros ocho días.

Radiación. La radiación óptima promedio de la especie es de 550 μmol de fotones $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ lo que equivale a 550 Eistein. Lo anterior corresponde a un tercio de la radiación presente, a las 12 h, de un día soleado en el mes de mayo en la zona oriente del estado de México (Chapingo), lo cual se ubica a 19° 29 de LN y 98° 53 de LW y una altitud de 2240 m. debido a esos requerimientos de radiación su cultivo se lleva a cabo en condiciones de media sombra (Pérez, 2002).

Humedad relativa y del suelo. La planta se desarrolla bien con humedad relativa de 70 a 80 %. Arriba de este valor se tiene poca dehiscencia de anteras disminuyendo la polinización y fecundación de los óvulos, y en consecuencia se tiene menor número de semillas y a su vez menor tamaño de fruto. Con humedades relativas menores al 40 % existe deshidratación de los granos de polen. Lo cual también ocasiona una baja polinización y formación de semillas (Pérez, 2002).

3.1.4 Principales enfermedades

Un problema que enfrentan los productores de chile manzano es la enfermedad conocida como marchitez del chile causado por *Phytophthora capsici*, la cual ha sido responsable de ocasionar pérdidas económicas hasta del 40% del rendimiento a nivel nacional (Pernezny *et al.*, 2003). Por otra parte, González *et al.* (2002), menciona que en orden de importancia se tiene a *Fusarium* con un 65% de incidencia, y a *Rizotonia solani* y *P. capsici* con un 33%. Así que las

podridones de la raíz son el principal problema fitopatológico del género *Capsicum* en el Norte-Centro de México. De acuerdo con Velásquez (2000) se debe a los hongos *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp., *Verticillium* spp. y *Pythium* spp.

Síntomas del género *Phytophthora* spp.

En el caso de *Phytophthora* spp. el follaje de las plantas se marchita parcial o totalmente. El daño se puede presentar en cualquier parte de la planta y en cualquier estado de desarrollo. Cuando el ataque es en la raíz se presenta marchitez y el daño comienza en los tejidos corticales, posteriormente en los vasos vasculares donde se observa una banda necrosada ascendente sobre el tallo, causando taponamiento al sistema vascular de la planta. Al inicio se observa una marchitez parcial y después de tres a cuatro días la marchitez es completa (Mendoza, 1996). Al respecto, Castrejon (1984) determinó que la marchitez se presenta a los nueve días después de la inoculación y en solo veinte las plantas mueren. Este fenómeno se presenta tan rápidamente que las hojas pierden su turgencia y cuelgan pero conservan su color verde. Si ocurre solo en una rama, se presenta marchitez parcial y bajo condiciones favorables pueden extenderse a toda la planta. Las infecciones ocurren por salpicadura de gotas de agua portadoras de esporangios y zoosporas. En hojas y ramas se desarrollan tizones, en frutos se desarrollan manchas acuosas cubiertas por micelio del hongo. Los frutos quedan adheridos a la planta y frecuentemente se observa desarrollo del micelio de color blanco que cubren las semillas podridas en la parte interna. En plántulas ocasiona *damping off* y pudrición del tallo (Mendoza, 1996; Nuez, 2003).

Ciclo de la enfermedad

Las oosporas son la fuente de inóculo primario, sobreviven en el suelo por más de dos años en ausencia del hospedante. El micelio es una fuente importante de inóculo secundario y se ha observado que no sobreviven por más de siete

días en suelo seco. El patógeno sobrevive como saprofito sobre restos de materia orgánica y con humedad constante produce esporangios y zoosporas que son distribuidas en el agua. Las zoosporas son los propágulos más efectivos para causar infección ya que pueden nadar o simplemente ser arrastradas por la corriente de agua. Las zoosporas después de un tiempo determinado y de acuerdo con las condiciones del ambiente se enquistan y absorben sus flagelos. Inmediatamente después emiten un tubo germinativo que penetra los tejidos de la planta por medio de aprensorios (Cruz, 1998; Nuez *et al.*, 2003) la lluvia y el mal drenaje favorece la infección, por lo que la enfermedad se presenta después del trasplante, las infecciones en el cuello de la planta se debe a que las zoosporas del patógeno son llevadas por el agua e inician la infección por las heridas o por las lenticelas.

El marchitamiento se debe a una secreción de toxinas por el patógeno y el taponamiento de los vasos conductores. Las lesiones en ramas y hojas se presentan por el inoculo diseminado por el salpique de agua de lluvia. El patógeno sobrevive de una estación a otra en los residuos de las cosechas, los esporangios se forman en la base del tallo que libera zoosporas que son acarreadas por el agua a otras plantas (Mendoza, 1996).

El manejo de la enfermedad es mediante el control cultural, biológico, químico, genético e integral. Entre las medidas que han mostrado ser más eficientes para el manejo de la marchitez se encuentra la rotación de cultivos, nivelación del terreno, formación de surcos altos con pendiente, riegos ligeros y frecuentes (Mendoza, 1996) y el control biológico.

Para el control biológico García *et al.* (2006) lograron reducir de la incidencia de la enfermedad en más del 25 % con la aplicación de *Trichoderma harzianum*, la cual tiene capacidad antagónica contra *Phytophthora spp.*, *Fusarium spp.*, *Sclerotium spp* y *Rhizoctonia solani*.

El control de *Phytophthora capsici* puede realizarse mediante aplicaciones de productos químicos (Pérez *et al.*, 1990) pero desafortunadamente los productores aplican de manera desmesurada y ha causado resistencia a hongos del orden omicetos, incluso existen reportes que indican que *P. capsici* ha desarrollado resistencia a mefenoxam, metalaxyl, propamocarb, clorhidrato y azoxystrobin (Fernández *et al.*, 2007; Pérez *et al.*, 2004) por lo que para evitar esto es necesario combinar varias estrategias de control. Una alternativa novedosa para el manejo de las enfermedades de la raíz en las hortalizas es a través de injertos de la variedad comercial sobre patrones resistentes.

3.2 La Solución Nutritiva Universal de Steiner (SNUS) y consumo nutrimental

En hidroponía, las necesidades nutrimentales que tienen las plantas son satisfechas con los nutrimentos que se suministran en la Solución Nutritiva Universal de Steiner (SNUS). La cantidad de nutrimentos que requieren las plantas depende de la especie, la variedad, la etapa fenológica y las condiciones ambientales (Carpena *et al.*, 1987; Adams, 1994b). Cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere de una solución nutritiva con características específicas.

De acuerdo con Graves (1983) y Steiner (1984), las principales características que influyen en el desarrollo de los cultivos y sus productos de importancia económica son: la relación mutua entre los aniones, la relación mutua entre los cationes, la concentración de nutrimentos (representada por la CE), el pH, la relación $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ y la temperatura de la SNUS.

El concepto de relación mutua entre iones fue empleado por Steiner (1961), y se basa en que la SNUS debe existir una relación mutua entre cationes y aniones: NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} vs K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . El balance consiste no sólo en la cantidad absoluta de cada uno de ellos, sino, además, en la relación cuantitativa que se establece entre los cationes por una parte y los aniones por la otra.

En chile manzano, la Solución Nutritiva Universal de Steiner que se ha utilizado para preparar 1000 de solución nutriente a diferentes concentraciones se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Cantidad de fertilizantes utilizados para prepara 1000 L de solución nutritiva para irrigar plantas de chile manzano establecidas en maceta bajo condiciones de invernadero. Chapingo, México, 2010

Fuente de fertilizante	Concentración			
	100%	75%	50%	25%
	g/1000 L de agua			
Ac. Fosfórico 85%	100(ml)	75(ml)	50(ml)	25 (ml)
Sulfato de potasio	870.0	652.5	435.0	217.5
Sulfato de magnesio	1230.0	922.5	615.0	307.5
Nitrato de potasio	750.0	562.5	375.0	187.5
Nitrato de calcio	1300.0	975.0	650.0	325.0
Sulfato ferroso	50.0	37.5	25.0	12.5
Sulfato de manganeso	10.0	7.5	5.0	2.5
Sulfato de zinc	5.0	3.8	2.5	1.3
Sulfato de cobre	5.0	3.8	2.5	1.3
Bórax	20.0	15.0	10.0	5.0

FUENTE: Elaboración propia.

El primer factor que determina la dosis de fertilización de los cultivos es la demanda de los mismos, a partir de su potencial de rendimiento. Para ello se han determinado los coeficientes de consumo nutrimental del cultivo, que no es otra cosa que la cantidad total de nutriente que un cultivo extrae por tonelada que rinde. Entre más alto sea el rendimiento mayor será su extracción y viceversa. Los coeficientes de extracción de cinco especies de hortalizas, incluyendo el chile manzano se presenta en el Cuadro 2, estos coeficientes son útiles para formular dosis de fertilización en función del rendimiento esperado.

Cuadro 2. Coeficiente similares de extracción de los principales cultivo manejados en invernadero (Rincón, 2002).

Cultivo	Coeficiente de extracción, kg· ton ⁻¹					Coeficiente de extracción, g· t ⁻¹				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Fe	Zn
Tomate	3	1	5	2.5	1					
Pimiento	4	1.2	6.6	3.2	1.2					
Melón	5	2.5	10	3.5	2					
Sandía	3	2	5	3	1					
*Chile manzano	3.8	0.87	2.95	2.35	0.749	39.75	0.29	21.6	2.13	

*Fuente: Pérez y Castro, 2008.

3.2.1 Criterios de riegos

La cantidad de agua necesaria dependerá de la zona, cultivo, condiciones climáticas, época del año, control climático del invernadero, tipo de sustrato y contenedor, nivel salino del agua de riego (sobre todo en SNUS áridas) (Jensen *et al.*, 1995). Diferentes métodos son usados para este propósito como los que se basan en Técnica de balance de agua o Indicadores de la planta.

Técnica de balance de agua. Está basada en aspectos meteorológicos del suelo y de la planta. Tres aspectos deben considerarse previamente. El primero, consiste en determinar un criterio de riego (CR) el cual señala el porcentaje tolerable de disminución del agua aprovechable del suelo (HA). En general, se sugiere un valor de cincuenta por ciento (CR = 0.5) asignándose valores de CR del treinta por ciento (CR = 0.3) para cultivos sensibles a un déficit de agua y valores de CR = 0.6 para cultivos que soportan de mejor manera un estrés hídrico.

El segundo aspecto tiene que ver con la profundidad de raíces del cultivo. En cultivos anuales, dicha profundidad cambia rápidamente con el tiempo, a partir, de emergencia a madurez fisiológica. Por tanto, una adecuada programación

del riego, requiere del conocimiento de la profundidad efectiva de raíces en cada período de tiempo analizado. Así, este valor determinará la profundidad (P) del suelo desde donde se extrae el agua.

El tercer aspecto, se refiere al conocimiento de la cantidad de agua que el cultivo y el ambiente extraen desde el suelo (Evapotranspiración del cultivo, ETC). Esta cambia con la edad del cultivo, clima y ubicación geográfica. Por tanto, se debe recurrir a una fuente de información o metodología contable de cálculo que considere los aspectos reseñados.

Indicadores del suelo. Esta metodología considera la determinación del contenido actual de humedad o agua del suelo, comparándolo con un valor predeterminado mínimo de contenido de humedad, regando cada vez que se alcance dicho valor. El contenido mínimo de humedad varía, con el estado fenológico del cultivo y sensibilidad a déficit hídrico de la planta.

El contenido de humedad del suelo puede medirse o estimarse directamente, o bien inferirse a partir de otros parámetros del suelo.

Indicadores de la planta. Dado que el objetivo de riego es restablecer el agua de la planta, el método más directo para regar es monitorear la planta directamente.

3.2.2 Materia seca

Desde el punto de vista agronómico, el crecimiento y la productividad de una planta o un cultivo, están determinados por cinco características fisiológicas del crecimiento: a) la cantidad de energía luminosa interceptada por el dosel; b) La eficacia con que la energía luminosa interceptada se usa en la producción de nueva materia seca; c) la proporción de la nueva materia seca asignada a las diferentes partes de la planta; d) la proporción de pérdida de materia seca de la planta, por cualquier causa; y e) la duración del crecimiento en la planta de la parte de interés (Hunt, 1990). Los estudios detallados del crecimiento de las

plantas permiten cuantificar diferentes aspectos del mismo: la duración del ciclo; la definición de las etapas de desarrollo; y la distribución de los fotoasimilados por órganos.

La distribución de materia seca hacia los frutos es consecuencia de la relación fuente/demanda, la cual puede controlarse mediante la variación de la fotosíntesis potencial, a través de la variación de la radiación solar interceptada por las plantas, y mediante el control de la carga potencial de frutos por unidad de superficie. En este sentido, en los invernaderos no climatizados, la manipulación de la densidad de plantación, así como del número de frutos creciendo en la planta según la época del año son medidas útiles para controlar la relación fuente/demanda y el balance de asimilados entre los órganos vegetativos y reproductivos, a escala de un cultivo comercial, (Marcelis y De Koning, 1995).

Uno de los métodos que se emplea con más frecuencia para expresar el crecimiento vegetal, es la acumulación del peso seco, se tiene la gran ventaja de que al determinar el peso seco, se elimina totalmente al agua de los tejidos vegetales, factor que puede distorsionar los resultados finales; sin embargo, también tiene la gran desventaja de que para realizar las mediciones hay que destruir totalmente el órgano vegetal objeto de estudio, lo que lo hace inviable en ciertas ocasiones (Pérez y Martínez, 1994).

Este tipo de análisis del crecimiento son básicos para comprender mejor los procesos fisiológicos que determinan la producción vegetal, y así fundamentar más racionalmente las prácticas de manejo del cultivo como la: nutrición, riego, podas, estrategias de protección, entre otras (Barrientos, 1988).

3.3 Propiedades de los sustratos

3.3.1 Introducción. Un sustrato se define como el material sólido distinto de los suelos naturales, minerales u orgánicos, que colocados en un contenedor, en

forma pura o combinación, permite el anclaje del sistema radicular y el soporte de toda la planta (Burés, 1997).

En México, la hidroponía empezó a desarrollarse desde hace aproximadamente veinte años, y dada las circunstancias de una técnica relativamente nueva, se empezaron a utilizar sustratos de importación muy eficientes pero con algunos inconvenientes, como la adquisición y los altos costos, tales como la agrolita, la lana de roca, perlita, el “peat moss”. Sin embargo, y dada la situación económica y del desconocimiento en el manejo por los productores, se hace necesario buscar alternativas de sustratos que no impliquen altos costos y que sean de fácil manejo, por ejemplo, el “tezontle” (del eje neovolcánico), “tepetziti” y la fibra de coco (de las zonas costeras), que han sido excelentes sustratos en las diferentes especies hortícolas (Bastida, 2002).

Aunque el chile manzano puede crecer y desarrollarse en suelos desde andosoles, los cuales poseen altos contenidos de materia orgánica y pH ácidos, también lo pueden hacer en luvisoles regosoles y acrisoles. No obstante, la condición óptima para mejorar el proceso de absorción por la raíz y proveer un desarrollo y crecimiento adecuado, se da con una textura franco arenosa, estructura granular, suelos profundos y con pH de 5.5 a 6.5 (Pérez y Castro, 1998).

Uno de los problemas más serios con los medios de crecimiento basados en suelo natural, es que éste puede contener toda una variedad de plagas y enfermedades, como hongos fitopatógenos, insectos y nemátodos, además de semillas de malas hierbas. A causa de estos problemas, el suelo necesita ser esterilizado con productos químicos antes de que sea utilizado como medio de crecimiento. Sin embargo, no es tan recomendable debido al alto riesgo de intoxicación, además de que contribuye al calentamiento global.

La vermiculita y la perlita son esterilizadas durante su manufactura, pues son expuestas a temperaturas tan elevadas como 1000 °C (1,832 °F). No obstante,

el nivel de asepsia de la turba de musgo está sujeto a debate. Y de acuerdo con Bluhm (1978) menciona que aunque algunos productos de turba de musgo son anunciados como "estériles" o "libres de plagas," se ha encontrado que contienen hongos fitopatógenos, semillas de malas hierbas y nemátodos. Por ejemplo, Baker (1985) estableció que el musgo y otros hongos de la raíz fueron encontrados en marcas comerciales de turba provenientes de diferentes áreas geográficas, incluyendo a Canadá. Bunt (1988) concluye que la turba no es técnicamente estéril, pero ya que generalmente los organismos que contiene no son fitopatógenos, normalmente no es esterilizada antes de ser usada. De ahí la razón de usar y/o buscar sustratos estériles como el tezontle rojo para el cultivo en invernadero. Otras de las ventajas son: a) manejo más controlado de la nutrición del cultivo, b) se evita el contacto con patógenos del suelo, reduciendo el impacto de estos en la sanidad del suelo y c) no presenta problemas de salinidad (Castellanos, 2004).

En el trabajo realizado por García *et al.*, (1997) en chile jalapeño donde se evaluó la respuesta productiva del suministro orgánico de nutrientes, demostró que el tratamiento inorgánico (92-184-00) fue el más productivo de todos con 12.12 t ha⁻¹ de fruto y le siguieron vermi-composta con 10.77 t ha⁻¹, inorgánico adicionado con potasio (92-184-50) con 10.54 y la combinación micorrizabocashi con 10.42 t ha⁻¹. Dentro de los tratamientos orgánicos la vermi-composta, la combinación micorriza + bocashi y micorriza + vermicomposta, superaron al testigo absoluto.

López *et al.* (2005) después de evaluar el efecto de cuatro combinaciones de fibra de coco y tezontle y el sustrato comercial vermiculita sobre el crecimiento de dos genotipos de fresa ("Chandler" y "Oso grande") en invernadero, bajo condiciones hidropónicas encontraron que las combinaciones influyeron en el peso fresco, peso seco de raíz, corona, peciolo y hojas, así como en altura de planta y área foliar. Se observó en las combinaciones que produjo efectos positivos al tezontle 75% más 25 % fibra de coco.

Otras investigaciones mencionan que los nutrimentos de origen orgánico cubren los requerimientos parciales del tomate (Márquez, 2004; Raviv *et al.*, 2005 y Sanders *et al.*, 2006), demostrando que los abonos orgánicos estimulan el desarrollo de las plantas, similar a la adición de fertilizante químico y contribuyen en un aumento en el pH original del suelo, además de mejorar sus propiedades químicas.

Engenball (2002), Aram *et al.* (2005) y Rosen *et al.* (2005) mencionan que en los abonos orgánicos, del 70 al 80 % de fósforo y del 80 al 90 % de potasio están disponibles en el primer año. En el caso del nitrógeno, debido a que todo es orgánico, se tiene que transformar a formas iónicas para poder ser asimilado por la plantas, con una tasa de mineralización de alrededor del 11 %.

3.3.2 Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación.

Las técnicas culturales aplicadas en la producción de plantas y hortalizas, ha experimentado cambios rápidos y notables durante las últimas tres décadas. Uno de estos cambios tecnológicos es la sustitución gradual del cultivo tradicional por el cultivo fuera del suelo. Las principales razones son (Abad, 1995): 1) la necesidad de transportar las plantas de un lugar a otro; 2) la existencia de factores limitantes para la continuidad de los cultivos intensivos en el suelo natural, particularmente salinización, enfermedades y agotamiento de suelos agrícolas; 3) la fuerte intensificación cultural que facilita el cultivo hidropónico y en sustrato, al permitir un control riguroso del medio ambiente radicular, especialmente de los aspectos relacionados con el suministro de agua y nutrientes.

Desde el punto de vista hortícola, la finalidad de cualquier sustrato de cultivo es producir una planta/cosecha de calidad en el más corto periodo de tiempo, con los más bajos costos de producción. Se entiende por cultivo sin suelo aquel sistema de cultivo en el que la planta desarrolla su sistema radicular en un medio (sólido o líquido) confinado en un espacio limitado y aislado del suelo.

Los cultivos sin suelo pueden clasificarse en cultivos hidropónicos, cultivo en agua más nutrientes o sobre materiales inertes y cultivos en sustrato.

El cultivo sin suelo dió inicio en España a principio de la década de los ochenta, evaluándose en unas 35 ha la superficie de cultivo bajo hidroponía en los años 85/86 (Martínez y García, 1993). Desde entonces, la superficie de los cultivos hidropónicos ha aumentado gradualmente, en los años 96/97, los autores estiman alrededor de 45,000 has, las cuales están particularmente localizadas en las provincias de Almería y Murcia en las Islas Canarias. Los sistemas de cultivo sin suelo de hortalizas más representativos, con los que se está trabajando actualmente, son: 1) cultivos en sacos de arena, 2) cultivo en sacos de perlita, 3) cultivo en tablas y tacos de lana de roca, y 4) cultivo en otros sistemas y materiales (sistemas hidropónicos corteza de pino, fibra de coco, tierra volcánica etc.) todos estos funcionan como sistemas abiertos, sin recircular la solución nutritiva. El tomate es la especie de mayor importancia en el cultivo sin suelo, aunque también se producen otras hortalizas con la técnica de la hidroponía como; pepino, pimiento, melón, etc.

Los cultivos sin suelo ocupan actualmente superficies muy importantes en los países del Centro y Norte de Europa, aunque este sistema de producción exige costos altos y un nivel de tecnificación elevada.

El empleo de sustratos orgánicos ha dado diversas respuestas, un ejemplo es la producción de tomate en invernadero, dado que es un cultivo con coeficientes de extracción similar al melón, sandía y pimiento. Márquez y Cano (2005) determinaron que los elementos nutritivos presentes en vermicompostas fueron suficientes para obtener producciones aceptables en tomate cherry. En tanto que Moreno *et al.* (2005) encontraron que la vermicomposta combinación con arena al 12.5 y 50% produjeron rendimientos similares en tomate en invernadero. En cambio, Márquez *et al.* (2008) registraron que con combinación de vermicomposta y sustratos inertes al 37.5 y 50% se cubrieron las necesidades nutricionales del cultivo de tomate. Por otra parte, Manjarrez *et al.* (1999) menciona que la vermicomposta como sustrato permitió satisfacer la

demanda nutritiva de los cultivos en invernadero, así como reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos.

3.3.3 Propiedades físicas de sustratos

La primera etapa para el empleo de un sustrato en el cultivo sin suelo es la caracterización del mismo, con el objeto de conocer sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Las propiedades de los materiales son factores limitantes que determinan el manejo posterior del sustrato (contenedor, riego y fertilización). Las principales propiedades físicas que se necesitan determinar en un sustrato para caracterizarlo son: densidad aparente, densidad real, granulometría, porosidad total, porosidad de aire, porosidad de agua, agua fácilmente disponible, agua de reserva y agua difícilmente disponible.

Densidad aparente. Se define como la masa de una sustancia entre el volumen que ocupa. Para el cultivo de hortalizas en invernadero se prefiere utilizar sustratos con densidades aparentes bajas ($< 0.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Juega un papel vital sobre la porosidad y especialmente también por el costo de transporte y el manejo del mismo en el invernadero. Las densidades aparentes de los sustratos que se usan en la horticultura van de 0.03 hasta $0.75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Handreck y Black, 1991); Abad y Noguera, (2000) menciona que las densidades más bajas son para sustratos orgánicos. Los sustratos de muy baja densidad no tienen resistencia requerida para soportar una planta adulta, pero como en el invernadero las plantas son tutoradas, esto pierde importancia, pero cuando se trata de plantas en maceta se pueden acamar por su peso, es importante tomar esto en cuenta y se recomienda tener densidades aparentes superiores a $0.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Castellanos, 2004).

La densidad para un sustrato específico, está en función de las densidades de las partículas que componen el medio, de lo compresibles que sean las partículas y del arreglo de estas partículas entre sí.

Las densidades de las partículas de diferentes medios de crecimiento varían considerablemente, dependiendo de su composición química y estructura física. Aunque Handreck y Black (1984) estimaron que la densidad de las partículas minerales promedio es de aproximadamente $2.6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (162.3 libras por pie cúbico), y que las partículas de materia orgánica son de $1.55 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (96.8 libras por pie cúbico), tales promedios son de limitada utilidad, pues su grado de compresión y el arreglo de las partículas también afectan los valores de densidad. Las partículas minerales pueden variar desde arena sólida hasta vermiculita altamente porosa, y las orgánicas desde corteza rígida hasta turba de musgo esponjosa. La densidad de un sustrato, en un contenedor lleno, está también en función del arreglo interno de las partículas individuales.

Algunos materiales, como la turba de musgo y la vermiculita, tienen densidades en húmedo mucho mayores que sus densidades en seco. Obviamente la arena tiene los valores más altos en razón de su mayor densidad de partículas; la poca diferencia entre los valores en seco y en húmedo refleja una baja capacidad de retención de humedad.

Densidad real. Es el peso del sustrato entre el volumen que realmente ocupa, es decir el peso del sustrato sin tomar en cuenta el volumen de poros que existe dentro y entre las partículas del sustrato y entre el sustrato y las paredes del contenedor.

Granulometría. El tamaño de partículas incide directamente sobre el tamaño de poros, lo que a su vez determina el balance entre el contenido de agua y aire del sustrato a cualquier nivel de humedad (Raviv *et al.*, 1986; Bunt, 1988).

Los materiales de textura gruesa con tamaño de partícula superior a 10 mm retienen cantidades muy reducidas de agua y presenta buena aeración. Por el contrario, los materiales finos con partículas inferiores a 0.2 mm, retienen grandes cantidades de agua, la cual es difícilmente disponible para la planta y por lo regular están mal airados. En cuanto a este parámetro, es recomendable

que el sustrato tenga una combinación de partículas 0.5 a 2.5 mm de diámetro, ya que en este intervalo se tiene suficiente agua fácilmente disponible y presenta, además una adecuada aireación (Raviv *et al.*, 1986).

La altura del contenedor es el principal factor que controla la porosidad de aireación del medio de crecimiento en un contenedor (Milks *et al.*, 1989). Existen cuatro factores que afectan las características de la porosidad en contenedores: tamaño de las partículas individuales, características de las partículas, combinación de tamaños de las partículas, y cambios en la porosidad a través del tiempo.

La porosidad de un sustrato determinado también cambia a través del tiempo a causa de la descomposición de las partículas, la acumulación de partículas finas en el fondo del contenedor por el riego, la gravedad, y por el mismo crecimiento en el interior. Langerud (1986) concluyó que es necesario un medio físicamente estable para que pueda mantenerse el balance crítico entre las capacidades de aireación y de retención de Humedad.

La estabilidad dimensional en un sustrato no debe encoger o hincharse excesivamente durante su uso. Bilderback, (1982) menciona tres tipos de cambios en volumen que pueden ocurrir: 1) El encogimiento debido a expansión y contracción. Los materiales como la turba de musgo pueden encoger durante períodos de humectación y secado alternos. Harlass (1984) reportó que si a algunos medios basados en turba se les facilita el secado excesivo, éstos pueden apartarse de la pared del contenedor, haciendo difícil una rehumeración uniforme. 2) La descomposición de materiales orgánicos, que fueron composteados, pueden perder volumen conforme se descomponen. De los principales elementos nutritivos presentes en las compostas y vermicompostas, de 70 a 80% de fósforo y de 80 a 90% de potasio están disponibles el primer año (Eghball *et al.*, 2000). Mientras que, el nitrógeno debe de mineralizarse para poder ser absorbido por la planta (Heeb *et al.* 2005),

durante el primer año sólo se mineraliza 11% (Márquez *et al.* 2008). La materia orgánica nativa del suelo y altamente humificada presenta, en general, bajos niveles de mineralización. Por otro lado, la aplicación de materia orgánica fresca o de reciente formación e incorporada en el suelo, tiende a presentar niveles muy altos de descomposición durante el primer año, los cuales en el caso de los estiércoles y residuos de cultivo son del orden de 60 a 70%. Mientras que en el segundo año la tasa de descomposición se reduce de 5 a 10% en base a la materia orgánica remanente que no fue descompuesta el primer año y el tercer año dicha tasa se reduce a menos del 5% y así sucesivamente (Meek *et al.*, 1982; Castellanos *et al.*, 1996).

3) Relación espacio-encogimiento en volumen. Las partículas pequeñas pueden llenar los espacios vacíos existentes entre partículas de mayor tamaño; tanto más grande la diferencia en el tamaño de las mismas, mayor el cambio en volumen. Whitcomb (1988) discute la pobre aireación resultante cuando las partículas finas de vermiculita fueron acarreadas al fondo del contenedor, mediante la percolación del agua de riego, llenando los espacios porosos y levantando el nivel de la tabla de agua. Ni la arena ni la piedra pómez, con partículas grandes, son recomendables, puesto que las partículas más pequeñas arriban por gravedad al fondo del contenedor al transcurrir el tiempo, reduciendo así la porosidad.

La turba de musgo puede variar considerablemente en su grado de descomposición, que puede ser calificado sobre una escala de 1 a 10, usando el sistema von Post (Puustjarvi y Robertson, 1975). Inicialmente, los materiales estériles que son ordenados en grandes cantidades, pueden ser contaminados con semillas de malas hierbas o con otros propágulos durante el almacenamiento. Por esta razón, los lotes de sustrato previamente combinados, o los componentes de los medios, deben ser comprados en paquetes plásticos sellados, y almacenados fuera del alcance de la luz solar directa, la cual puede facilitar el rápido rompimiento de la cubierta plástica

El combinación uniforme puede ser difícil de alcanzar debido a diferencias en la densidad, tamaño de partículas y contenido de humedad de los diferentes componentes. Los componentes de los medios de crecimiento no deben formar agregados durante el almacenamiento, y deben fluir fácilmente durante las operaciones de combinación y de llenado.

Algunos componentes, como la turba de musgo y la corteza, adquieren propiedades hidrofóbicas si se permite su secado excesivo, lo cual puede mermar las tasas de riego e infiltración. Este problema es particularmente serio durante el período de inducción de dormición, cuando los trabajadores restringen el riego para inducir tensión hídrica en la planta. Bunt (1988) establece que la dificultad en el rehumedecimiento de la turba se debe a una película de aire atrapada en la superficie de las partículas, así como a la presencia de humatos de hierro, los cuales repelen al agua. Las partículas de corteza también pueden ser difíciles de rehumedecer, Pokorny (1979) establece que esta hidrofobicidad es causada tanto por factores físicos como químicos: muchas partículas de corteza están cubiertas por productos químicos orgánicos que dificultan la absorción de agua, y sus superficies rugosas crean una tensión superficial que repele al agua físicamente.

Caracterización física de los sustratos

Espacio poroso total (EPT). Es el volumen total no ocupado por la fase sólida, es decir lo que no está formado por partículas orgánicas ni minerales (Martínez, 1992). En los suelos, el espacio poroso total es del orden del 50% y de allí la relación óptima que clásicamente se maneja en los textos de edafología de 50 % de material mineral, 25 % de aire y 25 % de agua estas dos últimas fracciones conforman el 50 % que se denomina porosidad total. De acuerdo a Abad *et al.* (1995) en el nivel óptimo de EPT en los sustratos se recomienda que tenga arriba de 85 %. Entre más alta sea la porosidad de un sustrato mayor será su capacidad para retener agua, así como su capacidad de aireación.

El éxito de una explotación hortícola estará dado por una serie de factores climáticos, fitosanitarios, nutricionales y por el adecuado suministro de agua y oxígeno al sistema radical. Es importante recalcar que una alta porosidad total no implica necesariamente un sustrato con buena aireación, sino que es necesario conocer la relación entre la fracción de porosidad que se encarga de alojar el agua después del riego y la fracción que es drenada después de este y que es la que proporciona la aireación al sistema radical del cultivo.

La porosidad de un sustrato determinado, también cambia a través del tiempo a causa de la descomposición de las partículas, la acumulación de partículas finas en el fondo del contenedor por el riego, la gravedad, y por el mismo crecimiento en el interior. Langerud (1986) concluyó que es necesario un medio físicamente estable, para que pueda mantenerse el balance crítico entre las capacidades de aireación y de retención de humedad.

El agua fácilmente disponible es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado y dejado drenar a 10 cm de tensión matricial, y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50 cm de carga de agua. Es decir, en las tensiones menores a 10 cm de carga de agua, podría faltar oxígeno para la raíz y en las tensiones mayores a 50 de carga el agua es retenida fuertemente por los poros del sustrato y la planta tendría que hacer gran esfuerzo para absorberla (Bunt, 1974; De Boodt, 1974). Abad *et al.* (1995) ha sugerido que el valor óptimo de agua fácilmente disponible oscila entre 20 y 30 % del volumen del sustrato.

Un buen sustrato debe de tener las siguientes características de liberación de agua (De Boodt *et al.*, 1974), 85 % de porosidad total, 50 % de espacio sólido, 20-30 % de porosidad de aire, 20-30 % de agua fácilmente disponible, 4-10 % de agua de reserva.

La capacidad de aireación se define como la proporción del volumen del sustrato de cultivo ocupado por el aire, después de que este ha sido saturado

con agua y dejado drenar, generalmente a 10 cm de tensión. El nivel óptimo según Abad *et al.* (1995) oscila entre 20 y 30 % en base a volumen. Este parámetro es de gran importancia, pues en un medio tan dinámico como es el sustrato y con un cultivo trabajando a la máxima capacidad, las raíces requieren de un alto suministro de oxígeno, aun cuando sea temporal, puede reducir el crecimiento de las raíces, la absorción del agua y nutrientes y afectar el desempeño del cultivo, condiciones de falta de agua provocan de igual manera un pobre desempeño y condiciones de falta y exceso de agua en forma intermitente suelen provocar la muerte de algunas raíces (Bunt, 1998; Raviv *et al.*, 1986).

La capacidad de retención de agua es el contenido máximo de agua que puede retener un sustrato una vez que se ha saturado y ha cesado de drenar (Bunt, 1998; Hadreck y Black, 1991; Martínez *et al.*, 1991). Esta capacidad, depende de las características físicas del sustrato y de la altura del contenedor, entre más alto sea el contenedor menor será la retención de agua y mayor será la cantidad de aire a disposición de las raíces, y viceversa (Fonteno, 1989).

3.3.4 Propiedades químicas de los sustratos

Las principales propiedades químicas que se deben conocer en un sustrato son: pH, conductividad eléctrica, capacidad de amortiguamiento, capacidad de intercambio catiónico (CIC), nutrimentos disponibles en la solución, elementos pesados y compuestos fitotóxicos ya que de esto dependerá el buen desarrollo de la planta.

El pH es la medida de la acidez o alcalinidad relativa de una sustancia, con base en una escala logarítmica de 0 a 14; los valores menores a 7.0 son ácidos y los valores superiores a 7.0 son alcalinos. Los materiales utilizados para formular medios de crecimiento difieren considerablemente en pH. En el caso de algunos sustratos orgánicos como la turba que tiene en forma natural un pH muy ácido debe ser neutralizada con un carbonato de calcio para poder usarlo

como sustrato. No es el caso de la fibra de coco y el tezontle los cuales presentan un pH dentro del rango óptimo en forma natural.

El principal efecto del pH en los suelos minerales, radica en su influencia en la disponibilidad de nutrientes minerales, especialmente micronutrientes; varios nutrientes minerales pueden hacerse no disponibles o incluso tóxicos con valores extremos de pH. La comparación del efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes minerales en suelos minerales y orgánicos (como son muchos medios de crecimiento), muestra que el máximo de disponibilidad para suelos orgánicos está una unidad entera por debajo (pH 5.5) de los suelos minerales (pH 6.5) (Figura 1).

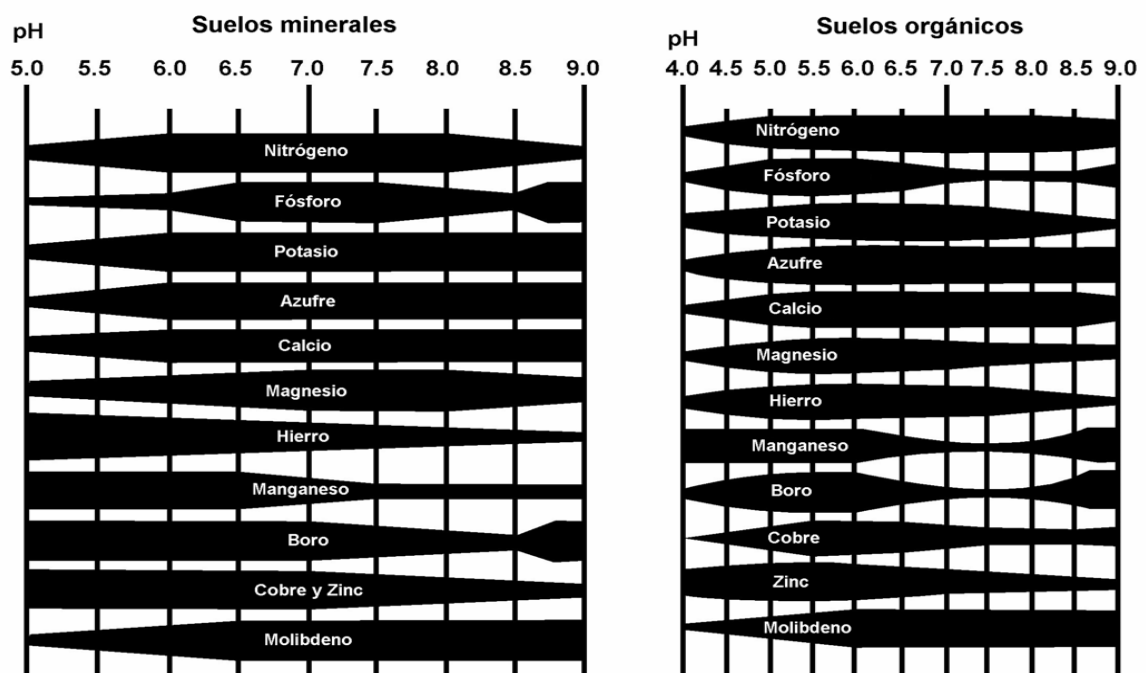


Figura 1. Disponibilidad relativa de nutrientes minerales, para suelos con base mineral y para suelos con base orgánica (Kuhns, 1985).

Salinidad. Este parámetro se mide a través de la conductividad e indica la presencia de sólidos disueltos. A medida que aumenta se incrementa en el agua la facilidad de conducir corriente eléctrica y es esta la forma física de

medir dicha variable. Las unidades que se usan para medir conductividad eléctrica son dS^{-1} y se lee como “decisiemens”. Esta medida es equivalente en mediciones a las unidades usadas anteriormente: $\text{mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$. También se puede expresar en sólidos disueltos totales o TDS ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Una conductividad eléctrica de $1\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ equivale aproximadamente a $640\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, no obstante esta equivalencia puede variar con tipo de sal desde 500 a $1200\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ por cada dS^{-1} . En general para los fertilizantes se utiliza un valor de 800-900 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

Por otra parte $1\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ equivale aproximadamente a un potencial osmótico de 0.36 atmosferas, en la planta la presión osmótica debe ser mayor para que se produzca el movimiento del agua desde la solución del suelo hacia el interior de la planta de lo contrario, si aumenta la presión osmótica del suelo la planta gastara más energía para poder obtener más agua del suelo, lo que le produce una “sequia fisiológica” (Aceves, 1979)

La salinidad puede ser causada por un manejo errado de los fertilizantes, falta de agua o lluvia para drenar el suelo, y/o agua de riego con alta CE (alta concentración salina) y si no se maneja apropiadamente se corre el riesgo de aumentar la concentración de sales en el suelo, el potencial osmótico se va haciendo más negativo lo que provoca una disminución de agua disponible para el cultivo y un descenso en el rendimiento lo cual se debe a altas concentraciones de iones tóxicos de sodio, carbonatos y cloruros. En condiciones salinas los iones de Na^+ compiten con los de K^+ por medio de un mecanismo de baja afinidad esto origina una deficiencia de este elemento dentro de la planta, traduciéndose en un bajo número de frutos. Para resolver este problema en la práctica, se debe mejorar la capacidad de drenaje del suelo o sustrato; es decir, dar riegos al cultivo con mayor frecuencia y con un ligero excedente para remover el exceso de sales fuera de la zona radical (Hoffman, 1997). Otras prácticas pueden ser utilizar acolchado o mantillo o cubierta plástica; seleccionar variedades tolerantes a la salinidad; diseñar el sistema de riego con capacidad de sobre regar hasta 35 %.

Las principales sales solubles en el suelo son: los sulfatos de Ca, Mg, K y Na; los cloruros de Ca, Mg, K, y Na; los carbonatos, bicarbonatos y nitratos de Ca, Mg, K, y Na.

No se recomienda aplicar materia orgánica y/o emplear fertilizantes con cloruros y sulfatos (KCl, sulfato de amonio y sulfato de potasio) bajo condiciones salinas para evitar cualquier aumento de la CE en el suelo. Los suelos salino-sódicos pueden impedir todo crecimiento. En este caso la única alternativa será cultivo sin suelo (hidropónico).

Algunos sustratos contienen salinidad muy elevada, como en el caso de la fibra de coco. Esta debe ser lavada antes de su uso pues suele tener en forma natural CE de hasta $10 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, por tal motivo este sustrato ha mostrado un desempeño variable. La mayoría de la fibra de coco que se comercializa ha pasado por un proceso de lavado hasta reducir la salinidad a menos de $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ sin embargo, estas fibras de coco llegan al productor a un costo muy elevado y la salinidad se puede eliminar simplemente mediante un simple lavado en los mismos contenedores previo a la siembra de las plántulas en el invernadero. Las condiciones de manejo de riego y drenaje también pueden incrementar la salinidad en el sustrato, lo cual ocurre cuando se manejan fracciones de drenaje por debajo de 20-30 %, en tal caso es necesario el lavado del sustrato.

El control de la CE no necesariamente significa que deba o pueda mantenerse con valores bajos. En muchas situaciones, el incremento de la CE puede ser beneficioso para el productor. Por ejemplo, en la etapa de vivero, una práctica común es el incremento de la CE para endurecer los tallos jóvenes, lograr así un mejor "arraigue" y mejor comportamiento en el suelo en las etapas posteriores de crecimiento. En varias especies florales, el aumento de la CE es una práctica utilizada para controlar la altura del tallo de acuerdo a las necesidades del mercado. En varios vegetales y en particular en tomates "cherry", el aumento de CE es una práctica utilizada para mejorar la calidad de

la fruta. El aumento de los sólidos solubles totales (SST) trae como consecuencia un contenido más alto de azúcar y frutos más dulces.

Durante un período de escasez de agua, las plantas de pimiento acumulan aminoácidos del tipo prolina en las hojas y especialmente en las raíces. Con esto se logra mantener la turgencia de las células y así superar esta condición de estrés. La salinidad provocada por NaCl reduce notablemente el crecimiento de la planta. Con niveles crecientes de salinidad se incrementa la resistencia estomática y los contenidos de sodio (Na), cloruro (Cl) y prolina en la planta. Por otro lado los niveles de potasio (K), de nitrógeno total y la clorofila fueron reducidos bajo condiciones de alta salinidad (Gunes y Alpasian, 1996).

Capacidad de intercambio catiónico. Se define como la suma de cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso o de volumen del sustrato. Una capacidad elevada de intercambio cationico representa un depósito de reserva para los nutrientes, puesto que abastece al crecimiento de la planta entre aplicaciones de fertilizantes. Los minerales con baja capacidad de intercambio como la mayoría de los sustratos minerales retienen cantidades reducidas de nutrientes y, por lo tanto requieren una aplicación frecuente de fertilizantes. En el caso de materiales orgánicos la CIC puede ir de 50 a 100 meq/100 g, mientras que en los materiales minerales esta puede ir de 0 a 10 meq/100 g de sustrato (Castellanos, 2004).

La CIC también puede retener cationes en el sustrato, previniendo su lixiviación, la cual puede ser muy significativa, dadas las intensas tasas de riego usadas. Ciertos componentes de los medios de crecimiento son mejores para resistir la lixiviación que otros, y hablando en términos generales, tanto mayor la CIC de un medio, mayor será su resistencia a la lixiviación.

Comparando la cantidad de nutrientes minerales recuperados, de dos tipos diferentes de medios de crecimiento en el mismo volumen de agua lixiviada, se

muestra que el medio turba-vermiculita retiene más cationes nutrientes, que el medio turba-arena (Cuadro 3.).

Cuadro 3. Capacidad de intercambio catiónico para algunos sustratos estándares.

Composición del medio de Crecimiento	CIC meq·100 g	Volumen meq·100 cm ³
Turba de musgo-vermiculita (1:1)	141	32
Turba de musgo-arena (1:1)	8	5
Turba de musgo-perlita (1:3)	11	1
Corteza de pino-perlita (2:1)	24	5

Fuente: Adaptado de Bunt (1988).

Disponibilidad de nutrientes. La mayoría de los sustratos minerales no se descomponen química ni biológicamente y, desde el punto de vista práctico, se pueden considerar desprovistos de nutrientes.

Por el contrario, los sustratos orgánicos difieren marcadamente entre sí en el contenido de nutrientes asimilables. Así algunos (turba de *Sphagnum* rubia, mantillo de bosque, etc.) poseen un nivel reducido de nutrientes asimilables, mientras que otros (compostas por ejemplo) presentan niveles elevados, dependiendo dicho nivel del origen de la composta y del proceso de compostaje.

En cualquier caso, y para un crecimiento óptimo de las plantas Ravi *et al.* (1986) sugieren que, deberían añadirse siempre nutrientes adicionales como fertilizantes de base y/o como fertilizantes durante el ciclo del cultivo.

En el cultivo de hortalizas sobre sustratos minerales inertes, es frecuente la determinación de los nutrientes asimilables en la disolución del sustrato, extraída mediante jeringa. Los niveles de referencia de los nutrientes en la

disolución del sustrato para el cultivo hidropónico en tomate se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Niveles de referencia de los nutrientes en la disolución del sustrato, en el cultivo hidropónico de tomate sobre materiales minerales inertes.

	Nutriente	Nivel de referencia
Macronutrientes (mmol·l ⁻¹)	N-NO ₃ ⁻	10-20
	P	1-2
	K ⁺	4-8
	Ca ²⁺	4-6
	Mg ²⁺	1-4
Micronutrientes(μmol·l ⁻¹)	Fe	30-60
	Mn	10-20
	Cu	2-5
	Zn	3-7
	B	20-45

Fuente: Escudero (1993).

Si bien todos estos niveles pueden variar en función de la especie vegetal, la variedad cultivada, la fase de desarrollo de la planta, el ciclo de cultivo, el medio ambiente, las prácticas de manejo, etc., los intervalos que se presentan en el Cuadro 4, constituyen un excelente punto de referencia a la hora de implantar un sistema de cultivo sin suelo, con un sustrato particular.

La cantidad y frecuencia de fertilización depende de las características del sustrato (CIC) y del régimen de riego. Una CIC elevada aumenta la eficiencia de la aplicación de los fertilizantes de base durante el proceso de fabricación del sustrato. Cuando se usan sustratos de baja CIC, los fertilizantes se aplican usualmente a través del sistema de riego (fertirrigación).

Se alcanza frecuentemente un crecimiento óptimo de las plantas sobre sustratos orgánicos, cuando una aplicación moderada de abono de liberación lenta o progresiva es complementada con una fertilización a través del riego (fertirrigación) (Cadahia, 1995).

En todo caso, y para conocer si el plan de fertilización es correcto es necesario comparar la disolución nutritiva con la del sustrato y los drenajes, pudiéndose complementar la información con el análisis de los tejidos vegetales y la observación visual del aspecto de la plantas.

Relación carbono/nitrógeno (C/N). La relación C/N se usa tradicionalmente como un índice de origen de la materia orgánica, de madurez y de su estabilidad. Los daños que aparecen sobre las plantas cultivadas en materiales orgánicos inmaduros, son debido tanto a una inmovilización del nitrógeno como a una baja disponibilidad del oxígeno en la rizósfera. Esta situación está provocada por la actividad de los microorganismos, que descomponen los materiales orgánicos frescos y utilizan el nitrógeno para la síntesis de sus proteínas celulares. El oxígeno es también consumido por la población microbiana. Una relación C/N entre 20 y 40 es considerada como óptima para el cultivo en sustrato, y es un índice de un material orgánico maduro y estable (Abad *et al.*, 1995).

La materia orgánica es la principal variable que afecta las propiedades físicas del suelo y en particular si se combina con sustratos. Los suelos con alto contenido de materia orgánica tienden a presentar mayor conductividad hidráulica, mayor porosidad, menor densidad aparente y menor compactación, lo que se refleja en un medio propicio para la penetración radicular y fertilidad natural.

En invernadero el uso de materia orgánica es vital para mejora las propiedades físicas, para retener una mayor cantidad de nutrientes y aumentar la fertilidad del suelo. En la zona productora de Almería, España, una práctica convencional es el uso de estiércol en dosis de 5 a 10 kg·m⁻² en invernadero. En suelo (Castellanos *et al.*, 2004) menciona una respuesta importante a la aplicación de estiércol al suelo en cultivos como forrajes y, la dosis que se ha indicado como máxima a la cual responde el suelo es del orden de 12 kg·m⁻². Es importante

mencionar que en el caso de las hortalizas para exportación estas deben de cumplir con las especificaciones de inocuidad y que no es posible usar estiércol fresco, sino material orgánico que ha pasado un proceso de composteo. Dosis bajas en forma localizada ha reportado también un efecto favorable, pero en realidad para poder modificar el ambiente físico del suelo debemos hablar de varias decenas de toneladas en una hectárea de lo contrario el abono orgánico solo sirve de fuente de nutrientes.

En todo caso, es conveniente tener en cuenta la cantidad de nutrientes que se aporta con la materia orgánica y reducir o eliminar las dosis de estos elementos en la solución nutritiva. Solo para citar un ejemplo, una dosis de estiércol del orden de $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de invernadero, significa la aplicación de un solo golpe de 1170 de $\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}$, una cantidad muy superior a la cantidad que puede extraer una cosecha de $30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de tomate. Esto significa que no existe la necesidad de aplicar P en la solución nutritiva. En todo caso, el resultado del análisis de suelo y la planta nos dará la pauta a seguir. Con la aplicación de materiales orgánicos como el estiércol y otros desechos, se suministran también grandes cantidades de K, en el caso de una dosis de estiércol de $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ se aportan 3.7 toneladas de K al suelo, que permite ahorrar en el uso de este nutrimento, en especial durante el primer medio ciclo de cultivo Rodríguez (2005).

Los fertilizantes orgánicos además de proporcionar un buen nivel de materia orgánica también proporcionan altos niveles de los nutrientes fundamentales como el nitrógeno, fósforo y el potasio, los cuales están presentados en porcentaje de nitrógeno total (N), pentóxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de potasio (K_2O) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Contenido de N, P, K y materia orgánica en diferentes sustratos.

Sustratos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Materia Orgánica
	-----%-----			
Estiércol de establo	0.4	0.2	0.4	30
Estiércol de oveja	1	0.3	1	60
Estiércol de cerdo	0.5	0.3	0.65	60
Gallinaza	1.6	1.25	0.9	50
Heno de alfalfa	2.5	0.5	2.1	85
Paja de alfalfa	1.5	0.3	1.5	82
Paja de cereales	0.6	0.2	1.1	80
Turbas desecadas	2	-	-	-

Fuente: Rodríguez (2005).

3.4.5 Propiedades biológicas de los sustratos. La bioestabilidad es la principal propiedad biológica y se refiere a la estabilidad de un sustrato orgánico frente a los organismos que lo pueden degradar (Lemaire, 1997). Esta propiedad permite saber si un sustrato orgánico permanece sin alterar o con poca alteración durante el ciclo de un cultivo (Ansorena, 1994).

Otra propiedad biológica importante es la sanidad del sustrato, esto es, si un sustrato es estéril o es necesario esterilizarlo. Algunos sustratos tienen patógenos para algunas especies de hortalizas. En las explotaciones comerciales se utilizan los siguientes sustratos: agrolita, turbas, fibra de coco, lana de roca y tezontle.

Las compostas y vermicompostas son residuos orgánicos parcialmente degradados y estabilizados, ampliamente utilizados como sustratos en la producción de hortalizas, debido a que se ha reportado que la composta mejora la capacidad de almacenamiento de agua, mineralización del N, P y K, regula favorablemente el pH y fomenta la actividad microbiana (Nieto-Garibay *et al.*, 2002). En tanto que la vermicomposta es el producto de una serie de

transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar a través del tracto digestivo de las lombrices (Edwards *et al.* 1984).

El manejo de los abonos orgánicos ha sido tradicionalmente utilizado por los agricultores de pequeñas extensiones de tierra, incorporando directamente materiales orgánicos (estiércoles, desechos domésticos de frutas y verduras, desechos agrícolas verdes y secos) a su agrosistema. Los efectos mencionados permiten mejorar los suelos agrícolas, incluyendo los suelos de SNUS áridas y semiáridas, que en general presentan pobreza de fertilidad, materia orgánica, nutrimentos, capacidad de retención de agua y pH alto (FAO, 2005).

Velocidad de descomposición. Todos los sustratos orgánicos, incluso los más estables son susceptibles a la degradación biológica viéndose favorecida esta situación por las condiciones ambientales que prevalecen en los invernaderos. La población microbiana es la responsable de dicho proceso, pudiendo resultar finalmente su actividad biológica en deficiencias de oxígeno y de nitrógeno. Así pues, la descomposición de la materia orgánica en los medios de cultivo - considerada de modo global, es favorable desde el punto de vista hortícola, debiéndose tomar precauciones con objeto de minimizar sus efectos sobre las plantas. La disponibilidad de compuestos biodegradables (carbohidratos, ácidos grasos y proteínas) determina la velocidad de descomposición. Por otra parte las condiciones que deberían ser también consideradas es que si el cultivo se prolonga durante largo periodo de tiempo, es recomendable el uso de materiales estables (turbas negras o cortezas de tamaño grueso), mientras que si las plantas son de crecimiento rápido, pueden prosperar en materiales menos resistentes a la degradación como la turba *Sphagnum rubia* (Ravi *et al.*, 1986).

Muchos de los efectos biológicos de los sustratos orgánicos son directamente atribuibles a los ácidos húmicos y fúlvicos, que son los productos finales de la degradación de la lignina y hemicelulosa. Una gran variedad de funciones

vegetales, tanto a nivel célula como de órgano son afectadas positivamente por los ácidos húmicos y fúlvicos, las sustancias húmicas también actúan, asimismo como transportadoras de los micronutrientes para las plantas.

Es conocida la existencia de la actividad auxínica que controla el crecimiento celular y la iniciación de las raíces, en los extractos de muchos materiales inorgánicos utilizados en los medios de cultivos de las plantas. Pero dicha actividad hormonal no ha podido ser relacionada directamente con las sustancias húmicas, se ha atribuido a un efecto sinérgico entre las auxinas (producidas naturalmente por la planta, o aplicadas exógenamente) y los compuestos fenólicos que están presentes en dichos materiales como consecuencia de la degradación de los compuestos orgánicos especialmente lignina (Ravi *et al.*, 1986).

También se ha identificado diferentes actividades enzimáticas (celulasas, proteasas, ureasas, etc.) en los sustratos orgánicos, todas ellas, con efectos positivos sobre la nutrición vegetal.

A partir del año 2000 en la universidad estatal de Ohio, se implementó un programa de investigación sobre vermicomposta en la cual se han desarrollado experimentos para evaluar diferentes tipos de vermicomposta sobre germinación, crecimiento, floración y fructificación en varias especies hortícolas y ornamentales, concluyendo que las mejores respuestas a estas especies se presenta cuando se sustituye del 10 al 20 % del volumen total del medio de crecimiento comercial con los diferentes tipos de vermicomposta (Riggle, 1998; Subler *et al.*, 1998).

3.3.6 Sustratos más empleados en horticultura

La mayoría de la investigación sobre sustratos como medio de crecimiento se ha desarrollado en especies ornamentales y entre los más utilizados se encuentra la turba (peat moss), tierra de monte, arena de río, perlita, vermiculita, agrolita y compostas entre otros.

Turbas

Son restos vegetales en proceso de fosilización y en la actualidad todo el material turbífero que llega a México viene de Canadá y Estados Unidos. El material que llega a México es turba rubia principalmente, la cual presenta una densidad de 0.4 a 0.08 g·cm⁻³, un espacio poroso de 95 a 97%, una capacidad de aeración de 15 a 40 %, capacidad de retención de agua de 55 a 82%, capacidad de intercambio catiónico de 100 a 140 me/100g.

Este material tiene un razonable grado de homogeneidad a diferencia de otros sustratos orgánicos como la fibra de coco, no presenta salinidad, por lo no requiere lavado, pero en forma natural presentan un pH muy ácido y debe ser neutralizada mediante la aplicación de carbonato de calcio (Castellanos, 2004).

Las turbas de musgo son por lo común naturalmente ácidas, dependiendo de la planta constituyente y de la calidad local del agua, mientras que la vermiculita puede tener un pH desde neutro (7.0) hasta medianamente alcalino (Bunt, 1988).

Peck (1984) clasifica en dos los distintos tipos de turba de musgo *Sphagnum*: turbas claras (o turbas ligeras) y turbas oscuras. Las turbas ligeras de *Sphagnum*, son llamadas así por su color claro y por su ligereza en peso, éstas poseen un elevado volumen de poros internos, del cual una gran proporción (15 a 40%) es clasificada como porosidad de aireación. Las turbas oscuras de *Sphagnum*, son el doble de pesadas que las turbas ligeras, y contienen un total de espacio poroso menor, con su correspondiente menor porosidad de aireación. La CIC de las turbas oscuras es aproximadamente el doble de la de las turbas ligeras. Peck (1984) considera a las turbas oscuras como menos convenientes para el cultivo de plantas en contenedor a largo plazo, ya que son menos durables y menos resistentes que las turbas de colores claros o ligeros.

Fibra de coco

Es un sustrato muy prometedor para la horticultura protegida en México, dado su bajo costo, facilidad de manejo, sanidad y por su excelente respuesta agronómica en los cultivos en que se ha evaluado. En México, prácticamente no hay estudios formales sobre su caracterización detallada. Posadas (1999) con base a una recopilación de trabajos de caracterización fisicoquímica de la fibra de coco indica que están presentes las características que se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Propiedades físicas de la fibra de coco.

Características	Promedio	Rango
Capacidad de retención de humedad	54%	45 a 68%;
Densidad	0.07 g·cm ⁻³	0.05 a 0.08 g·cm ⁻³
Capacidad de aireación	46%	37 a 61%;
Agua fácilmente disponible	20%	15 al 28%;
Agua de reserva	4.1	de 3 a 5.7%

Fuente: Posadas (1999).

En varias investigaciones (Handreck, 1993; Martínez, 1996; García *et al.*, 2001) se ha comprobado que la fibra de coco tiene características físicas, químicas y biológicas adecuadas para ser usada como medio de cultivo. Cuando se combinó con arena, mejora su humectabilidad y se logra buena porosidad lo que permite mantener un nivel satisfactorio de agua disponible, y también presenta menor compactación.

López *et al.* (2005) después de evaluar el efecto de cuatro combinaciones de fibra de coco y tezontle, y sustrato comercial vermiculita sobre el crecimiento de dos genotipos de fresa ("Chandler" y "Oso grande"), en invernadero bajo condiciones hidropónicas, encontraron que las combinaciones influyeron en el peso fresco y peso seco de raíz, corona y peciolo y hojas; así como en altura de planta y área foliar, y también observó un efecto negativo sobre el crecimiento de las plantas al incrementar las proporciones de fibra de coco en las

combinación elaboradas. La combinación que produjo efectos significativos positivos fue tezontle 75% mas 25% fibra de coco.

Tezontle

Es uno de los sustratos más utilizados en México en los cultivos sin suelo, pero poco conocidos en cuanto a sus características físicas y químicas.

La forma en que se ha venido usando es simplemente tamizándolo de media a una pulgada y todo lo que pase por ella se usa directamente en el llenado de bolsas. Su costo de adquisición es del orden de \$100 pesos el metro cúbico (Castellanos *et al.*, 2004). En el Cuadro 7 se muestra la caracterización preliminar realizada en el campo Experimental Bajío del INIFAP de cuatro muestras de tezontle que varían en su granulometría.

Cuadro 7. Caracterización física del tezontle negro usado como sustrato en invernadero.

Granulometría en mm	Da g·cm ⁻³	CA	RH	EPT
-----%-----				
≤ 0.58	0.93	12	50	63
0.58 -2.0	0.57	31	36	77
2.0-5.08	0.49	46	22	64
≥ 12.7	0.52	43	37	65

CA=Capacidad de aireación; RH=Retención de humedad y EPT=Espacio poroso total.

Fuente: Castellanos, 2004.

La muestra fina compuesta de tezontle de menos de 0.58 mm de diámetro presenta buena capacidad de aireación aunque una elevada capacidad de retención de agua y la densidad aparente es cercana a la unidad. Por el contrario, el tezontle con granulometría más gruesa con diámetro de 2 a 5 mm presenta solo una capacidad de retención de agua de 37 % y una elevada capacidad de aireación. Al parecer la mejor muestra fue la que se recibió tal

como venia del banco de tezontle y solo se eliminaron los tezontles de más de 12.7 mm de diámetro. Este tezontle presentó una capacidad de retención de 37% y una capacidad de aireación de 43%, niveles considerados razonables para este tipo de sustratos.

Ramos y de Luna (2006) realizaron una combinación de 4:1 de tezontle y fibra de coco en el cultivo de *Capsicum annuum* L. y aplicando una solución nutritiva de Steiner al 25, 50, 75 y 100 % obtuvo una respuesta lineal para la variable peso fresco de fruto lo que significa que a mayor concentración de la solución mayor expresión de la variable. El híbrido chile ancho caballero, a la concentración de 100 % de la solución de Steiner presentó mayor producción de frutos por planta.

Perlita

Es un aluminosilicato que se fabrica a partir de rocas volcánicas vítreas, con densidades originales de $1.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. En su tratamiento industrial se calienta a temperaturas de 1000°C durante unos minutos y se logra una expansión hasta reducir la densidad aparente a $0.12 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Maroto, 1990). Este sustrato tiene un excelente drenaje, es ligero, de muy baja capacidad de intercambio catiónico ($0.15 \text{ me}\cdot 100 \text{ cm}^{-3}$), su pH es casi neutro, por lo que es un excelente sustituto de arena (Fonteno, 1996). La principal ventaja de la perlita es su capacidad para mantener una humedad muy uniforme en todo el saco de cultivo, es de fácil manejo por su bajo peso y es un material inerte sin problemas de contaminación de patógenos. No obstante, uno de los inconvenientes es que cuando accidentalmente se da un grave descenso en el pH de la solución nutritiva, por debajo de 5, puede provocar la liberación de aluminio y causar toxicidad al cultivo (Abad, 1995).

Lana de roca

Se obtiene a partir de rocas tales como: diabasa y piedras calizas, fundiendo estos materiales a temperatura de 1600°C , una vez fundidas se hace pasar por

rotores que gira a alta velocidad, formando una fibra, la cual es comprimida en planchas. Es un sustrato inerte, uniforme, prácticamente sin capacidad de intercambio de cationes, con una densidad aparente de 0.07 g cm^{-3} . Este sustrato tiene un espacio poroso total de 97%, una capacidad de aereación de 36% y un porcentaje de agua fácilmente disponible de 59%, pero el agua de reserva es de 0.3%. Su principal distinción con respecto a otros sustratos es que contiene más del doble de agua fácilmente disponible.

Como elegir un sustrato

Primeramente es necesario definir si se empleará para la producción de plántula, para la producción hortícola o bien para macetas de plantas de ornato; y cada destino requiere de propiedades diferentes del sustrato.

El costo de adquisición es uno de los factores más significativos, así como el de transporte pues por sus bajas densidades es costoso transportar grandes volúmenes.

Es importante que los productores tengan experiencia acerca de su manejo, pues muchas veces un sustrato es rechazado por desconocimiento. Como ha sido en algunas ocasiones con la fibra de coco que es excelente sustrato, cuyo manejo está en proceso de ser aprendido por los productores. También es importante la facilidad de desecharlo, pues un sustrato como la lana de roca, representa dificultades para manejar su desecho.

La disponibilidad tiene efecto sobre otros aspectos de manejo del sustrato, especialmente la uniformidad y el costo (Swanson, 1989). Muchos de los materiales utilizados para formular el medio de crecimiento son baratos pero voluminosos, y a veces pesados, lo que hace caro su transporte. Un material que es barato en una localidad puede resultar caro en otra, por los costos de embarque. Muchos componentes son producidos en áreas geográficas restringidas, y resultan difíciles de obtener o muy caros en otras áreas. La turba de musgo de *Sphagnum* es fácilmente accesible y relativamente barata en

Canadá y en el norte de los Estados Unidos, pero es considerada no económica en muchas partes del mundo.

Por otro lado, la arena es un componente del medio de crecimiento que se puede hallar por todo el mundo a un costo relativamente bajo. A continuación se mencionan algunas propiedades físicas y químicas óptimas recomendadas por diferentes autores (Cuadro 8). Para que sean consideradas al momento de elegir un sustrato.

Cuadro 8. Comparación de propiedades físicas y químicas de diferentes sustratos.

Característica	Tezontle (Pineda, 2008)	Fibra de coco (Flores, 2008)	Peat moss (Chávez <i>et al.</i> , 2008)	Óptimo (Cabrera, 1999)
pH	6.5 -7	5.5 - 7	4.5 - 6	5.5 - 6.5
CIC meq/100 g	1 - 3	50 - 70	120- 400	≥ 20
CE (ms·cm)	0.02	1.2 -1.7	1.8	0.75 - 3.5
Retención de Humedad (%)	50	40	55-82	55 - 70
Densidad (gr·L ⁻¹) peso seco	1100-1500	50-100	80 - 400	1000-1500
Esterilidad	Media	Media	Variable	Alta
Porosidad total (%)	40	86	92	70-85
Macros y micros	Nd	Mínima	Mínima	

Nd = No determinado

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Chapingo, localizada en el Km 38.5 de la carretera México-Texcoco ubicada a los 19° 29" N y 98° 53" LW. El invernadero utilizado fue de cristal del Instituto de Horticultura, equipado con sistema de riego por goteo y sistema de enfriamiento. La intensidad de luz fue de 400 a 500 einsten.

Al interior del invernadero se colocó un Data loggers modelo H8 marca HOBO® con el cual se registro la temperatura y humedad relativa. Los valores se tomaron de abril a septiembre del 2010, cada hora, durante 24 horas, y posteriormente fueron procesados mediante el programa computacional Boxcar® versión 3.7 y se graficaron la temperatura y humedad relativa promedio por día y por mes.

4.2 Material vegetal

Se emplearon semillas del híbrido intervarietal Puebla x Zongólica (Grajales St.) el cual fue generado en el programa de chile manzano de la Universidad Autónoma Chapingo (Pérez *et al.*, 2008), y se caracteriza por tener frutos amarillos, de forma cuadrada, de pericarpio grueso (5 mm) y 5.5 meses de siembra a cosecha para el primer fruto maduro.

4.3 Manejo del cultivo

La siembra se realizó el 11 de diciembre del 2009, en charola de poliestireno expandido (Figura 1a), y turba de la marca sunshine® como sustrato, las plántulas permanecieron hasta que tuvieron cuatro hojas (30 a 40 días después de la siembra). Posteriormente se trasplantaron a vasos de unisel permanecieron hasta que alcanzaron 12 hojas (Figura 1b). Se aplicó cal al cuello de la planta, ya que esta práctica modifica el pH del sustrato que se encuentra alrededor de ella y con ello se evito el desarrollo de enfermedades fungosas.



a)



b)



c)

Figura 2. a) Plántulas de chile manzano establecidas en charolas de polietileno 10; b) 70 días después de la siembra y c) recién trasplantada a bolsa de polietileno negro (40 x 45 cm). Chapingo, México 2010.

También se aplicó 0.2 g de cal cuando la plántula tenía una hoja verdadera, 0.5 g con cuatro y 1 g al momento del trasplante (ocho hojas). Después se aplicaron 2 g de cal cada 20 ó 30 días y así sucesivamente hasta el fin del ciclo de cultivo.

El trasplante se realizó el día 16 de marzo, cuando la planta tenía 12 hojas verdaderas, a macetas de polietileno negro de 40 x 45 cm, con un volumen de 18 litros (Figura 2c). La distancia entre plantas fue de 1 m y 1.2 m entre hileras, la densidad de población fue 1.2 plantas por m². El tezontle que se empleó como sustrato fue cribado antes de ser combinado con los sustratos orgánicos, de tal manera que el tamaño promedio de partícula fue de 2 a 5 mm.

Las plantas fueron guiadas en forma de “V” utilizando alambre galvanizado como tutor e hilo de algodón y se condujeron a cuatro guías, sujetando la planta con rafia antes de la primera bifurcación y guiando las ramas conforme fueron creciendo hasta llegar a una altura de 2 m.

La cosecha se efectuó cuando los frutos tenían el color característico de la variedad esto sucedió aproximadamente a los 5.5 meses después del

trasplante; para lo cual se emplearon tijeras propias para el corte de frutos, los cuales fueron colocados en botes de plástico.

El control de araña roja (*Tetranychus urticae*); mosca blanca (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*); trips (*Frankliniella occidentalis*) y *Botrytis cinérea* fue a través del manejo integrado. Para ello se colocaron platos amarillos con adherente Stick bug® y se aplicaron los productos químicos que se mencionan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Productos químicos utilizados en chile manzano cultivado en invernadero, Chapingo, México 2010.

Función química	Producto	Ingrediente activo	Dosis aplicada
Hormonal	Biozyme TF	Auxinas, giberelinas y citoquininas	1 ml·l ⁻¹
Insecticida	Beleaf	Flonicamid	1 g·l ⁻¹
Fungicida	Manzate	Mancozeb	0.5 g·l ⁻¹
Fungicida	Rovral 50 WP	Iprodione	1 g·l ⁻¹
Fungicida	Promyl	Promilo	1 g·l ⁻¹
Fungicida	Switch	Cyprodinil y Fludioxonil	1 g·l ⁻¹

4.4 Tratamientos y diseño experimental

Se empleo el diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 4X3, con cinco repeticiones El primer factor fue la concentración de la Solución Nutritiva de Steiner con cuatro concentraciones (25, 50, 75 y 100%) y el segundo los sustratos con tres combinaciones, lo anterior generó nueve tratamientos y el testigo (Cuadro 10). El testigo consistió en tezontle 100 % con concentración de SNUS 100%. La unidad experimental y de muestreo fue una planta.

Cuadro 10. Tratamientos estudiados para la evaluación de combinaciones de sustratos y concentraciones de la SNUS en chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.

Concentración de la SNUS	Combinación de sustratos
25%	Tezontle y polvo de coco (1:1)
	Tezontle y peat moss (1:1)
	Tezontle y lombricomposta (1:1)
50%	Tezontle y polvo de coco (1:1)
	Tezontle y peat moss (1:1)
	Tezontle y lombricomposta (1:1)
75%	Tezontle y polvo de coco (3:1)
	Tezontle y peat moss (3:1)
	Tezontle y lombricomposta (3:1)
100%	Tezontle = Testigo

SNUS = Solución Nutritiva Universal de Steiner.

La combinación del tezontle con sustratos orgánicos se llevo a cabo en una relación 1:1 y 3:1 en base a volumen – volumen correspondiente a cada tratamiento. Las combinaciones en las cantidades proporcionales se presentan en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Litros de sustrato utilizado por maceta de 40 x 45 cm (18 l) de acuerdo a cada combinación de sustrato y combinación de SNUS en chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.

Concentración de SNUS (%)	Combinaciones y proporciones de sustrato	Litros de sustratos			
		Polvo de coco	Peat moss	Lombri composta	Tezontle
25	Tezontle y Polvo de coco (1:1)	9	-	-	9
25	Tezontle y Peat moss (1:1)	-	9	-	9
25	Tezontle y lombricomposta (1:1)	-	-	9	9
50	Tezontle y Polvo de coco (1:1)	9	-	-	9
50	Tezontle y Peat moss (1:1)	-	9	-	9
50	Tezontle y lombricomposta (1:1)	-	-	9	9
75	Tezontle y Polvo de coco (3:1)	4.5	-	-	13.5
75	Tezontle y Peat moss (3:1)	-	4.5	-	13.5
75	Tezontle y lombricomposta (3:1)	-	-	4.5	13.5
100	Tezontle = Testigo 100% tezontle	-	-	-	18

SNUS = Solución Nutritiva Universal de Steiner

4.5 Variables evaluadas

4.5.1 Variables de rendimiento y calidad de fruto

Se evaluó el peso y número de frutos por planta para lo cual se cosecharon, cada semana, los frutos maduros durante tres meses (agosto, septiembre y octubre). El peso fresco de ellos se obtuvieron al pesar con una báscula digital Ohaus Scout 600 g x 0.1 g.

Volumen de fruto. La calidad del fruto se midió de manera indirecta con el volumen de agua desplazada, de los frutos en una probeta graduada de 1000 ml y con los datos obtenidos se efectuó análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

4.6 Distribución de materia seca e índice de cosecha

Al final del ciclo de crecimiento de las plantas de los diferentes tratamientos se determinó la distribución de materia seca. Para ello, se emplearon tres de las plantas de cada tratamiento (tres plantas). Cada una de ellas fueron disectadas en raíz, hojas, tallos y frutos; en particular las raíces se lavaron con agua corriente para eliminar el remanente de sustrato. Posteriormente se colocaron en bolsas de papel y se introdujeron en una estufa marca Binder ® hasta que alcanzaron peso constante (72 horas). El índice de cosecha se obtuvo al dividir el peso seco (g) total de fruto por planta entre el peso seco total de la planta.

4.7 Uso eficiente del agua

La eficiencia en el uso de agua se determinó en diferentes etapas del cultivo, para lo cual se empleó el cálculo del riego a través del método de Thornthwaite Cada mes, y con la ayuda de un “potenciometro” de bolsillo, se midió el pH y CE del lixiviado de una maceta de cada tratamiento así como de la Solución Nutritiva Universal de Steiner (SNUS) antes de aplicarse a las plantas.

4.8 Caracterización de las propiedades físicas y químicas de los sustratos

La evaluación de los sustratos y su efecto en la producción en el cultivo de chile manzano, requirió de caracterización física, esta se realizó antes del establecimiento de las plantas de acuerdo a las metodologías propuestas por Ansorena (1994), respectivamente. Se efectuaron las determinaciones en el Laboratorio Central Universitario de la Universidad Autónoma Chapingo la densidad, porosidad total, capacidad de aireación, porcentaje de retención de humedad de cada tratamiento, tamaño de partículas, el punto de marchitez permanente, capacidad de campo y humedad aprovechable. Las propiedades químicas fueron: pH, conductividad eléctrica, macronutrientes solubles y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

4.9. Presencia de *Phytophthora capsici*.

Se verificó la presencia o ausencia de *Phytophthora capsici*, en el sustrato lombricomposta, para lo cual se tomo una muestra al inicio y al final del experimento y se analizó en el laboratorio del Grupo Integral de Servicios Fitosanitarios ENA S. A. de C.V (GISENA).

4.10 Análisis económico

Se evaluó económicamente cada uno de los tratamientos, comparando el rendimiento obtenido y la calidad del fruto a través del análisis de costo de sustratos y cantidades empleadas fertilizantes empleados en la solución nutritiva por cada kilogramo de fruto producido.

Con base en el rendimiento obtenido por planta durante tres meses de cosecha (agosto, septiembre y octubre) se estimo el rendimiento total por planta por año. Para conocer el costo de producción por kilogramo de fruto, se estimó el costo de la combinación del sustrato por maceta, y el de la SNUS aplicada durante los siete meses de cultivo.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Rendimiento, calidad y precocidad de fruto

5.1.1 Peso y número de frutos

El rendimiento es una característica altamente influenciada por el ambiente, la heredabilidad es baja y está asociada de manera directa e indirecta con otros rasgos de interés como son el número de frutos y peso de los frutos (Correa, 1997). De acuerdo a este autor el rendimiento está gobernado por muchos genes y el número de frutos por planta en el cultivo de chile varió dentro de las especies, en *C. annuum* y *C. chinense*, el promedio del número de frutos por planta fue similar, en tanto que en *C. frutescens* el número de frutos se duplicó.

En chile manzano (*C. pubescens* R & P) en el presente estudio se encontró que las concentraciones de las Solución Nutritiva Universal de Steiner ensayadas en las diferentes combinaciones de sustratos, así como en la interacción de estos dos factores produjeron efecto significativo ($\alpha = 0.5$) en el rendimiento (peso) y número de fruto por planta (Cuadros 1A, 2A).

La concentración de la SNUS con el mayor rendimiento ($1063 \text{ gplanta}^{-1}$) fue la de 75% (Figura 3) y la de menor (555 gplanta^{-1}) la de 100%. (Cuadro 12), permitiendo con ello un ahorro de fertilizantes en la SNUS de menor concentración.



Figura 3. Planta de chile manzano cultivado en invernadero con el mejor tamaño de fruto a los siete meses después de trasplante con la aplicación de la SNUS al 75%, y cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.

La combinación de sustratos la que proporcionó mayor rendimiento ($1252.5 \text{ g planta}^{-1}$) significativamente superior a las otras combinaciones es en tezontle con la lombricomposta en una proporción 3:1 (Cuadro 12).

El efecto de la interacción SNUS con los niveles de combinaciones de sustratos resultaron significativamente diferentes. De acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) la SNUS 50 %, y tezontle con lombricomposta (1:1) produjeron la mejor interacción positiva al obtener el mayor peso de fruto por planta con 1.482 kg (Cuadro 12).

La SNUS al 50 % con tezontle y lombricomposta (1:1) superó a la SNUS 75% con tezontle y peat moss (3:1) y al testigo con una diferencia importante de 300 y 926 g respectivamente. Las combinaciones tezontle y lombricomposta (1:1) al 25% de la SNUS, tezontle y peat moss (3:1) 75% y tezontle con lombricomposta (3:1) 75% hubo diferencias significativamente respecto al testigo, lo cual demuestra que emplear tezontle en combinación con sustratos orgánicos es mejor que tezontle solo.

En la concentración de SNUS 75% se tuvo el mayor número de frutos con 16.4 por planta con una diferencia mínima significativa de 3 frutos a la SNUS del 50% en tanto que en la SNUS 25 y 100 % resultaron similares entre sí y con los valores más bajos (Cuadro 12).

La combinación de sustrato que produjo el mayor número de frutos fue tezontle y lombricomposta con 19 frutos y en menor cantidad tezontle y peat moss, y por último, la combinación tezontle y polvo de coco con tan solo 9.6 frutos por planta (Cuadro 12).

Las interacciones de solución nutritiva con las combinaciones de sustratos presentaron efecto significativamente diferente. La mayor cantidad de frutos se presentó en la interacción SNUS 50% en combinación con tezontle y lombricomposta con 21 por planta la cual superó en promedio con tres frutos a la interacción de mayor rendimiento (peso de fruto por planta) que fue la SNUS 75% con tezontle y lombricomposta (Figura 4).



Figura 4. Aspecto de la planta de chile manzano con un promedio de 16.4 frutos por planta a los 6 meses después del trasplante, cultivado con SNUS al 75% de concentración y sustrato tezontle con lombricomposta en una proporción 3:1. Chapingo, México, 2010.

En tanto que la interacción SNUS al 25% con tezontle y lombricomposta (1:1) fue estadísticamente igual al testigo que consistió de sustrato tezontle 100% y SNUS 100%. No obstante estos resultados, en el sistema de producción en chile manzano en invernadero se debe considerar no solo el peso (rendimiento), sino también la calidad (tamaño), número y precocidad de frutos.

Cuadro 12. Comparación de medias para las variables peso y numero de frutos promedio de frutos por planta por efecto de la concentración de la SNUS, combinación de sustratos e interacción de la SNUS con los sustratos en el cultivo de chile manzano en invernadero. Chapingo, México, 2010.

Concentración SNUS			Combinación de sustrato			Interacción SNUS por combinación de sustrato			
	Peso de frutos (g)	Numero de frutos		Peso de frutos(g)	Numero de frutos			Peso de frutos(g)	Numero de frutos
25%	620.5 c	10.5 c	T y PC	555.8 c	9.7 c		T y PC	265.0 e	5.6 e
50%	993.2 b	14.5 b	T y PM	795.5 b	12.b	25%	T y PM	482.0 d	8.2 de
75%	1063.23 a ^z	16.4 a ^z	T y L	1252.5 a ^z	19.1 a ^z		T y L	1113.6 b	17.8 abc
100%	555.7 d	9.6 c	Tezontle = Testigo	555.8 d	9.6 c		T y PC	771.8 c	10.8 de
DSM	96	3		96	3	50%	T y PM	725.8 d	11.8 cde
CV	14.6	24.6		14.6	24.6		T y L	1482.1 a ^z	21 a ^z
							T y L	849.3 c	12.8 bcd
						75%	T y PC	1178.6 b	18 abc
							T y PM	1161.7 b	18.4 ab
						100%	Tezontle = Testigo	555.7 d	9.6 c

^z Valores con la misma letra, dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$

T y PC = Tezontle y polvo de coco; T y PM = Tezontle: peat moss; T y L = Tezontle y lombricomposta

5.1.2 Calidad de fruto (volumen de fruto)

En Chile manzano la calidad de los frutos está determinada por varios indicadores como el tamaño, peso, firmeza, intensidad del color y brillo, uniformidad en la forma y tamaño de fruto; ausencia de defectos tales como grietas, pudriciones y quemaduras de sol, fisiopatías, enfermedades entre otras. En México, de acuerdo a cada tipo de mercado, los índices de calidad están determinados por el consumidor y esto a su vez tiene un efecto directo en los precios (Espinoza, 2010), siendo el tamaño de fruto uno de los principales indicadores de calidad.

En este cultivo se observó que existen efectos significativos de las concentraciones de SNUS y de las combinaciones de sustratos en el volumen de fruto. La concentración de la SNUS que produce el mayor volumen de frutos por planta es la de 75% Cuadro 13 y Figura 4A) y 4B) ya que obtuvo 563 ml de agua desplazada por los frutos de una planta y representa el doble en relación con testigo con tan solo 277 ml por planta (Cuadro 13 Figura 5 y 6).

Los mejores resultados en calidad de fruto, cuando se analizaron los factores estudiados, se alcanzaron en la SNUS 75% con la combinación tezontle y lombricomposta donde se obtuvo el volumen promedio más alto con una diferencia significativa de 147 ml con respecto al segundo, que fue 50% de SNUS y tezontle con lombricomposta (1:1).

El testigo resultó estadísticamente similar a la interacción SNUS 25% con tezontle y peat moss (1:1). En promedio los frutos de plantas cultivadas con tezontle solo y SNUS 100% tuvieron una anchura por altura de 5.8 x 5.5 cm (Figura 4B) en contraste los frutos mas grandes fueron de 6.3 x 5.6 que corresponden a las plantas cultivadas con SNUS 75% en combinación tezontle y lombricomposta (3:1).

Cuadro 13. Comparación de medias para la variable volumen promedio de fruto (ml) por planta por efecto de la concentración de la SNUS, combinación de sustratos e interacción de la SNUS con los sustratos en el cultivo de chile manzano. Chapingo, México, 2010.

Efecto del rendimiento a nivel de					
Concentración (SNUS)	Combinación del sustrato		Interacción SNUS con combinación de sustrato		
25% 361.5 c	Tezontle : polvo de coco	367.2 c	25 %	Tezontle y polvo de coco	224.4 e
50% 415.8 b	Tezontle: peat moss	469.9 b		Tezontle y peat moss	291.4 e
75% 563.3 a ^z	Tezontle: lombricomposta	662.7 a ^z		Tezontle y lombricomposta	569.3 bc
100% 277.1 c	Tezontle: Testigo	298.5 d	50%	Tezontle y polvo de coco	199.5 e
DMS 101.2				Tezontle y peat moss	398.4 d
CV 19.5				Tezontle y lombricomposta	649.5 b
			75%	Tezontle y polvo de coco	486.7 cd
				Tezontle y peat moss	406.5 d
				Tezontle y lombricomposta	796.5 a ^z
			100%	Tezontle = Testigo	277.2 e

^z Valores con la misma letra, dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0$

SNUS = Solución Nutritiva Universal de Steiner.



Figura 5. A) Planta de chile manzano con frutos de calidad con un peso promedio de 77g por fruto obtenidos en el tratamiento con tezontle y lombricomposta (3:1) y B) SNUS 75%, con frutos de chile manzano cosechados de plantas cultivadas al B1)100, B2) 75, B3) 50 y B4) 25% de la SNUS. Chapingo, México, 2010.

La combinación de sustratos donde se produjeron los frutos de mayor volumen fue con SNUS al 75% con volumen de fruto mayor o igual a 106 ml con un peso mayor o igual a 78 gramos; y lo de menor en SNUS al 100 % con frutos con volumen de 48 a 75 m y con un peso entre 36 y 56 gramos.

En tanto que la mejor de estos dos factores estudiados fue al 75% de la SNUS con la combinación tezontle y lombricomposta donde se obtuvo el volumen promedio más alto con una diferencia significativa de 147 ml con respecto al segundo, que fue 50% de SNUS y tezontle con lombricomposta (1:1).

El testigo resultó estadísticamente similar a la interacción SNUS 25 % con tezontle y peat moss (1:1). En promedio los frutos de plantas cultivadas solo con tezontle y SNUS 100% tuvieron una anchura por altura de 5.8 x 5.5 cm en contraste los frutos mas grandes fueron de 6.3 x 5.6 que corresponden a las

plantas cultivadas con SNUS al 75 % en combinación con tezontle y lombricomposta (3:1).

5.1.3 Precocidad de fruto

En este estudio los primeros frutos cosechados de chile manzano fue el 12 de agosto que corresponde a 149 días después del trasplante. Los tratamientos donde se alcanzaron los mayores rendimientos, al considerar los tres primeros cortes, fueron: la SNUS al 25 % y combinación 1:1 de tezontle con lombricomposta; la SNUS al 50 % con tezontle y peat moss (1:1); y en 75 % de SNUS con tezontle y lombricomposta (3:1) Cuadro 14.

Cuadro 14. Precocidad de frutos considerando los tres primeros cortes de chile manzano cultivado en invernadero con diferentes concentraciones de SNUS y combinaciones de sustratos. Chapingo, México, 2010.

SNUS	Tratamientos	Rendimiento (g)
25	Tezontle y polvo de coco (1:1)	738 b
	Tezontle y peat moss (1:1)	267.5 c
	Tezontle y lombricomposta (1:1)	1138.9 a
50	Tezontle y polvo de coco (1:1)	907.76 b
	Tezontle y peat moss (1:1)	1220.6 a
	Tezontle y lombricomposta (1:1)	895.7 b
75	Tezontle y polvo de coco (3:1)	328.43 c
	Tezontle y peat moss (3:1)	1016.16 a
	Tezontle y lombricomposta (3:1)	432.6 c
100	Tezontle: Testigo	828.3 b

SNUS = Solución Nutritiva Universal de Steiner

En los tres tratamientos mencionados superaron al kilogramo de fruto por planta cosechados a los 5 cinco meses después del trasplante, que de acuerdo con Pérez y Castro (2010) sucede a los 5.5 meses. Estos tratamientos no responden a los de mayor rendimiento total que fue en la SNUS 75 % con sustrato de tezontle y lombricomposta (3:1). Es decir, que para seleccionar el

mejor tratamiento en este experimento hay que considerar las tres características de rendimiento de frutos: peso o rendimiento, calidad de fruto (volumen) y precocidad de fruto esta última característica es importante si consideramos la oportunidad en la producción, ya que en muchas ocasiones permite alcanzar buenos precios en el mercado.

5.2 Altura de planta, diámetro de tallo y distribución de materia seca

De acuerdo con Álvarez (2004) al combinar sustratos inorgánicos con abono orgánico se tiene mayor altura y diámetro basal en el cultivo de pimiento morrón cv. California Wonder. En chile manzano se observó que en SNUS 25 y 50 % las plantas a tres meses después del trasplante midieron 89 cm, 20 cm menos que la SNUS 75 %. En cuanto al diámetro de tallo también en SNUS al 75 % se tuvo mayor diámetro con una diferencia de 2 mm en relación a la del 50% (Cuadro 15). Es decir, existió relación positiva entre el diámetro del tallo y altura de planta con el rendimiento y calidad de fruto, puesto que en el tratamiento de 75% de SNUS y combinación de tezontle con lombricomposta (3:1) se alcanzaron los mayores valores en estas variables.

Cuadro 15. Altura de planta y diámetro de tallo en plantas de chile manzano cultivados en invernadero con diferentes concentraciones de SNUS y combinación de sustratos. Chapingo, México, 2010.

Concentra ciones de SNUS	Tratamientos	Altura de planta a partir de la primera bifurcación (cm)	Diámetro de tallo (mm)
25	Tezontle y polvo de coco (1:1)	85	8.4
	Tezontle y peat moss (1:1)	83	9.4
	Tezontle y lombricomposta (1:1)	99	13
50	Tezontle y polvo de coco (1:1)	71	12.2
	Tezontle y peat moss (1:1)	90	11.8
	Tezontle y lombricomposta (1:1)	104	12.4
75	Tezontle y polvo de coco (3:1)	107.5	12
	Tezontle y peat moss (3:1)	106	12.5
	Tezontle y lombricomposta (3:1)	113	14.2
100	Tezontle = Testigo	97	10.5

Por otra parte, el rendimiento de un cultivo está relacionado con la capacidad de acumular biomasa en los órganos de interés antropocéntrico. Las hortalizas de fruto, cultivadas en invernadero, se caracterizan, en su mayoría, por un crecimiento indeterminado, siendo los frutos los principales órganos de demanda, los cuales compiten entre ellos y con los órganos vegetativos por los asimilados disponibles. El balance apropiado entre fotoasimilados para las distintas partes de una planta tiene gran importancia para optimizar la producción, y se puede obtener a través de una adecuada relación fuente/demanda Peil y Gálvez, 2005.

La producción de biomasa está ligada a la fenología de la planta, principalmente durante la floración y fructificación. En estas fases, la planta invierte cantidades similares de fotoasimilados para la producción de frutos y la parte vegetativa.

Con la aplicación de las diferentes concentraciones de SNUS al inicio del ciclo de crecimiento de la planta, se observó que el área foliar fue reducida, su actividad fotosintética incipiente y la principal demanda fueron los brotes y hojas nuevas en crecimiento. Pero conforme se incrementó el área foliar, la tasa de producción de asimilados producto de la fotosíntesis también lo hizo y a la vez, los asimilados fueron reinvertidos continuamente en crecimiento vegetativo.

En la distribución de materia seca hacia frutos se observó que hubo mayor con acumulación con la aplicación de la SNUS 50 % comparado con las de 25 % en la misma combinación de tezontle y polvo de coco (1:1) Figura 9a y 9a', en ambos tratamientos la planta limitó el crecimiento vegetativo cuando inicio la fructificación, lo que significó que buena parte de los nutrimentos fueran translocados a los frutos, especialmente cuando ellos presentaron las mayores tasas de crecimiento.

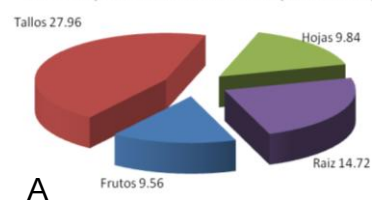
Los resultados en porcentaje la distribución de materia seca fueron similares (Figura 7), El crecimiento de los frutos se dio principalmente a expensas de la traslocación de asimilados, desde las fuentes (hojas) o lugares de reserva (tallos), hacia los frutos (demanda), no obstante en los tratamientos con SNUS 25 % detuvo su crecimiento y mostro signos de senescencia como la caída de hojas viejas; en contraste con los tratamientos con SNUS 75% las plantas presentaron flores y frutos y no detuvieron su crecimiento y alcanzaron la mayor acumulación total de materia seca (Figura 7).

La distribución de materia seca hacia el fruto fue 8.1, 8.3, 7.5 y 8 en SNUS 25, 50, 75 y 100%. En el caso del tomate, la fracción de materia seca destinada a las raíces varía de 17 a 20 % en el estadio inicial; y entre 1 y 10 % en el estadio generativo (Ehret & Ho, 1986). De Willigen & Van Noordwijk (1987) manifiestan que en condiciones de cultivo de sustratos artificiales en invernadero, con un

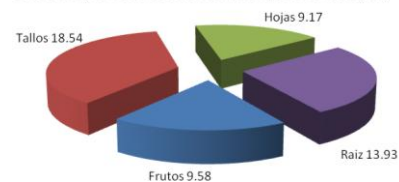
aporte de agua y nutrientes próximos al óptimo, se puede lograr un crecimiento máximo de las plantas con un sistema radical reducido.

La temperatura también afecta la distribución de biomasa, a altas temperaturas se estimulan el desarrollo e incrementan la aparición de flores y frutos, así como mayor índice de abortos, debido al incremento de la demanda total de asimilados.

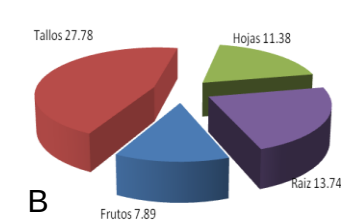
SNUS 25% y la combinación tezontle con polvo de coco (1:1)



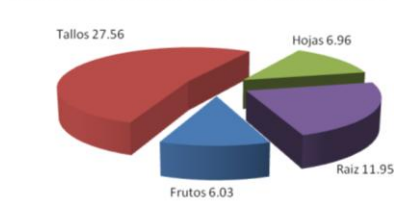
SNUS 50% y la combinación tezontle con polvo de coco (1:1)



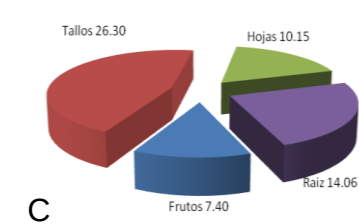
SNUS al 50% y la combinación tezontle con peat moss (1:1)



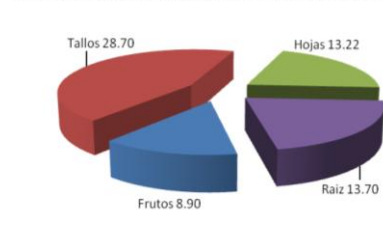
SNUS al 25% y la combinación tezontle con peat moss (1:1)



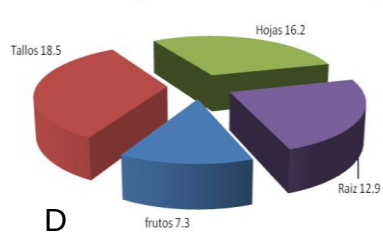
SNUS al 50% y la combinación tezontle con lombricomposta (1:1)



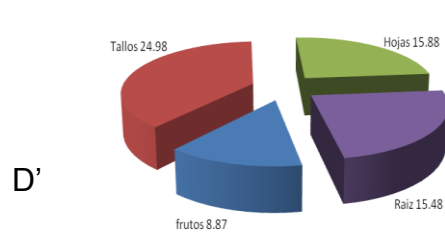
SNUS al 25% y la combinación tezontle con lombricomposta (1:1)



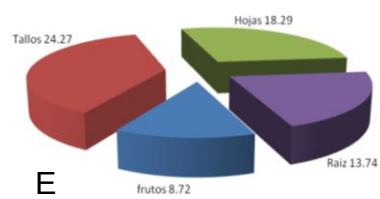
SNUS al 75% y la combinación tezontle con Polvo de coco (3:1)



SNUS al 100% y tezontle solo (Testigo)



SNUS al 75% y la combinación tezontle con peat moss (3:1)



SNUS al 75% y la combinación tezontle con lombricomposta (3:1)

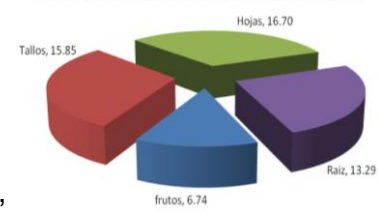


Figura 6. Distribución de materia seca en porcentaje entre los órganos de la planta de chile manzano cultivado en invernadero con diferentes concentraciones de la SNUS y combinación de sustratos. Chapingo, México, 2010.

El rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular materia seca en los órganos que se destinan a la cosecha, un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento. Para los tratamientos con SNUS 75% con la combinación tezontle y peat moss (3:1) presentó un índice de cosecha similar al testigo (Cuadro 16). Sin embargo, el rendimiento de fruto fue superior en el primero.

El índice de cosecha en promedio que fue de 0.48, 0.62, 0.46 y 0.23 para la SNUS 25, 50, 75, y 100 % respectivamente. Cuadro 16.

Cuadro 16. Peso seco e índice de cosecha (IC) estimada para chile manzano cultivado en invernadero con diferentes concentraciones de SNUS y combinaciones de sustratos Chapingo, México, 2010.

Concentración de SNUS	Combinación de sustratos	Raíz	Tallo	Hojas	Fruto	IC
25	Tezontle y polvo de coco (1:1)	18	22.7	26.9	37.03	0.58
	Tezontle y peat moss (1:1)	20.8	32.6	32.6	30.02	0.34
	Tezontle y lombricomposta (1:1)	35	76	53.3	89.88	0.54
50	Tezontle y polvo de coco (1:1)	20.2	38.3	49	70.02	0.65
	Tezontle y peat moss (1:1)	32.3	50	41.3	77.28	0.62
	Tezontle y lombricomposta (1:1)	43.6	65.7	64.9	105.70	0.60
75	Tezontle y polvo de coco (3:1)	25.5	82.7	49.15	70.90	0.45
	Tezontle y peat moss (3:1)	35.8	105.5	65.7	105.47	0.50
	Tezontle y lombricomposta (3:1)	38.3	120.5	52.6	91.53	0.43
100	Tezontle	36.2	113	56.2	57.22	0.23

SNUS = Solución Nutritiva Universal de Steiner.

5.3 Uso eficiente del agua y nutrimentos

En los últimos años, el costo de extracción del agua y su utilización en actividades agrícolas a través del riego representa uno de los egresos más importantes en los cultivos hortícolas. Factores como escasez, baja disponibilidad y lo errático de la precipitación pluvial, hacen que este insumo

sea, sin duda alguna, el de mayor costo en un sistema de producción tradicional en campo abierto.

Uno de los factores del cual depende el uso eficiente del agua es la salinidad del sustrato ya que disminuye la disponibilidad debido a la alta presión osmótica, la cual reduce la absorción de agua y la presión radicular que maneja el transporte de agua en la planta.

La solución del sustrato contiene también nutrientes disueltos, por lo tanto, su absorción también se ve afectada. Una menor absorción de agua reduce la turgencia de las células de las hojas y esto inhibe su elongación y la extensibilidad de la pared de la célula (Aceves, 1979s). En sustratos salinizados, tanto el crecimiento de la raíz como el del tallo están deprimidos, pero como regla general el crecimiento del tallo es el que se ve más afectado (Abad, 1995). La elongación de la raíz se deprime en presencia de altas concentraciones de NaCl y de bajas concentraciones de Ca^{2+} (Carpena, 1988).

El consumo de agua depende de la evapotranspiración, el sombreado, el tipo de sustrato, la solución nutriente aplicada y la etapa de la planta. Para el cultivo de chile (*Capsicum annum L.*) según FAO (1979), el consumo de agua se encuentra en el orden de 600 a 900 mm y hasta 1,250 mm para periodos vegetativos largos con varios cortes de fruto.

La humedad relativa y la temperatura están relacionadas con la eficiencia en el uso de agua de acuerdo al cultivo. Para chile manzano en invernadero, el intervalo óptimo de temperatura y humedad relativa es de 15 a 22 °C y de 60 a 80 %, respectivamente (Espinoza, 2010). En el presente estudio en general, el clima dentro del invernadero en relación a la temperatura y humedad relativa tuvo valores críticos en el mes de abril y mayo, los cuales fueron los meses más secos, posteriormente las temperaturas disminuyeron, no obstante, para

humedad relativa no fueron las más óptimas ya que solo en las mañanas y por las tardes se alcanzó los valores adecuados (Ver Anexo 1A).

En la Figura 7 se puede observar la cantidad de agua consumida por la planta de chile manzano en mililitros por día en diferentes etapas fenológicas y para la Solución Nutritiva Universal de Steiner con CE de 1, 1.5 y más de 2.5 mS, independientemente de la combinación del sustrato.

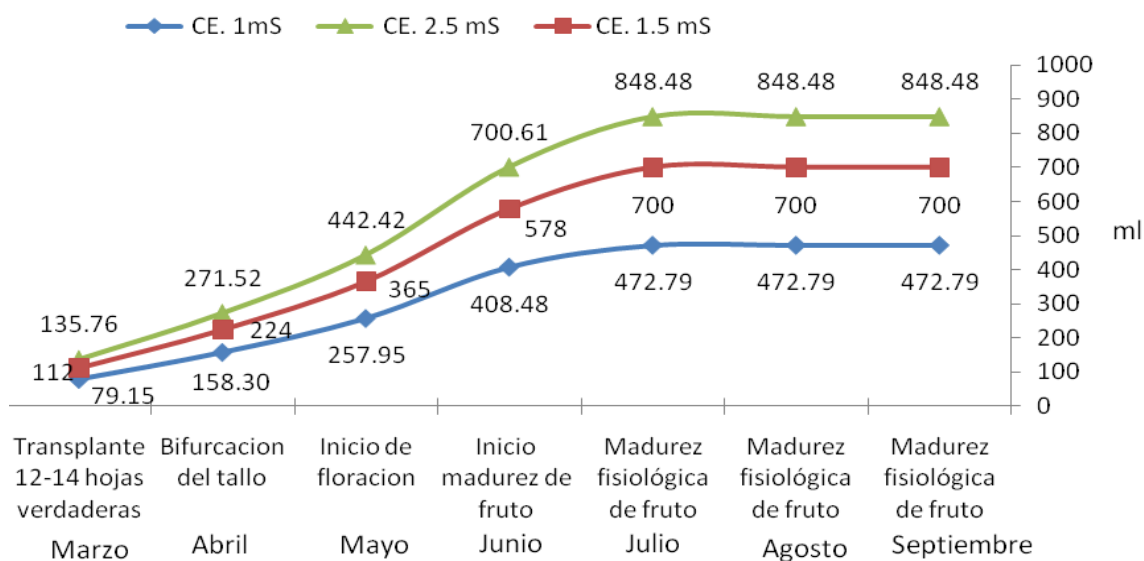


Figura 7. Cantidad de agua consumida por planta por día de chile manzano a conductividad eléctrica de 1, 1.5 y más de 2.5 mS en el estudio de concentraciones de SNUS y combinaciones de sustratos. Chapingo, México, 2010.

En la línea inferior de la grafica (Figura 7) se muestra la cantidad de agua requerida por el cultivo en una combinación 1:1 de tezontle con cualquiera de los tres sustratos orgánicos utilizados (peat moss, lombricomposta y polvo de coco). En estas combinaciones la SNUS en promedio presentó una CE de 1 mS⁻¹ y también en promedio se necesitaron 70 l de SNUS por planta desde el trasplante hasta el último corte (7 meses de cultivo).

La línea intermedia representa el consumo medio, la cual se relaciona con la SNUS aplicada 50 y 75% y presentó una CE de 1.5 a 2 mS, en combinación con tezontle y lombricomposta; tezontle y peat moss o tezontle y polvo de coco en una relación 3:1, en estas combinaciones las plantas requirieron de 102 L de SNUS desde trasplante hasta cosecha; y la línea superior es la aplicación de la SNUS 100%, tuvo una CE promedio de 2 a 2.5 mS, y la cantidad consumida resultó ser la mayor de todas en cada una de las etapas durante todo el ciclo de cultivo, y la demanda de agua por planta fue de 120 l. De tal manera que para la producción de un kilogramo de chile manzano en la SNUS 100% requirió 186 Vs 86.6, 96.5 y 110 l·kg⁻¹ para la de 75, 50 y 25%, respectivamente, mostrando con ello que la SNUS al 75 es la más eficiente para producir un kilogramo de chile manzano y la menos eficiente la de 100% ya que en este tratamiento incrementó la presión osmótica en la solución nutritiva y fue necesario la aplicación de mas cantidad de agua para disminuirlas y con ello existió mayor lixiviación de sales.

Para tener una referencia de la importancia en la eficiencia del uso de agua, para producir un kilogramo de grano de maíz se necesitan alrededor de 550 l (Miramontes, 2009) en tanto que para un kilogramo de fruto de jitomate son de 67 a 87.1 l·kg⁻¹ y existe una correlación positiva con la concentración de la solución nutritiva (Molina *et al.*, 2005).

5.4 Propiedades físicas y químicas de los sustratos

Las propiedades físicas de un sustrato son consideradas de gran importancia ya que si estas son inadecuadas, difícilmente se podrán mejorar una vez que se ha establecido el cultivo, por lo que su caracterización previa es imperativa para el buen uso de agua (Ansorena, 1994; Cabrera, 1999).

Los resultados de las características físicas de las diferentes combinaciones de sustratos empleadas en este experimento muestra que la densidad aparente es ligera para las combinaciones (1:1) y pesada para las (3:1) sobre todo para el

testigo que fue de 1.2 g cm^{-3} . La capacidad para retener agua en ambas combinaciones es óptima pero no para el testigo ya que retiene la mitad de estas; y la menor aireación se tiene en mayores proporciones (3:1) en las combinaciones donde se emplea lombricopomposta seguida de peat moss y la menor aireación se tiene con polvo de coco. Por otra parte se tiene el pH más bajo en las combinaciones con peat moss de 4.5 y la más alta con lombricomposta de 8.6; al igual que la de CE de 10 mS Cuadro 17.

Cuadro 17. Características químicas, físicas y constantes de humedad de las combinaciones de los sustratos constituidas en una proporción v/v, que fueron empleadas en el estudio del chile manzano en invernadero. Chapingo, México, 2010.

Combinación de sustratos	Químicas			Físicas		
	pH	CE (mS)	Da kg/l	CRA	CA	PT
				-----%-----		
T:PC (1:1)	6	6.3	0.624	59	1.97	60.93
T:PM (1:1)	4.5	6.2	0.671	58.1	4.1	62.15
T: L (1:1)	8.6	11.9	0.656	58.3	10.9	69.91
T : PC (3:1)	6	6.3	0.822	48.5	3.52	52.06
T: PM (3:1)	4.5	6.2	0.748	52.5	7.46	59.90
T : L (3:1)	8.6	10.9	1.092	33.5	6.06	39.52
Tezontle			1.207	33.9	4.92	38.86

Da = Densidad aparente; CRA = Capacidad de retención de agua; CA = Capacidad de aireación; PT= Porosidad total; CE = mS T: PC = Tezontle y polvo de coco; T:PM = Tezontle y Peat moss; T:L = Tezontle y lombricomposta;

Cuadro 18. Análisis químico de sustratos empleadas en el estudio de combinaciones de sustratos y SNUS en el estudio de chile manzano. Chapingo, México, 2010.

Propiedades químicas	Composta	Peat moss	Polvo de coco
pH	8.6	4.41	6
CE dSm ⁻¹	11.98	0.21	6.34
MO %	24.88	67.24	57.82
Nmg Kg ⁻¹	27.8	244.9	13.9
P mgKg ⁻¹	772.39	20.77	610.73
K mgKg ⁻¹	8420	240	544
Ca mgKg ⁻¹	4877	2016	430
Mg (mg Kg ⁻¹)	1707	854	623
CIC Cmol(+)Kg ⁻¹	24.9	98.9	72.3
Da tm ⁻³	0.74	0.26	0.25

El pH ejerce efectos muy importantes sobre la disponibilidad de los nutrientes en el sustrato, así como la capacidad de intercambio cationico y la actividad biológica (Raviv *et al.*, 1986; Bunt, 1998). Bajo condiciones de cultivo intensivo se recomienda tener el pH entre 5.5 y 6.8 (Escudero, 1993) cuando el pH es menor a 5.0 puede presentar deficiencias de K, Ca, Mg y B mientras que por arriba de 6.5 puede disminuir la disponibilidad de Fe, Mn, Zn, y Cu (Peterson, 1981).

Con los valores de pH de la SNUS 100 % (Cuadro 19) vemos que aunque parece óptimo de acuerdo a la literatura (5.5) el lixiviado alcanzo los valores más altos. Es decir que las combinaciones de tezontle con sustratos orgánicos tuvieron mayor capacidad buffer o amortiguadora que tezontle solo.

Cuadro 19. Valor de pH en diferentes fechas de muestreo de la Solucion Nutritiva Universal de Steiner con diferentes concentraciones aplicadas a macetas con plantas de chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.

FECHA	SNUS 25 %	SNUS 50 %	SNUS 75%	SNUS 100 %
06/04/2010	7.3	7	6.5	7.1
23/05/2010	6.9	6.2	4.5	6.1
04/06/2010	3.8	3.6	4.3	6.2
01/07/2010	3.9	3.8	4.8	5.3
20/07/2010	4.1	3.6	4.7	5.8
10/08/2010	3.5	4.1	4	4.9
30/08/2010	3.5	3.9	3.9	4.5
Promedio	4.71	4.60	4.67	5.70

Las condiciones climáticas influyen sobre las variaciones en el equilibrio de la solución de riego. En épocas de calor la solución del sustrato suele incrementar su CE con facilidad y será necesario contrarrestarlo aumentando el número de riegos y o reduciendo la CE de la solución, por lo que por un lado facilitará la absorción radical y por el otro evitara mayores concentraciones salinas del sustrato (Urreztarazu, 2000). Por el contrario en épocas frías el drenaje o el extracto del sustrato tiende a disminuir su CE, por lo tanto, es conveniente aumentar la concentración de la disolución del riego (Norrie *et al.*, 1994; Roh y Lee 1996; Karing *et al.*, 1998).

Es importante la homogeneidad del sustrato, pues de acuerdo a la fuente puede variar mucho en sus propiedades físicas, puede originar serios problemas con el riego, fertilización y otras prácticas culturales lo que dificulta su manejo y el productor tiende a rechazar sustratos con tal variación. Un buen medio de crecimiento debe ser reproducible para garantizar la uniformidad del cultivo y, para mantener la calendarización de la producción de éste (Whitcomb, 1988).

Figura 20. Día y mes del pH determinado del agua lixiviada de la maceta del chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, Mexico 2010.

SNUS	Combinación de sustratos	06/04	23/05	04/06	01/07	20/07	10/08	30/08	Promedio
25%	Tezontle y polvo de coco (1:1)	7.5	7.8	7.6	7.2	7.5	7.7	7.5	7.54
	Tezontle y peat moss(1:1)	7.8	8.2	7.7	7.4	7.6	7.7	7.6	7.71
	Tezontle y lombricomposta (1:1)	7.6	8.4	7.5	7.6	7.8	7.9	7.8	7.80
50%	Tezontle y polvo de coco (1:1)	7.6	7.5	7.5	7.5	7.45	7.5	7.6	7.52
	Tezontle y peat moss (1:1)	7.7	7.9	7.3	7.3	7.5	7.6	7.5	7.54
	Tezontle y lombricomposta (1:1)	7.8	8.1	7.9	7.4	7.5	7.7	7.6	7.71
75%	Tezontle y lombricomposta (3:1)	7.5	7.9	7.8	7.8	7.9	8.1	7.8	7.83
	Tezontle y peat moss (3:1)	7.7	7.5	7.8	7.8	7.9	7.9	8.1	7.81
	Tezontle y y polvo de coco (3:1)	7.9	8.5	7.6	7.8	8.1	7.7	7.8	7.91
100%	Tezontle	8.4	8.2	8.3	7.9	7.9	8.5	8.4	8.23

Los cultivos responden de manera particular a la salinidad, algunos producen rendimientos aceptables a altas concentraciones de salinidad, mientras que otros son sensibles a bajas concentraciones (Serrano, 1996).

Cuadro 21. Valores de CE medida en mS de la Solución Nutritiva de Steiner en diferentes concentraciones aplicada en chile manzano, cultivado en invernadero Chapingo, México 2010.

Fecha	Concentración de SNUS			
	25	50	75	100
06/04/2010	1.2	1.9	2.9	3.3
23/05/2010	1.3	1.8	3.4	3.8
04/06/2010	1.6	2.3	3.3	3.9
01/07/2010	1.7	2.1	3.3	3.9
20/07/2010	1.6	2.3	3.1	3.7
10/08/2010	1.5	2.2	3.01	3.2
30/08/2010	1.5	2.3	2.8	3.5
Promedio	1.49	2.13	3.12	3.61

En el presente experimento la CE de la SNUS al 100 % presento una CE alta, superior a los demás concentraciones (Cuadro 21) ya que se observó que después de infiltrarse el agua de riego en el sustrato, aparecía una capa seca en la superficie de la parte superior de la maceta, mientras que los otros tratamientos, esa capa permaneció húmeda, por lo que la planta en la SNUS al 100% hizo mayor esfuerzo para obtener nutrimentos debido a la CE mayor a 2.5 mS y se obtuvo el más bajo rendimiento de fruto.

De acuerdo con Cruz *et al.* (2003) la alta concentración de la SNUS podría salinizar el sustrato del cultivo lo que puede restringir el crecimiento y productividad (Figura 12), Bautista, 2010 obtuvo resultados en chile manzano donde observo que se promueve una mayor absorción de nutrimentos en una CE de 1.0 a 3 mS equivalente a 0.072 a 0.108 Mpa. En el Cuadro 22 se observa que a mayor CE se redujo el rendimiento por lo que fue necesario aplicar más agua para regular la CE.

Cuadro 22. Comportamiento de la CE medida en mS del agua lixiviada en el cultivo de chile manzano en diferentes concentraciones de SNUS y combinaciones de sustratos. Chapingo, México. 2010.

SNUS	Combinación de sustratos	06/04	23/05	04/06	01/07	20/07	10/08	30/08	Promedio
25%	Tezontle y polvo de coco (1:1)	0.92	1.3	0.98	0.95	1.2	1.1	1.3	1.11
	Tezontle y peat moss(1:1)	0.22	0.57	0.95	0.66	0.35	0.43	0.89	0.58
	Tezontle y lombricomposta (1:1)	1.9	1.2	1.3	1.5	1.7	1.4	1.2	1.46
50%	Tezontle y polvo de coco (1:1)	1.3	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.40
	Tezontle y peat moss (1:1)	1.2	1.1	1.7	1.23	1.09	1.2	1.5	1.29
	Tezontle y lombricomposta (1:1)	1.7	1.3	1.5	1.9	1.4	1.6	1.5	1.56
75%	Tezontle y lombricomposta (3:1)	1.28	1.5	1.7	2.2	2.1	1.8	1.9	1.78
	Tezontle y peat moss (3:1)	1.5	1.4	1.9	1.9	1.8	2.1	1.9	1.79
	Tezontle y y polvo de coco (3:1)	2.3	1.5	1.7	1.8	1.7	2.2	2.3	1.93
100%	Tezontle	2.47	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.5	2.37

En la Cuadro 22, se observó que la concentraciones de SNUS 100 % con los más altos valores de CE en el lixiviado y de acuerdo a la literatura revisada coincide que a más 3 mS (Bunt, 1988) limita el rendimiento potencial del cultivo, causando, deficiencia de agua, conocida también como "estrés de sequía" resultado de la mayor presión en la zona radicular; toxicidad iónica, resultado de la excesiva absorción de elementos de poca demanda, principalmente Cl^- y Na^+ y desequilibrio entre nutrientes, resultado de una defectuosa absorción, transporte y/o distribución, principalmente de Ca^{++} , K^+ y Mg^{++} .

Para no reducir su rendimiento potencial, la CE en el extracto saturado del suelo debe ser menor o igual a 1.5 mS y la CE del agua de riego menor o igual a 1.0 mS. Por ejemplo, una CE de 2.5 mS reduce el rendimiento potencial en 10%, una CE de 3.3 mS reduce el rendimiento potencial en 25% y una CE de 5,1 mS reduce el rendimiento potencial en 50%. Mass, E. V., 1986 El chile manzano resultó relativamente sensible a la salinidad, el rendimiento se redujo en el tratamiento con SNUS 100 %, la cual presentó una CE mayor a 2.5 mS (Figura 9), por lo que no se recomienda emplear esta concentración de SNUS más bien 75% o menos.



Figura 8. Síntomas de deficiencia de potasio en hojas de chile manzano provocada por la salinidad del sustrato tezontle al aplicar la SNUS a una concentración de 100%. Chapingo, México, 2010.

5.5 Diagnóstico de la presencia de *Phytophthora capsici*

Las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de este patógeno son la alta humedad del suelo y temperaturas frescas. En las zonas productoras de chile manzano la última etapa del cultivo es más afectada ya que coincide con la época lluviosa. En semilla el patógeno sobrevive en forma de micelio y lo hace por tan solo un mes (Mendoza, 1996). En el presente estudio las plantas de chile manzano cultivado con tezontle combinado con sustratos como polvo de coco, peat moss y lombricomposta en invernadero no presentaron síntomas de desarrollo de esta enfermedad. El análisis micológico con la clave de identificación GISF10-08294 realizado mediante la técnica de dilución (aislamiento en medio de cultivo PARP y PCNB) solo detecto en el sustrato lombricomposta a *Fusarium* sp y *Pythium* sp. No obstante, durante el desarrollo del cultivo no se presentaron síntomas de presencia de la enfermedad, que afectara el desarrollo de la planta. Es por ello que las combinaciones de sustratos evaluadas pueden usarse en el cultivo de chile manzano sin riesgo de desarrollo de *P. capsici*. Incluso, puede recomendarse medidas preventivas como la aplicación al sustrato de hongos benéficos como *Trichoderma* sp., y *Basillus subtilis*.

5.6 Análisis económico

El uso de fertilizantes es necesario para mantener la productividad del suelo y una agricultura viable, no obstante, para la producción de fertilizantes se requiere energía como son los hidrocarburos; y los altos costos internacionales de ellos traen como consecuencia aumento en los costos de los fertilizantes. En los últimos cincuenta años, la utilización de fertilizantes se ha multiplicado por casi diez veces, la demanda creciente de alimentos, por el aumento esperado de la población mundial, exigirá a su vez acrecentar la producción agrícola.

Desde el punto de vista económico es atractivo el uso de sustratos orgánicos, ya que permite reducir los costos derivados de la fertilización química en un 10% (Trápaga y Torres, 1994). Al respecto, Moreno *et al.* (2005) propusieron el

uso de combinación de vermicomposta y arena como sustrato en la producción de tomate en invernadero, mientras que Raviv *et al.* (2005) señalaron que los nutrientes contenidos en la composta satisfacen los requerimientos del tomate durante cuatro meses. En general, se ha observado que bajo condiciones de invernadero se obtienen mayores rendimientos de tomate; es decir, la producción orgánica aumenta la relación beneficio-costos (Márquez *et al.*, 2008).

Los rendimientos por planta por año en función de la concentración de la SNUS y combinación de los sustratos, se presenta en Cuadro 23 donde se observa que se obtienen rendimientos que van desde 2.5 a 8.5 kg de fruto, con una pequeña diferencia de un kilogramo más a lo reportado por Espinoza (2010) que fue de 7.8 kg. Los mejores rendimientos se tienen en los tratamientos donde se aplica lombricomposta y dentro de ellos el mayor rendimiento es con la aplicación de SNUS 75 %, el cual es dos veces superior al testigo, donde se emplea tezontle y SNUS 100 %.

Cuadro 23. Rendimiento obtenido por planta por año, en los tratamientos de combinación de sustratos y SNUS de chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, México, 2010.

SNUS	Tratamientos	Rendimiento medio / corte/ planta (g)	No. Cortes de fruto	Rto promedio total* (g)/planta	Rto / planta durante un año de cosecha
25	T-PC (1:1)	129.1	3	387.3	2,323.8
	T-PM (1:1)	166.0	3	498.0	2,988.0
	T-L (1:1)	202.0	5	1010.0	6,060.0
50	T-PC (1:1)	152.5	5	762.5	4,575.0
	T-PM (1:1)	196.0	5	980.0	5,880.0
	T-L (1:1)	238.0	6	1428.0	8,568.0
75	T-PC (3:1)	193.0	5	965.0	5,790.0
	T-PM (3:1)	201.6	6	1209.6	7,257.6
	T-L (3:1)	226.3	6	1357.8	8,146.8
100	Tezontle	129.0	5	645.0	3,870.0

*Rendimiento en gramos por planta. T-PC = tezontle y polvo de coco; T-PM= tezontle y peat moss; T- L = tezontle - lombricomposta

Desde el punto de vista económico, el uso de abonos y productos orgánicos se ha fomentado por la agricultura orgánica; que finalmente también es una respuesta a una mejoría en las prácticas agrícolas (Raviv *et al.*, 1998). La agricultura orgánica representa un valor agregado a los productos que se obtienen, sus precios son mayores que los de la agricultura convencional, por lo que esta práctica se hace más atractiva para el productor.

Del Cuadro 24, considerando solo las combinaciones de sustratos se desprende que el precio más alto es con tezontle y lombricomposta (1:1) con \$ 19.8 pesos por maceta con SNUS 50 %, y el más barato de 3.78 empleando tezontle solo (testigo).

De tal manera que la opción viable es la SNUS 75% con tezontle y lombricomposta (3:1), con el costo de sustrato de 9.7 pesos por maceta y un rendimiento de 8.2 kg por planta por año a partir que se inicia la cosecha, con un costo de 3.01 pesos por kilogramo con frutos mayores de 77g y de volumen promedio mayor o igual a 106 ml, es decir se obtienen frutos de calidad, los cuales son preferidos en el mercado.

Dada la importancia de este cultivo en México, los resultados que se obtuvieron con el presente proyecto tendrán impacto en las regiones productoras logrando en consecuencia que se incremente significativamente el rendimiento del cultivo, la mejora en la calidad del producto y un fuerte ahorro en el consumo de fertilizantes y agua, lo cual propiciara mayor rentabilidad e ingresos económicos a los productores.

Cuadro 24. Costo del sustrato, Solución nutritiva, y costo para producir un kilogramo de fruto (M.N) en los diferentes tratamientos, en el estudio del cultivo de chile manzano en invernadero. Chapingo, México, 2010.

Concentración SNUS	Tratamiento	Costo del sustrato (Pesos, M.N)				Por kg de fruto
		Orgánico	Tezontle	Combinación / maceta	SNUS por maceta	
25	T-PC	4	1.8	5.8	0.959	2.47
	T-PM	12	1.8	13.8	0.959	1.925
	T-L	18	1.8	19.8	0.959	0.949
50	T-PC	4	1.8	5.8	1.918	2.515
	T-PM	12	1.8	13.8	1.918	1.957
	T-L	18	1.8	19.8	1.918	1.343
75	T-PC	2	0.7	2.7	4.084	4.232
	T-PM	6.1	0.7	6.8	4.084	3.376
	T-L	9	0.7	9.7	4.084	3.1
100	Tezontle		3.78	3.78	6.58	10.2

\$: precio (M.N) / maceta. T-PC = tezontle y polvo de coco; T-PM= tezontle y peat moss; T- L = tezontle – lombricomposta

5 CONCLUSIONES

La combinación de sustrato que permitió mejores condiciones físicas y químicas al crecimiento y desarrollo del cultivo de chile manzano fue tezontle y lombricomposta (3:1) con la SNUS 75%, obteniendo un rendimiento promedio por planta de 8.5 kg por año y peso promedio por fruto superior a 77 g con un volumen de 106 ml y un costo de producción de 3.1 pesos por kilogramo Vs al emplear tezontle solo y 100% de SNUS. Para este tratamiento (tezontle y lombricomposta (3:1) con la SNUS 75%) producir un kilogramo de fruto, el consumo promedio de agua por planta durante siete meses de cultivo fue de 86.6 L Vs 186 L si se emplea tezontle solo y SNUS 100%.

El riesgo de utilizar sustratos orgánicos en las proporciones ensayadas fue nulo ya que no existió manifestación de *Phytophthora capsici* que afectara el rendimiento y calidad de fruto.

7 LITERATURA CITADA

- ABAD, M; NOGUERA, P. 2000. Los sustratos en los cultivos sin suelo, pp. 237-183. *In: Manual de cultivos sin suelo* Urrestarazu, G. M. (eds.). Manuales 5 Universidad de Almería servicio de publicaciones.
- ABAD, M. 1995. El cultivo de tomate, sustratos para el cultivo sin suelo. España: Mundi-Prensa, 131-166p.1995.
- ABDEL MAGID HM; SABRAH EAR; EL NADI ARH; ABDEL-AAL SI; RABIE RK 1994. Kinetics of biodegradation bates of chicken manure and municipal refuse in a sandy soil. *J. Arid Environments* 28: 163-171
- ACEVES, E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Colegio de Posgraduados. 382 p.
- ÁLVAREZ, M. R. 2004. Estudio sobre producción y desarrollo del pimiento morrón bajo condiciones de fertilización orgánica y química en invernadero. Tesis de licenciatura, UAAAN, Saltillo, Coahuila, México. pp 49-56.
- ANSORENA, M. J. 1994. Sustratos, propiedades y caracterización. Ed. Mundi Prensa. pp 107-109.
- ARAM, K.; RANGARAJAN, A. 2005. Compost for nitrogen fertility management of bell pepper in a drip-irrigated plasticultura system. *HortScience* 40(3): 577-581
- ARNON D. I.; STOUT P.R. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.* 14: 371- 375.
- BASTIDA, A. 2004. Los sustratos. *In: III Curso Internacional de Invernaderos.* Universidad Autónoma Chapingo. Guadalajara, Jalisco. México. 41 p.

- BASTIDA TAPIA, A. 2002. Sustratos Hidropónicos. Materiales para cultivo sin suelo. Serie de publicaciones AGRIBOT. UACH. Preparatoria Agrícola. Chapingo, México. 121p.
- BARRIENTOS E. 1988. Evaluación de necesidades de N, P y Mg en chile dulce, *C. annuum* L, asociado con café, *Coffea arabica*, en siembra nueva. Tesis. Ing. Agr. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 49 p.
- BAKER, K.F. 1985. Development of nursery techniques. International Plant Propagators' Society Combination Proceedings 34:152-164.
- BAUTISTA CRUZ M.A. 2010. Potencial osmótico en la absorción y calidad de fruto en chile (*Capsicum pubescens* R. y P.) Tesis de Maestria en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Moontecillos, Texcoco, Edo. De México. 7- 10.
- BEARDSELL, D.V.; NICHOLS, D.G.; JONES, D.L. 1979. Physical properties of nursery pottingmixtures. Scientia Horticulturae. 11:1-8.
- BILDERBACK, T.E. 1982. Container soils and soilless media, p 12 *In*: Nursery Crops Production Manual. Raleigh, NC: North Carolina State University, Agricultural Extension Service.
- BLUHM, W.L. 1978. Peat, pests, and propagation. International Plant Propagators' Society Combinación Proceedings 28:66-70.
- BUNT, A. B., 1998. Media and Mixes for Container-Grown Plants. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London, 309 pp.
- BURES S 1997. Sustratos. Eds. Agrotecnicas. Madrid, España. 342 pp.
- CABRERA R.I. 1998. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 5: 5-11.

- CADAHIA, C. 2000. Fertirrigacion. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi Prensa Madrid, España. pp 68 -71.
- CASTELLANOS J.Z; O.J MÁRQUEZ; J.D. ETCHEWRS; A.A. SANTELISES; J.R. SALINAS 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades del suelo en una región árida irrigada del Norte de México. *Revista Terra* 14 (150-188)
- CASTELLANOS, Z. J. 2004. Manual de producción hortícola en invernadero 2nd ed. INTAGRI. S.C. Celaya, Gto. México.
- CHEN AVNAIMELECH (Eds.) Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht (The Netherlands), pp. 257-287.
- CARPENA, O.; A.M. RODRÍGUEZ; M.J. SARRO. 1987. Evaluación de los contenidos minerales de raíz, tallo y hoja de plantas de tomate como índices de nutrición. *An. Edafol. Agrobiol.* 46: 117-127.
- CARPENA, O.; A.M. RODRÍGUEZ; M.J. SARRO. 1988. Nutrient uptake by two cultivars of tomato plants. *Plant Soil* 105: 294-296
- CORREA, R. D. 1997. Informe semestre de práctica de pasantía. Estudiante Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín Asesores Mario Lobo y Clara Inés Medina.
- CRUZ, O. J. 1998. Enfermedades de las Hortalizas. Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 234 p
- CRUZ, J.; C. PELACANI; S. FILHO; W. DOS SANTOS 2003. Production and partitioning of dry matter and stomatal conductance of Rangpur lemon under salt stress. *Rev. Bras. Frutic.* 25(3): 528-531.
- DE BOODT M, VERDONCK O 1974. Meted for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37: 2054- 2062

- DE WILLINGEN, P.; VAN NOORDWIJK, M. 1987. Roots, plant production and nutrient use. Wageningen,. 282p. Dissertação (mestrado em Horticultura). Wageningen Agricultural University.
- DÍAZ, S. F. R. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Instituto de ciencias agrícolas. Universidad de Guanajuato. pp 2-7
- DOORENBOS, J. and PRUITT, W. 1976. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, paper N°24 FAO, Roma
- EDWARDS, C.A.; I. BURROWS, K.E. FLETCHER; B.A. JONES. 1984. The use of earthworms for composting farm wastes. pp. 229-241. *In*: J.K.R. Gasser (ed.). Composting of agricultural and other wastes. Els. App. Sci. Publ. London and New York.
- EGHBALL, B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:2024-2030
- EHRET, D.L.; L.C. HO. 1986a. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. Ann. Bot. (London) 58: 679-688.
- ESPINOSA TORRES L.E 2010. Cultivo en invernadero, postcosecha y Mercado del chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México 61 - 62 p
- ESCUADERO J. 1993. Cultivo hidropónico del tomate. In: Curso Superior de especialización sobre sin cultivos sin suelo. F. Canovas y J.R. Díaz (Eds.). I.E.A. /F.I.A.P.A., Almeria, pp 261-297.
- ESHBAUGH, W.H 1980. The taxonomy of the genus *Capsicum* (Solanaceae). Phytology 47(3):153– 166
- FAO 2005. Producción mundial de Capsicum. www. Fao. org

FAO 1979. Yield response to water . Irrigation dranaige. 33 pp.

FERNÁNDEZ–HERRERA, E.; ACOSTA-RAMOS, M.; PINTO, V.M. 2007. Efecto de aplicaciones de fungicidas sobre la incidencia de marchitez *Phytophthora capsici* L. del jitomate *Lycopersicum esculentum* Mill. en invernadero Revista Mexicana de Fitopatología 25 (2):186-189.

FONTENO, W. C. 1989. An approach to modeling air and water status of horticultural substrates. Acta Horticulturae, 238:67-74.

GARCÍA, O. C.; G. C, ALCÁNTARA; R. I, CABRERA; F. R, GAVI; V. H, VOLKE. 2001. Evaluación de Sustratos par la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra. 19 (3): 249-258.

GARCÍA. R.; RIERA, R.; ZAMBRANO, C.; GUTIÉRREZ, L. 2006. Desarrollo de un fungicida biológico a base de una cepa del hongo *Trichoderma harzianum* proveniente de la región andina Venezolana. Fitosanidad 10 (2): 115-121 p.

GONZÁLEZ, C. M. M.; TORRES, P.I.; GUZMÁN M.H. 2002. Patógenos involucrados en la marchitez del chile *Phytophthora capsici* Proc 16 th Int Pepper Conf, Tampico, Tamaulipas, México. pp 3.

GRAVES, C.J. 1983. The nutrient film technique. Hort. Rev. 5: 1-44.

GUNES; ALPASIAN. 1996. Jour Plant Nutrition. 19(2), 389-396.

HANDRECK K. A.; N.D. BLACK 1984. Growing media for ornamental plants and turf. New South Wales University Press, Kensington Australia. 401 pp.

HARLASS, S. 1984. Uncover answers to media guessing game. Greenhouse Manager 3(5):102-104, 106-107.

- HEEB, A.; LUNDEGARDH, B.; ERICSSON, T.; SAVAGE, P. G. 2005. Nitrogen form affects yield taste of tomatoes. *J. Food Sci. Agric.*85: 1405-1414.
- HOFFMAN-KAKOL I, DZIENIA S, STANKIEWICZ J, 1982. The influence of simplified pre-sowing cultivation on weed infestation of maize grown as a second crop. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie, Rolnictwo*, 94:83-94.
- HUNZIKER A. T. 1979. South American Solanaceae: a Synoptic Survey, p. 49 – 85. In; Hawkes, J. G.: Lester, R. N. and Skelding, A.D. (eds).the biology and taxonomy of the Solanaceae. Academic Press London.
- HUNT, R. 1990. Basic Growth Analysis For Beginners. Hyman L.T.D., London, UK. 112 P.
- JAMES, B. L. 1987. Propagation media: what a grower needs to know. *Combinati3n Proceedings, International Plant Propagators' Society Meeting* 36:396-399.
- JARAMILLO, J.; LOBO, M. 1982. Piment3n, pp. 121 – 144. *In: Manual de Asistencia T3cnica de Hortalizas*. Ministerio de Agricultura e Instituto Agropecuario.
- JENSEN M.H.; A.J. MALTER 1995. Protected agriculture a global review. World Bank Technical Paper Number 253. Washington, D. C. USA.
- KUHNS, L. J. 1985. Fertilizing woody ornamentals. University Park, PA: Pennsylvania State University, College of Agriculture. 16 p.230 p.
- LEMAIRE F. 1997. The problem of bioestability in organic susbtrates. *Acta Hort.* 450: 63-69.

- LANGERUD, B. R. 1986. A simple in situ method for the characterization of porosity in growt media. *Plant and Soil* 93(3): 413-425.
- LANGERUD, B. R.; Sandvik, M. 1988. Physical conditions in peat/perlite mixtures subjected to different irrigation regimes. *Acta Horticulturae* 221:363-370.
- LÓPEZ-PÉREZ, L.; CÁRDENAS-NAVARRO, R.; LOBIT, P. MARTÍNEZ-CASTRO, O.; ESCALANTE-LINEARES, O. 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Morelia Michoacán, México. Km. 9.5 Carr. Morelia-Zinapecuaro Unidad Posta Zootechnica Tarimbaro Michoacan.
- MARCELIS, L.F.M.; DE KONING, A.N.M. 1995. Biomass partitioning in plants. Crop growth. *In*: BAKKER, J.C.; BOT, G.P.A.; CHALLA, H. et al. Greenhouse climate control: an integrated approach. Wageningen: Wageningen Pers.,. p. 84-92.
- MAROTO, J. V. 1990. Elementos de horticultura general. Ed. Mundi Presa, Madrid, España 343 pp
- MANJARREZ, M. J.; FERRATO-CERRATO R.; GONZÁLEZ-CHÁVEZ M. C. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra* 17: 9-15.
- MÁRQUEZ H. C.; CANO R P, RODRÍGUEZ D. N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para La producción de tomate en invernadero. *Agric. Téc. Méx.* 34(1): 69-74.
- MÁRQUEZ H.C.; CANO P. 2005. Producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Actas Portuguesas de Horticultura* 5(1): 219-224.

- MARCELIS, L.F.M.; DE KONING, A.N.M. 1995. Biomass partitioning in plants. Crop growth. *In*: BAKKER, J.C.; BOT, G.P.A.; CHALLA, H. *et al*. Greenhouse climate control: an integrate approach. Wageningen: Wageningen Pers, p.84-92.
- MARTÍNEZ, R. 1991a. Riego localizado: diseño y evaluación. Depto. de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 161 p.
- MARTÍNEZ, S. M. 1996. Evaluación de combinación de sustratos y sus componentes en flor de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd) c.v. Freedom. Tesis de Licenciatura. Del departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. pp 16-32.
- MARTINEZ, F. 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de Horticultura* 11:55-66 p.
- MARTÍNEZ, C. E. ; M. GARCÍA L. 1993. Cultivos sin Suelo: Hortalizas en Clima Mediterráneo. *Compendios de Horticultura* Nº 3. Ediciones de Horticultura. Barcelona, España. 123 pp.
- MENDOZA, Z. C 1996. Enfermedades fungosas de hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo. *Parasitología agrícola*. México. 85 p.
- MENGUEL, K.; E. AA. KIRKBY 1982. *Principle of Plant Nutrition*. 3a edición. International Potash Institute. Swiserland. 635 p.
- MILKS, R. R.; FONTENO, W. C.; LARSON, R. A. 1989. Hydrology of horticultural substrates: III. Predicting air and water content of limited volume plug cells. *Journal of the American Society for Horticultural SNUS* 114(1): 57-61.

- MITH, P.S.; HEISER, C.B. 1957. Taxonomy of *Capsicum sinense* Jacq. And the geographic distribution of the cultivated *Capsicum species*. Bolletin of the Torrey Botanical Club 84: 413-420.
- MIRAMONTES LAU E. 2008. Manual técnico del extensionista, Guadalajara, Jalisco, México. pp 18-24.
- MOLINA V. S.; PALOMAR L. CARMEN. 2005. Determinación de la dosis de riego más adecuada en tomate injertado. Centro de Experimentación y Capacitación Agraria. Consejería de Agricultura de la Junta de Castilla-La Mancha. Marchamalo (Guadalajara). Departamento de Produccion Vegetal de la Universidad Politécnica de Madrid EUIT Agrícola. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.
- MORENO R A.; VALDÉS P M T.; ZARATE L. T. (2005) Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. Agricultura Técnica 65(1): 26-34.
- NELSON, P. V. 1978. Greenhouse operation and management. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. 598 p.
- NIETO-GARIBAY A.; MURILLO-AMADOR B.; TROYO-DIÉGUEZ E.; LARRINAGA-MAYORAL JA.; GARCÍA-HERNÁNDEZ JL 2002. El uso se compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. Interciencia 27(8): 417-421.
- NUEZ, F.; GIL, R.; COSTA, J. 1996. El Cultivo de los Pimientos, Chiles y Ajies. Ediciones Mindiprensa, (20 – 50 P ISBN 84 – 7114 – 609 – 6)
- ORBEGOSO, A. 1954 Reseña del cultivo. Identificación botánica y comparativa de rendimiento en fresco de variedades de ají. Escuela Nacional de Agricultura. La Molina. Perú. 59 – 70

- ORDEÑANA, L. J. O. 1994. Producción de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), en hidroponía orgánica bajo invernadero: usando efluentes líquidos de digestor anaerobio como solución nutritiva en tres sustratos. Tesis de Licenciatura. Del departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo
- ORTEGA-MARTÍNEZ L. D. 2010. Efecto de los sustratos en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* M.) bajo condiciones de invernadero. Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados, Campus Puebla, México. pp. 42-47.
- PEIL, ROBERTA M.; GALVEZ, JOSÉ L. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la Producción de las hortalizas de fruto cultivadas en Invernadero. Universidad de Almería, La Cañada de San Urbano, 04120, Almería, España.
- PECK, K. 1984. Peat moss and peats. Hummert's Quarterly 8(3): 1, 4-5.
- PÉREZ G., M.; CASTRO B. R. 1998. Guía para la producción intensiva de Chile manzano. Boletín de Divulgación Núm. 1. Programa Nacional de investigación en Olericultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. pp 12-19.
- PEREZ G., M.; V.A. González H.; A.Peña L.; J. Sahún C. 2008. Combinación ability and heterosis in Manzano hot pepper. Revista chapingo: Serie Horticultura.
- PÉREZ, G. M. 2002. Estudio genético y fisiológico del crecimiento, rendimiento y calidad del fruto de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y p) Tesis de doctor en Ciencias. Especialidad en genética. Colegio de Posgraduados. Montecillos, México. 106r

- PÉREZ, G., M.; R. CASTRO B. R. 2010. El chile manzano. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 135 p.
- PÉREZ, M.L., MEDINA, L.J.O. Y SALINAS, G.J.G. 1990 Control genético y químico de la marchitez del chile *Capsicum annum* L. causada por el hongo *Phytophthora capsici* L. en la región de Irapuato, Gto. Revista Mexicana de Fitopatología 8(1):71-76.
- PERNEZNY, K.; P. D. ROBERTS; J. F. MURPHY.; N. P. GOLDBERG. 2003. Compendium of Pepper Diseases. The American Phytopathological Society. USA. 63 p.
- PÉREZ, M.L.; DURAN, O.L.J.; RAMIREZ, M.R.; SÁNCHEZ, P.; OLALDE, P. V. 2004. Sensibilidad in vitro de aislados del hongo *Phytophthora capsici* a fungicidas. Primera convención Mundial del Chile. León Gto. 144-150.
- PETERSON, J. C. 198. Modify your pH perspective. Florists' Review, 169: 34-35.
- PICKERGSILL, B. 1980. Some aspects of interespecific hibritación in *Capsicum* IV Euocarpia *Capsicum* meeting Wageningen. 2 - 6
- PICKERSGILL, B. 1983. Dispersal and distribution in crop plant. Souderbd. Naturwiss ver Hamburg 7: 285 – 301.
- POKORNY, F. A. 1979. Pine bark container media: an overview. International Plant Propagators' Society Combinación Proceedings 29:484-495.
- PUUSTJARVI, V.; ROBERTSON, R. A. 1975. Physical and chemical properties. In: Peat in horticulture. London: Academic Press. 170 p.
- RAMOS, R. F; DE LUNA, J. A 2006. Evaluación de tres variedades de chile (*capsicum annuum*l.) en cuatro concentraciones de una solución hidropónica bajo invernadero. pp 31-35.

- RAVIV, M. CHEN; E INBAR, Y. 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container grown plant. In: The Role of Organic Matter in Modern Agriculture y
- RINCÓN L., J. SÁEZ; E. BALSALOBRE. 1995. Crecimiento y absorción de nutrientes del pimiento grueso bajo invernadero. Investigación Agraria. 10 (1): 47-59.
- RIGGLE, D. 1998. Vermicomposting research and education. ByoCycle 5: 54-56. <http://gnv.fdt.net/~windle/refrence/may98.htm>. (Consulta: junio 13, 2010).
- RINCÓN, S.L. 2002. Bases de la fertilización par alas solanáceas y cucurbitáceas cultivadas en invernadero bajo planteamiento de producción integrada, 135:34-46. In: Ecología y producción integrada en cultivos hortícolas en invernadero. 12° Simposium Internacional. PYTOMA (España).
- SANDERS, D.C.; REYES, L.M.; MONKS, D.W.; JENNINGS, K.M.; LOUWS, F.J. AND DRIVER J.G. 2006. Influence of compost on vegetable crop nutrient management. HortScience 41: 509
- SERRANO, B. 1996. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento y desarrollo de algunos cultivares y portainjertos de vid. Tesis de Maestría. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Cabudare. Venezuela.
- SINHA, N. P. 1950. The somatic chromosomes and meiosis in *Capsicum*. Indian Journal Genetic Plant. Breeding 10:36-42.
- ROSEN J., C; BIDERMAN M., P. 2005. Using manure and compost as nutrient source for vegetable crops. University of Minnesota, Extension Service. 12 p.

- SIAP-SAGARPA, 2006. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos 2009. México. pp. 60- 62
- SMITH P., G.; HEISER C. B. 1951. Taxonomic of *Capsicum sinense* jacq. And the geographic distribution of cultivates *Capsicum* species
- STEINER, A.A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. *In*: Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture.Wageningen, The Netherlands.
- SUBLER, S., CA EDWARDS ; J.D. METZGER 1998. Comparing vermicomposts and composts.
- SWANSON, B. T. 1989. Critical physical properties of container media. American Nurseryman 169 (11): 59-63.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 1998. "*Plant Phisiology*". 2nd ed., Sinauer Associates, Inc., Publishers. 45 p
- TRÁPAGA Y, TORRES F 1994. El Mercado Internacional de la Agricultura Orgánica. UNAM Juan Pablos. México. 221 pp.
- URRESTARAZU, G. M. 2000. Manual de cultivos sin suelo. Coord. M. Urrestarazu. Ed. Mundi-Prensa. Servicio de publicaciones de la Universidad de Almería, España. Pp. 647.
- VELÁSQUEZ, V.R.; RINCÓN, V.F. ; LÓPEZ, F.L. C. 2000. Guía para controlar la pudrición de la raíz de chile en Zacatecas y Aguascalientes. Folleto para Productores No. 25. Campo Experimental Calera-INIFAP-SAGAR. 9-13.
- VELASCO, F. 1971. Recolección y descripción de muestras del género *Capsicum* en las provincias de Satipo (junin) y San Miguel (Cajamarca) UNA. 31 – 35.

WHITCOMB, C. E. 1988. Plant production in containers. Stillwater, OK:
Lacebark Publications. 633 p.

8. ANEXOS

Anexo 1A Metodología para determinar las características físicas y químicas de los sustratos utilizados en la presente investigación (Handreck y Black 1984).

- a) Pesar el sustrato que será evaluado hasta lograr un contenido de humedad que será similar a la condición que se tiene para la producción en maceta (50 a 60% de humedad). Si las muestras de sustrato están secas, éstas deberán ser humedecidas al menos 24 h antes de ser evaluadas.
- b) Llenar completamente el cilindro con sustrato húmedo (ligeramente por arriba del nivel del cilindro).
- c) Asegurarse que el sustrato quede completamente acomodado. Posteriormente dejarlo caer (caída libre) 5 veces. Al final del cilindro deberá quedar completamente lleno.
- d) Colocar el cilindro dentro de un contenedor (9 l) con mayor altura que la del cilindro y lentamente adicionar agua dentro del contenedor (no sobre la muestra del sustrato) hasta que el nivel del agua este justo a la altura de la superficie del sustrato.
- e) Permitir que el agua penetre al sustrato por capilaridad durante 30 minutos.
- f) Remover lentamente el cilindro (en posición vertical) del contenedor de agua y permitir que drene por unos minutos.
- g) Permitir el remojo y drenaje dos veces más, dejando 10 minutos para cada periodo de remojo.
- h) Después de 10 minutos tomar el cilindro con las dos manos dentro del agua y cubrir los 4 orificios en el fondo de la base con 4 dedos, dos de cada mano.
- i) Sacar el sustrato saturado con agua. Permitir que el agua salga de las manos y de la base del cilindro (exceso de agua adherida).

- j) Mover el cilindro a otro contenedor de 4 l. ponerlo encima de un objeto de 1.5 cm de altura y dejar drenar por 30 minutos (libre drenaje).
- k) Quitar el cilindro del contenedor y medir el agua drenada.
- l) Pesar el cilindro con el sustrato mojado inmediatamente después de terminar el drenaje.
- m) Secar a 105°C el cilindro con el sustrato hasta peso constante y pesar.



a)



b)



c)

Figura 1A. Planta de chile manzano a los 6 meses después del trasplante en la SNUS al 75% y la combinación (3:1) con: a) tezontle con peat moss; b) tezontle con polvo de coco y c) tezontle con lombricomposta respectivamente en el estudio de chile manzano cultivado en invernadero. Chapingo, México 2010.



a)



b)



c)

Figura 4A. Planta de chile manzano 6 meses DDT de SNUS al 50% en una relación (1:1) en la combinación a) tezontle con peat moss, b) tezontle con lombricomposta y c) tezontle con polvo de coco, respectivamente cultivado en invernadero. Chapingo, México 2010.



Figura 7A. Planta de chile manzano 6 meses DDT de SNUS al 100 % con tezontle solo (testigo), cultivado en invernadero. Chapingo, México 2010.



a)



b)



c)

Figura 8A. Planta de chile manzano 6 meses después del trasplante de SNUS al 25 % en una relación 1:1 con la combinación con: a) tezontle peat moss, b) tezontle con polvo de coco y c) tezontle lombricomposta respectivamente cultivado en invernadero, Chapingo, México 2010.

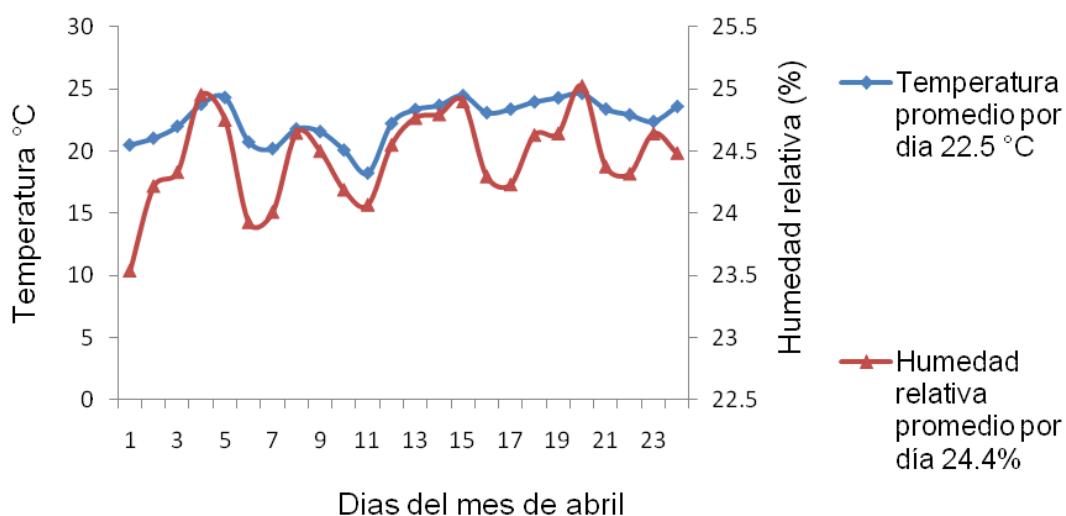


Figura 11A. Temperatura y humedad relativa promedio ambiental durante el mes de abril en invernadero con chile manzano, Chapingo, México. 2010.

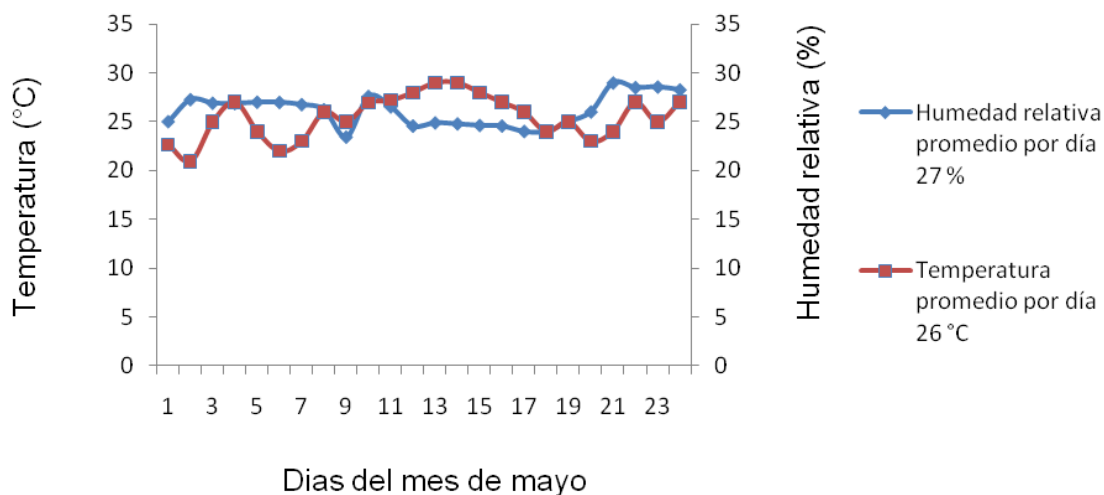


Figura 12A. Temperatura y humedad relativa promedio ambiental durante el mes de mayo en invernadero con chile manzano. Chapingo, México 2010.

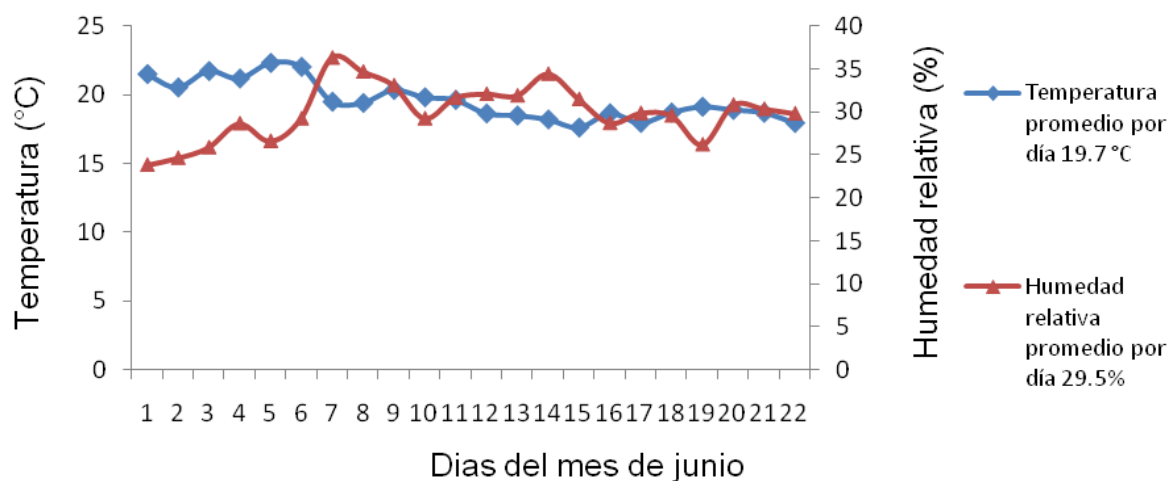


Figura 12A. Temperatura y humedad relativa promedio ambiental durante el mes de junio en invernadero con chile manzano. Chapingo, México 2010.

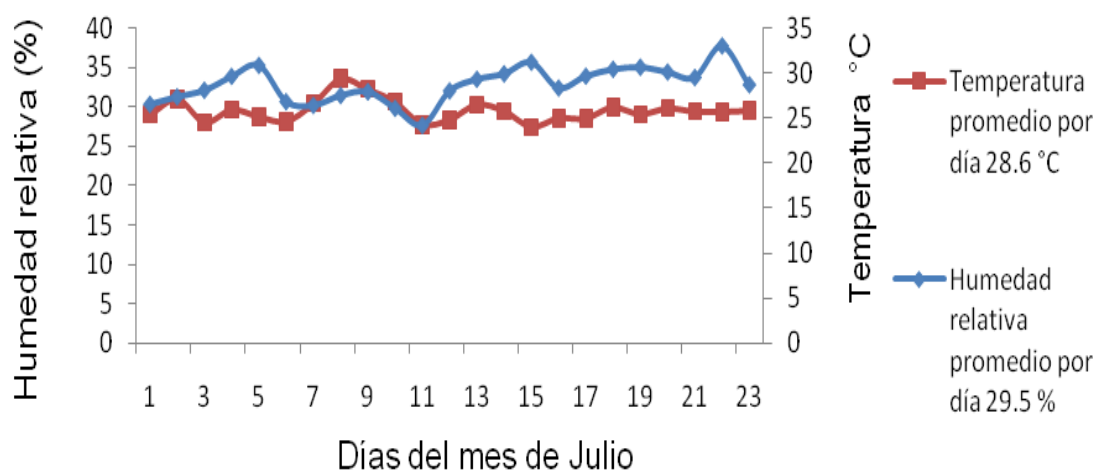


Figura 12A. Temperatura y humedad relativa promedio ambiental durante el mes de Julio en invernadero con chile manzano. Chapingo, México 2010.

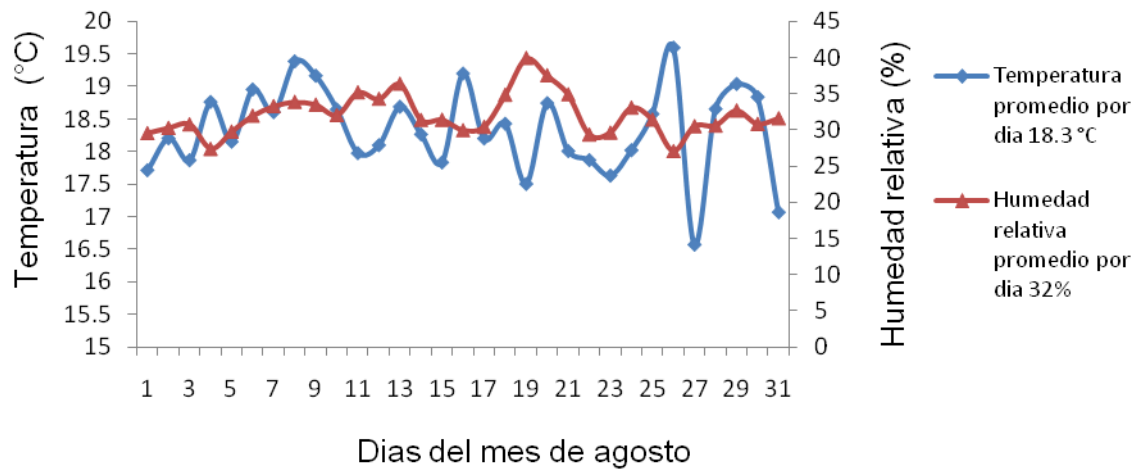


Figura 10A. Temperatura y humedad relativa promedio ambiental durante el mes de agosto en invernadero con chile manzano. Chapingo, México 2010.

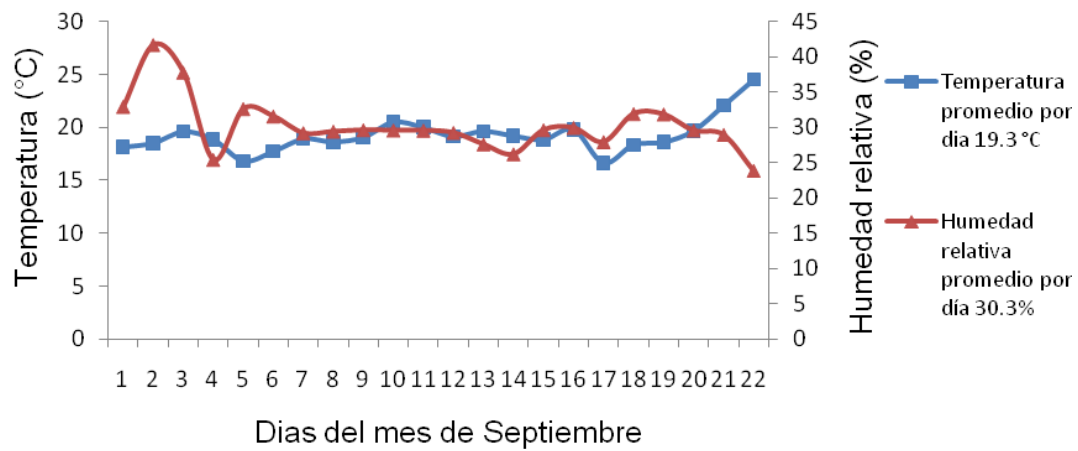


Figura 11A. Temperatura y humedad relativa promedio ambiental durante el mes de septiembre en invernadero con chile manzano. Chapingo, México 2010.

Cuadro 1A Análisis de varianza para la variable rendimiento empleando cuatro concentraciones de la Solución Nutritiva Universal de Steiner y combinación de sustratos en el cultivo de chile manzano. Chapingo, México 2010.

FL	GL	SC	CM	F Cal.	Pr > F
SNS	3	5492865	1830955	316.62	<0.0001
Sustratos	3	6563507	2187836	378.3	<0.0001
SNS*Mezcla	9	20116517	1341101	231.91	<0.0001
Error	64	370100.4	5782.8		
Total	79	20486617			
C.V. 14.65					
DMS. 96.1 (g)					

FV: Fuentes de variación, GL: Grados de libertad, SC: Suma de cuadrados, CM: Cuadrado medio, F Cal: Valor F calculado, C.V: Coeficiente de variación, Pr > F: Probabilidad F exacta

Cuadro 2A. Análisis de varianza para la variable número de frutos medida en plantas de chile manzano en cuatro concentraciones de la Solución Nutritiva de Universal de Steiner. Chapingo, México 2010

FV	GL	SC	CM	F Cal.	Pr > F
SNUS	3	1154.15	384.7167	47.75	<0.0001
Sustratos	3	1464.55	488.1833	60.6	<0.0001
SNUS*Combinación	9	1924.45	213.8278	26.54	<0.0001
Error	64	515.6	8.05625		
Total	79	5058.75			
CV = 24.65					
DMS = 3.5					

FV: Fuentes de variación, GL: Grados de libertad, SC: Suma de cuadrados, CM: Cuadrado medio, F Cal: Valor F calculado, C.V: Coeficiente de variación, Pr > F: Probabilidad F exacta

Cuadro 3A. Análisis de varianza para el variable volumen de fruto en función de la concentración de la SNUS, combinación de sustrato y de la interacción entre estos factores, en el cultivo de chile manzano. Chapingo, México 2010.

FV	GL	SC	CM	F Cal.	Pr > F
SNUS	3	2267404	755801.5	114.5	<0.0001
Sustratos	2	2918296	1459148	221.15	<0.0001
Volumen	2	698123.5	349061.7	52.9	<0.0001
SNUS*Sustrato	6	2609755	434959.1	65.92	<0.0001
SNUS*Volumen	6	3227257	537876.2	81.52	<0.0001
Sustrato*Volumen	4	1142726	285681.4	43.3	<0.0001
SNUS*S*V	12	5322353	443529.4	67.22	
Error	144	950133.1	6598.15		
Total	179	19136048			
C.V. 19.5					
DMS = 101.2 (ml)					

FV: Fuentes de variación, GL: Grados de libertad, SC: Suma de cuadrados, CM: Cuadrado medio, F Cal: Valor F calculado, C.V: Coeficiente de variación, Pr > F: Probabilidad F exacta.