



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD MICHOACÁN**



**ELABORACIÓN DE UN SUSTRATO CON DEGRADACIÓN Y
LIBERACIÓN PAULATINAS DE NUTRIMENTOS PARA EL
CRECIMIENTO DE HORTALIZAS EN INVERNADERO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN:

PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE

PRESENTA:

PEDRO SANDOVAL ESTRADA

DIRECTORES DE TESIS

DR. JOSÉ VENEGAS GONZÁLEZ

DRA. MARTHA ALICIA VELÁZQUEZ MACHUCA

Jiquilpan de Juárez, Michoacán, Diciembre 2012



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Jiquilpan, Michoacán siendo las 10:00 horas del día 12 del mes de Noviembre del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR Unidad Michoacán para examinar la tesis titulada:
"Elaboración de un sustrato con degradación y liberación paulatina de nutrimentos para el crecimiento de hortalizas en invernadero"

Presentada por el alumno:

Sandoval	Estrada	Pedro
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre
Con registro:		
		B 1 0 1 5 2 3

aspirante de:

Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA
Directores de tesis

Dr. José Venegas González

Dra. Martha Alicia Velázquez Machuca

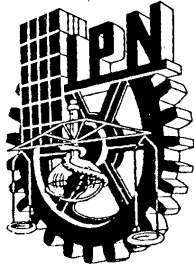
Dr. José Luis Montañez Soto.

Dr. Luis Fernando Ceja Torres

Dr. Gilberto Vázquez Gálvez

Dr. Guillermo Herrera Arreola
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES.





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Jiquilpan de Juárez Michoacán el día 27 del mes Noviembre del año 2012, el (la) que suscribe Pedro Sandoval Estrada alumno (a) del Programa de **Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable** con número de registro B101523, adscrito a **C.I.I.D.I.R. I.P.N. Unidad Michoacán**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de José Venegas González y cede los derechos del trabajo intitulado Elaboración de un sustrato con degradación y liberación paulatina de nutrimentos para la producción de hortalizas en invernadero, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección jvenegasg@ipn.mx, pitter-18@hotmail.com malivelazquez@hotmail.com Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Pedro Sandoval Estrada

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional, por el financiamiento económico otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Jiquilpan, por darme esta oportunidad de lograr otra meta más en mi vida.

Al Programa institucional de formación de investigadores (PIFI) por el otorgamiento de la beca para realizar mi trabajo de maestría.

Al Dr. José Venegas González y a la Dra. Martha Alicia Velázquez Machuca, por su apoyo, orientación y amistad en todo el proceso de maestría. Por compartir sus conocimientos para enriquecer la investigación.

A los Drs. Luis Fernando Ceja Torres y José Luis Montañés Soto, por aportar sus conocimientos en todas las revisiones realizadas a la tesis.

A la Técnico Laboratorista Eréndira Jazmín Medellín Nova por el apoyo brindado en la realización de los análisis químicos correspondientes a éste proyecto.

En general a todo el personal del CIIDIR IPN unidad MICHOACÁN que contribuyó de forma directa o indirecta en el desarrollo de mis estudios de maestría.

A toda mi familia por su apoyo incondicional brindado durante éste periodo.

DEDICATORIA

A mis padres: PEDRO SANDOVAL IBÁÑEZ Y ARCELIA ESTRADA FRAYLE.

A mi hermana: LADY LAURA SANDOVAL ESTRADA.

A mi esposa: BERENICE FIGUEROA BAUTISTA.

A mi hija: KENYA BERENICE SANDOVAL FIGUEROA.

Contenido

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	4
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
Hipótesis	7
1. Revisión de literatura	8
1.1 sustrato	8
1.2. Clasificación de los sustratos	9
1.3. Materiales utilizados comúnmente como sustratos	10
1.3.1.Turba	10
1.3.2.Lana de roca	10
1.3.3.Pperlita	11
1.4. Sustratos alternativos	11
1.4.1.Poliuretano reciclado	11
1.4.2.Restos de cultivos	11
1.5. Propiedades físicas y químicas de los sustratos	11
1.5.1.Propiedades físicas	12

1.5.2.Propiedades químicas -----	13
1.6. Elementos a evaluar en el sustrato -----	16
1.6.1.Nitrógeno (n)-----	16
1.6.2.Fósforo (p)-----	16
1.6.3.Potasio (k)-----	16
1.6.4.Calcio (ca)-----	16
1.6.5.Magnesio (mg) -----	17
1.6.6.Cobre (cu) -----	17
1.6.7.Zinc (zn)-----	18
1.6.8.Manganeso (mn) -----	18
1.6.9.Hierro (fe)-----	18
1.7. Materiales que componen el sustrato en estudio -----	19
1.7.1.Estiércol vacuno -----	19
1.7.2.Polvo de fibra de coco (pfc) -----	19
1.7.3.Cascarilla de arroz (ca) -----	21
1.7.4.Cachaza de caña de azúcar (cca) -----	21
1.7.5.Roca fosfórica (rf) -----	23
1.7.6.Dolomita (caco3+mgco3)-----	24
1.7.7.Harina de pescado (hp)-----	24

1.7.8. Levadura de cerveza (lc)	25
1.8. Producción orgánica	25
2. Materiales y métodos	28
2.1. Elaboración del sustrato	28
2.2. Propiedades físicas del sustrato	30
2.3. Propiedades químicas	33
2.4. Valoración agronómica a los cultivos	34
2.5. Análisis estadístico	35
3. Resultados y discusión	36
4. Conclusiones	57
5. Recomendaciones	58
6. Referencias bibliográficas	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del polvo de la fibra de coco.	21
Cuadro 2. Caracterización química de cachaza, según diferentes autores.	22
Cuadro 4. Organizaciones incluidas en la agricultura orgánica.	27
Cuadro 5. . Diseño de tratamientos.	29
Cuadro 6. Propiedades físicas del sustrato.	36
Cuadro 7. Comportamiento de pH, CE y CIC en el sustrato*.	41

Cuadro 8. Comportamiento de N, P y K durante tres ciclos de cultivo en el sustrato*.....	45
Cuadro 9. Comportamiento de Ca, Mg y Fe durante tres ciclos de cultivo en el sustrato *....	48
Cuadro 10. Comportamiento de Mn, Cu y Zn durante tres ciclos de cultivo en el sustrato*...51	
Cuadro 11. Rendimientos medios del chile serrano en g/planta.....	52
Cuadro 12. Rendimientos medios de MS en g/planta de brócoli	54
Cuadro 13. Rendimientos medios de MS en g/hoja de acelga.	55

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue conocer la dinámica de la degradación y liberación nutrimental paulatinas de un sustrato para la producción de hortalizas. Se preparó una mezcla balanceada de los siguientes componentes: a) compost de estiércol de bovino, b) compost de cachaza de caña de azúcar, c) harina de pescado, d) levadura de cerveza, e) cascarilla de arroz, f) fibra de coco, g) roca fosfórica y h) dolomita. Los ingredientes se mezclaron y se sometieron a un proceso de compostaje. Se montaron experimentos empleando el chile serrano (*Capsicum annum L.*) y posteriormente Brócoli (*Brassica oleracea L.*) y Acelga (*Beta vulgaris L.*). Se trabajó con 16 tratamientos empleando un diseño experimental completamente aleatorizado con 4 repeticiones, se utilizaron macetas de plástico con capacidad de 12 L de sustrato; asimismo, se tomaron muestras de sustrato al inicio y al final de cada cultivo, las cuales fueron analizadas química y fisicoquímicamente determinando: densidad aparente (Da), densidad de partícula (Dp), porosidad total (PT), Porosidad de aireación (PA), capacidad de retención de agua (CRA), pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn), metodologías estandarizadas. Se realizó una valoración agronómica de los tres cultivos en estudio. Para el chile serrano (*Capsicum annum L.*) se midió altura, diámetro del fruto, número de frutos y peso fresco del fruto, mientras que para el brócoli (*Brassica oleracea L.*) y las acelgas (*Beta vulgaris L.*) se midió la altura de la planta, peso fresco y peso seco. En general, los análisis reportan que el sustrato presenta buenas condiciones físicas para el desarrollo y anclaje radicular de las plantas y tiene un pH muy alcalino, es rico en Nitrógeno total que se libera de forma óptima para el desarrollo de las plantas, muy alto en Fósforo y con niveles adecuados de micronutrientes para el mantenimiento nutrimental de las plantas. Tomando en cuenta las características tanto físicas como químicas y la valoración agronómica de los tres cultivos el T₁₆ es el tratamiento con

mejores condiciones para cultivo de estas hortalizas en invernadero, ya que éste cuenta con todos los materiales que componen los diferentes tratamientos.

ABSTRACT

The objective of the present work was to study the dynamics of degradation and nutrient release gradual of a substrate for the production of vegetables. It is prepared a balanced mixture of the following components: (a) composted cattle manure, b) compost filter cake of sugar cane, c) fish meal, d) beer yeast, e) rice husks, f) coconut fiber, g) phosphate rock and h) dolomite. The ingredients were mixed and underwent a process of composting. Experiments were mounted using the highland chili (*Capsicum annum L.*) and later Broccoli (*Brassica oleracea L.*) and Spinach beet (*Thread vulgaris L.*). One worked with 16 treatments using an experimental design completely randomized with 4 repetitions, handles of plastic were in use with capacity of 12 L of substratum; likewise, samples of substratum took to the beginning and at the end of every culture, which were analyzed chemistry and physic-chemistry determining: apparent density (AD), density of particle (Dp), total porosity (TP), Porosity of aeration (PA), capacity of water retention (CRA), pH, electrical conductivity (EC), capacity of cationic exchange (CCE), Nitrogen (N), Phosphorus (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), I shoe (Faith), Manganese (Mn), Copper (Cu) and Zinc (Zn), standardized methodologies. There was realized an agronomic valuation of three cultures in study. For the highland chili (*Capsicum annum L.*) there measured up height, diameter of the fruit, number of fruits and fresh weight of the fruit, whereas for the broccoli (*Brassica oleracea L.*) and the spinach beets (*Thread vulgaris L.*) measured up the height of the plant, fresh weight and dry weight. In general, the analyses bring that the substratum presents good physical conditions for the development and anchorage radicular of the plants and has a very alkaline pH, it is rich in total Nitrogen that is liberated of ideal form for the development of the plants, very high in Phosphorus and with suitable levels of micronutriments for the maintenance nutrimental of the plants. Taking in it counts the characteristics so much. Taking in it counts the characteristics so much physical as

chemistries and the agronomic valuation of three cultures the T16 is the treatment with better conditions for culture of these vegetables in greenhouse, since this one relies on all the materials that they compose the different treatments.

INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos por el rápido incremento de la población mundial, exige que la agricultura moderna sea capaz de producirlos con un mínimo deterioro ambiental (erosión y contaminación). En la agricultura convencional, el uso incontrolado de agroquímicos ha derivado en una pérdida de fertilidad de los suelos, causada por una reducción de la actividad biológica, y en una menor capacidad productiva de estos (Suquilanda, 1995). Debido a esta condición, el incremento en los rendimientos agrícolas que se pretendía obtener con la aplicación continuada del paquete tecnológico generado por la Revolución Verde, no se ha alcanzado. En su lugar, se acepta que los requerimientos de los cultivos son cada vez mayores en cuanto a la aplicación de nutrimentos para sostener una determinada producción, conduciendo a una espiral sin fin y aumentando los peligros de contaminación de cuerpos de agua.

La aplicación de grandes cantidades de fertilizantes químicos sintéticos requiere actualmente para su producción de la quema de combustibles fósiles. Los gases liberados por la combustión de estos productos se han asociado con el calentamiento global, o cambio climático, y con la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Surge, entonces, la necesidad de buscar alternativas para la obtención de productos fertilizantes que no requieran el uso de estos combustibles o que los reduzcan significativamente.

Por otro lado, la generación de residuos sólidos orgánicos derivados de las actividades industriales y agropecuarias se ha convertido en un severo problema de contaminación debido a un inadecuado manejo y disposición, pudiendo en algunas circunstancias generar un problema sanitario. La utilización de estos residuos, previo tratamiento de compostaje, como materiales o enmiendas orgánicas para la producción de hortalizas tiene, de esta manera, un valor ambiental; el reciclaje de estos residuos orgánicos los convierte en materiales con las características de sostenibilidad que demandan las normas oficiales para la producción agrícola sustentable (Venegas, 2010). De esta manera, el uso de desechos orgánicos y

compost como sustratos para algunos cultivos podría ser uno de los métodos más atractivos para resolver el problema de la eliminación de residuos (Banegas *et al.*, 2007 y Liu *et al.*, 2000). Esta alternativa para la disposición de residuos orgánicos puede complementarse con la producción de cultivos intensivos bajo invernadero, con la posibilidad de obtener altos rendimientos, mayor calidad de cosechas y una producción en cualquier época del año.

Adicionalmente, hoy día existe interés entre los consumidores por preferir alimentos inocuos, sin presencia de contaminantes, y con un alto valor nutricional. Con la agricultura orgánica se pueden obtener alimentos con estas características al eliminar el uso de agroquímicos y fertilizantes sintéticos (Márquez, *et al.*, 2008) y potenciar el reciclaje de residuos orgánicos.

Sin embargo, para establecer una producción orgánica en terrenos agrícolas, se requiere cumplir un periodo de tres a cinco años sin la aplicación de agroquímicos y fertilizantes sintéticos en el suelo, de acuerdo con la normatividad vigente; por esta razón los productores de medianos y bajos ingresos se ven limitados económicamente para producir en un sistema orgánico, puesto que cumplir estos requisitos implica una inversión adicional por ese periodo de tiempo (Gewin, 2004). Esta restricción puede obviarse con el uso de sustratos orgánicos para producción intensiva bajo invernaderos. Tales sustratos pueden obtenerse a partir de residuos agroindustriales y rocas calcáreas, mezclados en tales proporciones que cumplan con las necesidades físicas, nutrimentales y biológicas de los cultivos seleccionados para su óptimo desarrollo y producción (Castillo *et al.*, 2000; Hashemimajd *et al.*, 2004).

En México se producen residuos sólidos orgánicos que se pueden utilizar como sustratos agrícolas, lo que podría reducir el problema de la contaminación ambiental. Ejemplo de estos residuos son el estiércol de bovino y ciertos subproductos agroindustriales como la cascarilla de arroz, cachaza de caña de azúcar y polvo de fibra de coco (Venegas *et al.*, 2010).

También existen diversos yacimientos naturales de roca fosfórica y piedras calcáreas que pueden utilizarse como fuente de nutrientes. Por lo tanto, los residuos sólidos orgánicos y los yacimientos minerales naturales, pueden estudiarse de manera integral empleando técnicas químicas y agronómicas para la elaboración de un sustrato que cumpla con los requerimientos tanto físicos, biológicos y nutrimentales para una buena producción de hortalizas bajo condiciones de invernadero (Venegas *et al.*, 2010). Es fundamental delimitar las características mínimas que deben tener los materiales que conformarán el sustrato donde se desarrollarán las plantas, puesto que una inadecuada selección puede provocar el fracaso en el cultivo (Zarate, 2007).

Cabe mencionar que el costo de los sustratos es un factor muy importante a tomar en cuenta para su elaboración; es posible que un sustrato barato no cumpla con todas las propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas que puede poseer uno de más alto costo. Sin embargo, es importante señalar que algunos sustratos considerados “baratos” pueden manejarse óptimamente, de tal forma que la relación costo/beneficio se puede incrementar en relación con los sustratos caros (Díaz, 2004). Sustratos de menor costo, en relación con aquellos de importación, pueden generarse a partir de materiales producidos localmente, seleccionando aquellos que sean estables, de calidad e inocuos. Además de significar un ahorro de divisas, el uso de materiales locales reduciría los problemas de diseminación de plagas y enfermedades de una región a otra, situación que puede presentarse cuando se utilizan productos orgánicos foráneos (Quesada y Méndez, 2005).

En México, el sistema extensivo para la producción de hortalizas está cambiando hacia un sistema intensivo desarrollado en ambientes controlados. Éste moderno sistema, conocido como horticultura protegida, tiene como objetivo principal elevar la producción agrícola en áreas pequeñas, las cuales poseen medios de protección ya sean permanentes o temporales como los invernaderos, micro y macro túneles y casas sombra, entre otros (Sánchez *et al.*, 1999). El manejo eficiente de éste sistema se potencia con el empleo del riego por goteo y sustratos especiales como sustitutos del suelo (Sánchez *et al.*, 1999). A la fecha, las investigaciones sobre el tema se han

enfocado hacia la obtención de sustratos inertes con bajo o nulo contenido de nutrimentos para las plantas, centrándose en el mejoramiento de sus condiciones físicas para el buen desarrollo vegetal.

En contraste, la elaboración de un sustrato que pueda aportar la cantidad suficiente de nutrimentos para las plantas puede ser una alternativa adecuada para su producción en invernadero. Las ventajas de un sustrato con estas características redundará en el mejoramiento de la nutrición de las hortalizas ahí desarrolladas por la liberación oportuna y en cantidades suficientes de tales nutrimentos, además de poder reutilizarlo en varios ciclos de cultivo como se ha plasmado en trabajos previos (Venegas, 2010). Con estos antecedentes, se planteó el presente trabajo con los siguientes objetivos:

Objetivo general

Estudiar la respuesta de algunas hortalizas en un sustrato con degradación paulatina de nutrimentos (SDPN) bajo condiciones de invernadero.

Objetivos específicos

- ✚ Determinar las propiedades físicas y químicas del SDPN
- ✚ Estudiar la dinámica de degradación nutrimental del SDPN.
- ✚ Evaluar el comportamiento agronómico de tres especies de hortalizas desarrolladas secuencialmente en el SDPN.

Hipótesis

La liberación de nutrimentos del sustrato formulado es la adecuada para la nutrición de algunas hortalizas.

1. Revisión de literatura

1.1 Sustrato

El término “sustrato, se refiere a todo material sólido que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que colocado en contenedor, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radical; el sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta (Pastor, 1999).

Es un sistema de tres fracciones: 1) fracción sólida: asegura el mantenimiento mecánico del sistema radicular y la estabilidad de la planta, 2) la fracción líquida: aporta a la planta los nutrimentos necesarios. 3) la fracción gaseosa: asegura las transferencias de O₂ y CO₂ del entorno radical (Lemaire *et al.*, 2005).

Un buen sustrato es esencial para la producción de plantas de calidad en maceta. Dado que el volumen de la maceta es limitado, el sustrato y sus componentes deben de poseer características físicas y químicas que combinados con un programa integral de manejo y fertilización, permitan el óptimo desarrollo de las plantas(Cabrera, 1995).

Mientras que Abad y Noguera (2000) concuerdan que las funciones más importantes de un sustrato son, proporcionar un medio ambiente ideal para el crecimiento de las raíces (aportar agua, aire y nutrimentos), construir una base adecuada para el anclaje y soporte a la raíz. Abad *et al.* (2005) sugieren que la finalidad de los sustratos en cualquier cultivo es producir una planta/cosecha de calidad, en periodo corto de tiempo, con bajos costos de producción sin inducir un grave impacto ambiental.

El sustrato ideal para un cultivo, es aquel que tenga una relación agua-aire ideal y suficiente, nutrimentos disponibles para la planta, además debe tener buen drenaje y permitir el rápido lavado del exceso de sales que se acumulen en el sustrato y perjudican el desarrollo de la planta (Avidan *et al.*, 2004).

Criterios para la selección de un buen sustrato según: Bunt (1998), Handreck y Black (1991), Martínez y García (1993).

1. Suministro y homogeneidad. El material debe ser abundante y homogéneo, ya que al cambiar la calidad del sustrato puede alterar por completo el sistema de producción, lo que puede ocasionar grandes pérdidas en la producción.

2. Su costo. Es un factor muy importante a tomar en cuenta. Sin embargo el costo no debe derogar otros aspectos o factores, ya que el sustrato elegido debe alcanzar el objetivo propuesto con el mínimo riesgo e inconvenientes.

3. Sus propiedades. Una vez que tenemos la finalidad del cultivo bien establecida y se conocen los costos y la disponibilidad del material, el siguiente paso es examinar con detalle las características del sustrato que son: físicas, químicas, físico-químicas y biológicas.

4. Experiencia local en su utilización. La experiencia es un aspecto importante para la selección del sustrato, ya que debemos de conocer las experiencias vividas de otros productores que utilizan éste sistema de producción, como también así las experiencias personales, y así poder hacer comparación de los resultados de diferentes sustratos para poder tomar la elección adecuada o correcta.

5. Impacto ambiental: El impacto ambiental de un sustrato puede ser debido a su obtención o a la generación de un residuo difícil de reutilizar. La utilización como sustratos de residuos agrarios, forestales, ganaderos, urbanos, entre otros, tiene un impacto ambiental positivo, por la neutralización de un residuo generado por otras actividades económicas.

1.2. Clasificación de los sustratos

Los sustratos se pueden clasificar según su origen y proceso de manufacturación de la siguiente forma: orgánicos químicamente activos como son: las turbas, cortezas de pino, vermiculita, materiales lignocelulósicos, entre otros y los inorgánicos

químicamente inertes como es la arena granítica o silícica, grava, perlita lana de roca, entre otros (Ortega, 2010).

La diferencia entre los tipos de materiales está determinada por la capacidad de intercambio catiónico, ya que esta propiedad físico-química está directamente relacionada con la capacidad de almacenamiento de nutrimentos por parte del sustrato (Abad y Noguera, 2000).

1.3. Materiales utilizados comúnmente como sustratos

Existen diversos materiales que pueden utilizarse como sustratos, en forma pura o en mezcla. A continuación se describen algunos de ellos.

1.3.1. Turba

Las turbas están formadas por depósitos de restos de musgos y otras plantas superiores que se encuentran en proceso de carbonización, sin contacto con oxígeno, por lo que conservan su estructura anatómica a lo largo del tiempo (Strasburger *et al.*, 1986).

Sin embargo las turbas presentan un gran problema, ya que sus reservas son limitadas y no renovables por lo que el uso indiscriminado puede causar un importante impacto ambiental. Además al tratarse de un material natural presenta la desventaja de que su homogeneidad no está asegurada (Fernández, 2010).

1.3.2. Lana de roca

Es un producto mineral transformado industrialmente. Consta de una mezcla de rocas basálticas que se funden a 1600°C y posteriormente se lanzan sobre unas ruedas giratorias en donde se solidifica en forma de fibras. Durante el proceso de transformación se le añaden aditivos para darle estabilidad y capacidad para absorber o repeler el agua (Burés 1997).

La principal desventaja es su eliminación ya que supone un problema medioambiental.

1.3.3. Perlita

Es un silicato de aluminio de origen volcánico. Se trata de rocas vítreas formadas por enfriamiento rápido que dan lugar a un material amorfo con un 2-5% de agua combinada (Abad *et al.*, 2005).

1.4. Sustratos alternativos

1.4.1. Poliuretano reciclado

Se obtiene por adición de un agente espumante, que homogeniza y cohesiona, a recortes de espuma que se trituran y comprimen hasta obtener la densidad adecuada. Es un material de larga duración pudiendo durar hasta 5 años en cultivo. Éste material tiene una alta capacidad de aireación, superior a la lana de roca, pero retiene menos agua (Beniot y Ceustermans, 1990).

1.4.2. Restos de cultivos

El uso de estos restos sea considerado como su uso en forma de compost. Éste tipo de compost resulta ser una alternativa aceptable y ecológicamente viable para diferentes cultivos. Además de que éste compost con el tratamiento adecuado de lavado previo, puede utilizarse sin causar pérdidas en la producción (Mazuela *et al.*, 2005).

1.5. Propiedades físicas y químicas de los sustratos

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos o mezclas de sustratos deben establecerse en su elaboración para poder tener un manejo óptimo posteriormente o durante el periodo de cultivo, por ejemplo, duración del riego y horario del mismo. Una vez que el sustrato está en uso, no es posible cambiar las propiedades físicas ya que esto generaría la pérdida del cultivo, a diferencia de las

propiedades químicas que si se pueden cambiar con gran facilidad, sin perjudicar el cultivo (Cenobio, 2006).

1.5.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas son consideradas como las más importantes, ya que si estas no son bien establecidas en la elaboración del sustrato, será muy difícil que puedan ser mejoradas una vez que se estableció el cultivo, por lo que su caracterización priora es muy importante (Ansorena, 1994; Cabrera, 1999).

La caracterización física de los sustratos estudia la distribución volumétrica de los materiales sólidos que componen el sustrato, la capacidad de ventilación y la capacidad de filtrar y retener el agua, determinando el volumen en espacio poroso total del medio de cultivo vago, es decir, que en éste espacio no se encuentren partículas de origen mineral ni tampoco de origen orgánico. Éste espacio poroso se divide en pequeños poros, denominados capilares, que retienen el aire y los llamados macroporos, que permanecen vacíos después de que el agua fue desecada y de esta manera se permite la aireación de las raíces del cultivo (Cenobio, 2006).

El agua total utilizable en un sustrato es el volumen de agua retenida a la tensión de 100 Pa y esta agua se divide en dos clases las cuales son: 1) agua de reserva y agua fácilmente disponible. Agua de reserva: se define como el porcentaje en volumen que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 Pa el nivel óptimo se sitúa del 4 al 10%. Agua fácilmente disponible: Es la diferencia del volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado y dejado drenar a 10 Pa y el volumen de agua contenido en el ya mencionado sustrato a una succión de 50 Pa; su comportamiento en cuanto a una baja retención de agua puede deberse a que su porosidad sea reducida, lo que puede tener relación con los materiales utilizados para la elaboración del sustrato y con el tamaño de los poros: si estos son grandes el agua no es retenida y se pierde por gravedad y si son muy pequeños el agua no se drena lo suficiente y la planta no tiene la capacidad de extraer el agua antes de

marchitarse, una buena retención de agua varía entre el 20 y 30% (Abad y Martínez 1996).

La capacidad de aireación es el nivel de capacidad de aireación óptimo varía entre un 20 y 30%, se define como la proporción del volumen del medio de cultivo que contiene aire después de que dicho medio ha sido saturado con agua y ha terminado de drenar, regularmente a 10 Pa (Cenobio, 2006).

El tamaño de las partículas se relaciona directamente con el de los poros; esto determina el balance entre el contenido de agua y aire del sustrato; por lo tanto, el tamaño de las partículas afecta la disponibilidad de oxígeno y agua para las raíces de planta; de ello depende, en parte el crecimiento y la producción de la misma (Cenobio, 2006).

La densidad aparente no debe superar los 0.4 g/cm^3 bajo condiciones de cultivo protegido (invernadero, micro y macro túneles, casas sombra, entre otros más) y se define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del medio húmedo. Esto significa que incluye el espacio poroso entre las partículas (Abad y Martínez 1996).

1.5.2. Propiedades químicas

A diferencia de las propiedades físicas iniciales de un sustrato, las propiedades químicas pueden ser cambiadas y modificadas para el beneficio de la planta con gran facilidad a lo largo de todo el ciclo de producción, en particular, cuando se recurre a sistemas intensivos de fertiriego y uso de fertilizantes de lenta liberación. Así pues, la evaluación inicial de las propiedades químicas de un sustrato se concentra principalmente en aquellos parámetros que podrían afectar más significativamente el cultivo en su fase de establecimiento, en especial pH y conductividad eléctrica (Bunt, 1988; Cabrera, 1999).

Las propiedades químicas caracterizan las transferencias de materiales entre el sustrato y la solución; el mecanismo de intercambio catiónico se da entre los cationes

absorbidos sobre las superficies cargadas y los cationes de la solución regulan en gran medida la disposición de nutrimentos requeridos por la planta (Cepeda, 1991).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la suma de cationes intercambiables que pueden ser adsorbidos por unidad de volumen o peso del sustrato y que por lo regular siempre están disponibles para la planta. Estos cationes quedan retenidos frente al efecto lixivante del agua. El valor óptimo de la CIC se relaciona directamente con la fertirrigación, ya que si esta es aplicada de manera constante y permanente, la CIC no representa ninguna ventaja y conviene utilizar sustratos con muy baja o quizá nula capacidad de intercambio catiónico; si se aplica de manera intermitente, el uso de sustratos con moderada o elevada CIC es importante y se recomienda mayor a 20 m.e. por 100 gramos (Rodríguez y Rodríguez, 2002).

El pH es un factor de vital importancia en el óptimo desarrollo de las plantas, ya que los nutrimentos se encuentran disueltos en agua, compuesta de hidrógenos y oxidrilos que unidos la forman; sin embargo, existe una concentración constante de iones hidrógeno y oxígeno en libertad, denominada constante de iones hidrógeno y oxígeno en libertad, denominada constante de ionización del agua, de ahí que si no existe influencia de otros iones, el pH del medio sea neutro y su valor sea 7. Cuando esta cantidad varía debido a la captura de iones hidrógeno por algunos aniones presentes en el medio, el pH es mayor a 7 y si por el contrario si la cantidad varía por la captura de iones oxhidrilo por algunos cationes, el medio será ácido. El rango óptimo para el crecimiento de la gran mayoría de los cultivos es de 5.5 y 6.8 (Rodríguez y Rodríguez, 2002).

La relación carbono nitrógeno es usada frecuentemente como índice del origen de la materia orgánica, de su estabilidad y madurez. Una relación menor o igual a cuarenta se considera óptima para el cultivo en cualquier tipo de sustrato, ya que indica que el material orgánico se encuentra estable y maduro; por lo tanto, tiene la capacidad de albergar en su interior el sistema radical de una planta con buenos resultados (Cenobio, 2006).

Los nutrimentos en los sustratos de origen mineral no se descomponen ni química ni biológicamente, y desde ese punto de vista se puede decir que estos sustratos no aportan nutrimentos esenciales para favorecer desarrollo de las plantas “Como experiencia personal se puede comentar que una mezcla de arena y granzón (1 kg en un recipiente de poliestireno) se utilizó para albergar una plántula de fresa. El trasplante se aplicó el 2 de marzo y hasta el 14 de agosto le fue administrada solo agua; se observó el tamaño de las hojas pequeñas en comparación con plántulas fertirrigadas y mientras que estas ya produjeron plantas hijas, la primera solo había logrado subsistir; sin embargo, no se aprecian síntomas de deficiencia severos” (Rodríguez, 2000).

“En los sustratos minerales se pueden determinar los nutrimentos asimilables en la disolución del sustrato con el fin de planear la fertirrigación correcta y después comparar la disolución nutritiva del riego con la del sustrato y se complementa la información con análisis foliares” (Cenobio, 2006).

La salinidad es la cantidad de sales solubles presentes en la disolución del sustrato. La salinidad puede incrementarse a niveles no adecuados cuando las sales disueltas en el agua de riego o en la solución de fertirrigación superan las necesidades de absorción de la planta y a las pérdidas por lixiviación. En los cultivos hidropónicos, además de la fertirrigación, se utilizan los riegos de agua sola para evitar la acumulación de sales, tan frecuentes en el cultivo tradicional cuando es fertilizado en exceso (Cenobio, 2006).

Para que un sustrato sea considerado como bueno debe cumplir con ciertas características entre las cuales destacan: proveer de nutrimentos en cantidades y formas necesarias, proporcionar un buen soporte para las raíces de las plantas, estar libres de fitopatógenos, tener una buena porosidad, entre otros.

1.6. Elementos a evaluar en el sustrato

1.6.1. Nitrógeno (N)

Este elemento es demandado en grandes cantidades por las plantas y es, uno de los que limita su crecimiento. Es absorbido primordialmente por las raíces. Es necesario en la síntesis de aminoácidos, proteínas, clorofila, entre otros componentes que se encuentran en las membranas celulares. Su función principal es incitar el crecimiento y regular la cantidad de hormonas en la planta (Garnica *et al.*, 2009).

1.6.2. Fósforo (P)

Es asimilado en forma de fosfatos inorgánicos; se localiza en los fosfolípidos de las membranas de las células, en los ácidos nucleicos, en el ATP y otras enzimas. Participa en la síntesis de proteínas y en todos los procesos metabólicos de transferencia de energía (Alcantar y Trejo, 2007).

1.6.3. Potasio (K)

Es el elemento que las plantas absorben en mayor cantidad, participa en el equilibrio iónico y en la regulación osmótica. Este elemento es indispensable en la fotosíntesis y en la activación de más de 50 sistemas enzimáticos del metabolismo de carbohidratos y proteínas (Szczërba *et al.*, 2009).

1.6.4. Calcio (Ca)

Las necesidades por las plantas de este elemento son bajas en comparación con el potasio. Es un elemento importante en la división celular, en la estabilidad de la membrana y la pared celular, participa notablemente en el equilibrio electrostático. Este elemento activa la elongación y multiplicación celular de los tejidos meristemáticos; el calcio desempeña sobretodo funciones estructurales (Marchner, 2002).

1.6.5. Magnesio (Mg)

Es acumulado en la planta en menores cantidades que el calcio y potasio, pero similares a las de fósforo. Participa en forma significativa en la regulación del pH celular y en la regulación anión-cación. Su principal función es constituir la molécula de clorofila (Alcantar y Trejo, 2007).

Dentro de los sustratos orgánicos sobresale el compost y vermicompost, debido a que sus procesos de elaboración transforman restos orgánicos en un producto relativamente estable, siendo ventajas de los sustratos orgánicos el no contaminar y satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos, reduciendo significativamente las aplicaciones de fertilizantes sintéticos (Cruz *et al.*, 2009).

Existe una gran diversidad de materiales que se pueden emplear para cumplir estas funciones, bien en forma pura o en mezcla, en la preparación de los sustratos de cultivo para las plantas (Bunt, 1988; Handreck y Black, 1993; Abad, 1995; Abad y Noguera, 1998).

1.6.6. Cobre (Cu)

El cobre es un activador de ciertas enzimas y forma parte del proceso de formación de clorofila, además ayuda en el metabolismo de las raíces y ayuda a que las plantas utilicen mejor las proteínas (Pilarte, 2010).

La carencia de cobre es más difícil de diagnosticar. En hojas jóvenes se aprecian manchas cloróticas (amarillas) poco específicas, la tonalidad verde azul de las hojas constituye el principal síntoma de su carencia, aunque en los cítricos se manifiesta por manchas y resquebrajado de corteza de frutos. Esta deficiencia puede provocar una necrosis del ápice de las hojas jóvenes que progresa a lo largo del margen de la hoja, pudiendo quedar los bordes enrollados (Pilarte, 2010).

1.6.7. Zinc (Zn)

Es un elemento muy importante en el crecimiento de las plantas, ya que sin la presencia de éste elemento las ramas no se alargarían, puesto que forma parte importante en la producción de hormonas del crecimiento, además de participar en la acción enzimática, así como en los procesos de respiración y fermentación. También interviene en la síntesis y conservación de auxinas, hormonas vegetales involucradas en el crecimiento (Pilarte, 2010).

La sintomatología que presentan las plantas por deficiencias de Zn son: entrenudos cortados en los brotes, formando rosetas de hojas amarillentas, pequeñas y estrechas, las hojas viejas aparecen bronceadas y se caen fácilmente (Pilarte, 2010).

1.6.8. Manganeso (Mn)

Es un elemento importante en el desarrollo de las plantas ya que éste participa en numerosos sistemas enzimáticos de óxido-reducción, además de participar en la fotosíntesis, formando parte de la magno-proteína responsable de la fotólisis del agua y producción de O₂, interviene en la síntesis de proteínas, ya que participa en la asimilación del amonio (NH₄⁺). Regula el metabolismo de los ácidos grasos y fomenta la formación de raíces laterales (Pilarte, 2010).

Los síntomas que presentan las plantas por éste elemento son hojas jóvenes amarillas entre los nervios que permanecen verdes. Se puede diferenciar porque en éste caso aparece una aureola verde alrededor de los nervios (Pilarte, 2010).

1.6.9. Hierro (Fe)

Es un elemento que funciona como componente estructural y como cofactor enzimático, forma parte estructural de los citocromos, citocromo oxidasa, catalasa, peroxidasa y ferredoxina, se encuentra tanto en sistemas respiratorios como fotosintetizadores. Cuando se suministra Fe en diferentes concentraciones, se observa una buena correlación entre contenido de Fe y el contenido de clorofila (Pilarte, 2010).

La sintomatología que se presenta en la planta se muestra primero en las hojas jóvenes, amarillamiento en la hoja, excepto los nervios que permanecen verdes (Pilarte, 2010).

1.7. Materiales que componen el sustrato en estudio

1.7.1. Estiércol vacuno

La composición del estiércol puede ser muy variable, ya que ésta depende de diversos factores tales como la especie, edad y alimentación del ganado, así como el uso de las camas, la inclusión o exclusión del excremento líquido y la magnitud de los procesos de descomposición y lavado que haya tenido el lugar de su almacenaje (Salazar *et al.*, 2007).

El pH del estiércol es alcalino, registrando un rango de 7 a 9.9; con conductividad eléctrica alta entre 6.6 y 8.8 dS m⁻¹, un alto contenido de materia orgánica y carbono (8 y 28% en promedio respectivamente); es rico en N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Na y Al; los contenidos promedio de estos elementos son: 240, 6.8, 6.91, 10, 8.33, 1.5, 50, 12.57, 21, 2.4, 2 y 3.3 g kg⁻¹ respectivamente (Suthar, 2008; Fuentes *et al.*, 2009).

1.7.2. Polvo de fibra de coco (PFC)

Es un subproducto de la industria del coco; del cual resultan varios subproductos del desfibrado de tal fruto, destacando las fibras largas, cortas y el polvo o tejido medular. El primero de estos es utilizado en actividades manufactureras, las fibras cortas, son utilizadas como sustrato orgánico para cultivo sin suelo de plantas. La mezcla de las fibras cortas y el polvo presentan buenos resultados para el cultivo de hortalizas, con la posibilidad de sustituir a la turba *Sphagnum* (Martínez, 2004).

En varias investigaciones (Handreck, 1993; Meerow, 1994) se ha comprobado que el polvo de coco tiene características físicas, químicas y biológicas adecuadas para ser usado como medio de cultivo. Es un material usado como sustrato, que destaca por su buena capacidad de retención de agua, alto contenido de agua fácilmente

disponible, estabilidad como sustrato orgánico y bajo costo de adquisición en comparación con otros sustratos.

Sin embargo, la salinidad y variabilidad son dos de los principales problemas de éste sustrato, atribuidos al proceso de producción y a su origen. Ya que para la extracción de la fibra de coco requiere de un periodo prolongado de humedecimiento en agua salada. Se corta las cáscaras en varias secciones y se colocan en agua de mar durante un periodo de 5 a 9 meses para que la fibra se separe al golpear las cáscaras con mazos especiales. Consecutivamente la fibra es lavada y secada, es separada en fibras de 5 a 10 pulgadas de largo y están listas para la hilatura (García y Silicia, 1984).

El material proveniente del coco utilizado como sustrato hortícola no es la fibra de coco sino una mezcla de fibras cortas y polvo de coco (Zarate, 2006).

Noguera *et al.* (2000) estudiaron el efecto del remover el exceso de sales del PFC, someténdolo a lixiviación controlada con un agua con una CE de 1.7 dSm^{-1} . Al cultivar plantas de cempaxúchitl y cóleo en sustratos basados en PFC lavado y no lavado, obteniendo los mismos resultados en ambos tratamientos. Esto indica que el lavado del PFC no influye directamente en el crecimiento y desarrollo de estos cultivos.

El PFC está constituido entre un 35 y 54% de lignina, un 23 y 43% de celulosa y tan solo un 3 y 12% de hemicelulosa. Esta composición refleja que el producto es resistente a la descomposición microbiana, a diferencia de la turba Sphagnum, donde los niveles de lignina y celulosa son menores (Noguera *et al.*, 2000).

Ayala (1999), menciona que en las copreras de Tecomán, Colima, México, éste producto se está comercializando desde hace algunos años, con el nombre de Germinaza. A continuación se presentan algunas de sus propiedades tanto físicas como químicas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del polvo de la fibra de coco.

Propiedades	Germinaza original	Germinaza lavada
1. Físicas		
Densidad aparente	0.108	0.079
Porosidad total	81.300	78.000
Capacidad de retención de humedad	56.900	48.700
Capacidad de oxigenación	24.300	29.300
2. Químicas		
pH	5.7-6.3	6.5
Conductividad eléctrica CE (mmhos/cm)	10.1	0.7
Materia orgánica	88.2	96.1
Carbono total	51.2	55.8

Fuente: Caraveo (1994)

1.7.3. Cascarilla de arroz (CA)

La cascarilla de arroz es un material subproducto de la agroindustria que se ha utilizado para aumentar el número de poros en los sustratos para producción en vivero, pero no se ha tomado en cuenta el aporte que éste material puede hacer al carbono total de los sustratos una vez que se somete a un proceso de compostaje en mezcla con materiales ricos en nitrógeno (García *et al.*, 2001).

1.7.4. Cachaza de caña de azúcar (CCA)

La producción azucarera es una de las agroindustrias más importantes del país; sin embargo trae consigo un gran problema ecológico como es la alta generación de residuos durante el proceso de extracción; la cachaza es un residuo que no se reincorpora en el proceso, por lo regular es desechada, sin algún tipo de tratamiento, originando un problema de contaminación ambiental. No obstante existen propuestas para el manejo y aprovechamiento de éste subproducto, como son la generación de sustratos orgánicos para la producción de hortalizas (Berrospe *et al.*, 2012).

La CCA es un conjunto de espumas e impurezas que flotan en el jugo de la caña de azúcar cuando éste es expuesto al fuego (Arreola., *et al.* 2004).

La cachaza es el residuo en forma de torta que se elimina en el proceso de clarificación del jugo de caña. Durante la fabricación del azúcar crudo, la cachaza constituye el 17 por ciento de residuos por el uno por ciento de azúcar cristalizada. El efecto de la cachaza en las condiciones químicas del suelo: a) se observa un sensible incremento del pH en dos puntos aproximadamente. b) La materia orgánica varía de 3.56 por ciento en el suelo inicial a un promedio de 6.98 por ciento. c) El contenido de P aumenta significativamente de 14 ppm a los rangos entre 77-61 ppm durante el cultivo, y después de la cosecha su valor es cercano a 200 ppm. d) Los contenidos de K aumentan moderadamente, mientras que los valores de Ca y Mg se elevan significativamente (Cataño, 1993).

Éste residuo consta de dos fracciones: la fracción de fácil descomposición pero pobre en N y C; y la segunda concentrada en N pero mezclada con material orgánico recalcitrante. Por lo regular es rica en P, Ca y N pero pobre en K debido a la gran solubilidad de éste elemento, el cual se pierde en los jugos y separado en la melaza. La elevada concentración de N se debe al alto contenido de materia orgánica. El contenido de micro nutrientes se deriva principalmente de las partículas adheridas a la caña; también es fuente importante de Mg y Zn (Torres *et al.*, 2005)

Torres *et al.*, (2005); Torres *et al.*, (2007), muestran las características fisicoquímicas y nutrimentales de la CCA las cuales varían en función al proceso de producción industrial del azúcar y la zona geográfica (Cuadro 2)

Cuadro 2. Caracterización química de cachaza, según diferentes autores.

Parámetro	Rasul (2007)	Torres <i>et al.</i> (2005)	Meunchang <i>et al.</i> (2005)	Arreola <i>et al.</i> (2004)	Torres <i>et al.</i> , (2007)	Osoom <i>et al.</i> , (2009)
Humedad		72.60 %		75-80 %	72.60 %	
pH		8	7.7		8	7.98
CE (dSm ⁻¹)			0.8			
M. O.		30.34 %	48 %	46-70 %		
Cenizas			52 %			

C	13.3 %	17.60 %			17.60 %	
N	34mg g ⁻¹	1.22 %	1.80 %	2.29 %	1.22 %	1.77 %
P	12.3 mg	1.49 %	0.96 %	2.07 %	1.49 %	7.2 %
K	11.7 mg	0.21 %	0.39 %	0.56 %	0.21	0.6%
Ca	23.4 mg	0.06 %	7.10 %	5.63 %		0.02%
Mg	3.9 mg g ⁻¹		0.40 %	0.47 %		4.6 %
S	3.9 mg g ⁻¹					
SO ₄				0.68 %		
C/N	12.4	14.43	14	30	14.43	
C/P	34	11.81				
C/S	108					
Na		0.06 %		0.07 %		
Fe		2.30 %	803 ppm	0.25 %		
Cu		0.01 %	1.9 ppm			
Zn		0.09 %	51.0 ppm			
Mn		0.05 %	257 ppm			
B		0.01 %				
Si				13 %		
Cl				0.11 %		

Fuente: Berrospe (2010)

La CCA genera un calor intenso cercano a los 70 °C durante su proceso de compostaje, con olor de fuerte fermentación y toma mucho tiempo para su descomposición natural (Sangwan *et al.*, 2008).

1.7.5. Roca fosfórica (RF)

Se denomina como roca fosfórica a las unidades litológicas y compuestos químicos que presentan alta concentración de minerales fosfatados por procesos naturales, usualmente de la serie apatito-francolita, es también el producto obtenido de la extracción de una mina y del procesamiento subsiguiente de los minerales fosfatados (FAO, 2007).

Cerca del 80% – 90% de las RF producidas internacionalmente, se dedican a la elaboración de fertilizantes, en forma de portador simple o combinado con otros nutrimentos primarios como el N y el K (FAO, 1999).

Generalmente el contenido de P en la roca fosfórica se expresa en porcentaje de pentóxido de fósforo (P_2O_5), lo cual indica en cierta forma el grado de pureza del mineral. El contenido de P_2O_5 varía de 3 a 36% (Cantera, *et al.*, 2008).

1.7.6. Dolomita ($CaCO_3+MgCO_3$)

Es un carbonato doble de Ca y Mg, es más que una simple variante de caliza, contiene el 30.41% de CaO, 21.86% de MgO y el 47.73% de CO_2 , en su forma más pura (CGM, 2006).

Éste material es una fuente muy importante Mg y Ca, se usa como fertilizante indispensable al modificar el pH del suelo, logrando reducir el grado de acidez, mejorando e incrementando el rendimiento de los cultivos (CGM, 2006).

El mercado de la agricultura para la dolomita es el tercero más grande para el uso de éste producto. Para el uso como fertilizante debe contener como mínimo un 90% de $CaCO_3/MgCO_3$ combinado, así como un contenido de sílice que no exceda el 5%. Sin embargo la dolomita de grado bajo con 15 a 20% de MgO puede ser usada como acondicionador de suelos (CGM, 2006).

En el Cuadro 3 se muestran la diferentes variedades de dolomita según su composición mineral.

Cuadro 3. Variedades de dolomita

Nombre de la roca	Arcilla (%)	Calcita (%)	Dolomita (%)
Caliza	0-5	90-100	0-5
Caliza dolomítica	0-5	80-65	15-35
Dolomita calcítica	0-5	15-35	80-65
Dolomita	0-5	0-5	100-90

Fuente: Teodorovich, 1958.

1.7.7. Harina de pescado (HP)

La HP es una fuente de N P y Ca lentamente asimilables para las plantas.

La HP se produce de la captura de peces para los cuales existe poca o nula demanda para el consumo humano, además de integrar desechos de pescado, generados durante el procesamiento de pescado para la alimentación humana (Segura *et al.*, 2007).

Los peces utilizados para la elaboración de éste producto por lo general son pequeños, oleaginosos y huesudos y en gran parte no comestibles. La harina de pescado normalmente está compuesta por un 60 y 72% de proteína, un 5 y 12% de grasa, entre un 10 y 20% de ceniza. Por lo general el uso de la harina de pescado se utiliza en la producción acuícola y aún no se reportan trabajos aplicándola en la agricultura. (Segura *et al.*, 2007).

1.7.8. Levadura de cerveza (LC)

Son microorganismos que sintetizan sustancias antimicrobiales. Producen sustancias bioactivas, como hormonas, enzimas y sustratos útiles que favorecen la presencia de microorganismos eficaces como bacterias ácido lácticas y actinomicetos (Añasco, 2007).

La LC se utiliza para acelera el proceso de compostaje a una tercera parte del tiempo de proceso convencional. Además de eliminar microorganismos patógenos en el material compostado, esto por el efecto de las altas temperaturas generadas en los núcleos de las pilas, que alcanzan los 70°C. La mayoría de éste tipo de microorganismos perece entre los 40 y 50°C (FAO, 1983).

1.8. Producción orgánica

La agricultura orgánica (AO) es definida como un sistema holístico de producción que promueve y mejora la condición del agroecosistema, incluyendo la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo. Esto se logra utilizando métodos culturales, biológicos y mecánicos en oposición a materiales sintéticos para satisfacer cualquier función específica dentro del sistema (Codex, 1999).

Según la Codex (1999). Los sistemas de producción orgánica deben:

- ✓ Mejorar la diversidad biológica del sistema.
- ✓ Aumentar la actividad biológica del suelo (Cuando la producción se realiza a campo abierto).
- ✓ Reciclar desechos de origen animal o vegetal.
- ✓ Contar con recursos renovables en sistemas agrícolas localmente organizados.
- ✓ Manejar productos agrícolas en su procesamiento con el cuidado de no perder la integridad orgánica en el proceso.
- ✓ Dejar de aplicar cualquier tipo de agroquímicos por un periodo de tres a cinco años en suelos donde se pretende implementar éste tipo de producción.

Para Amador (2001), la AO no trata de sustituir el modelo productivo o los insumos de síntesis artificial por insumos naturales. Si no que es una opción integral de desarrollo capaz de consolidar la producción de alimentos saludables en mercados altamente competitivos y crecientes.

Sin embargo rescata las prácticas tradicionales de producción, pero no descarta los avances tecnológicos que son amigables con el medio ambiente y favorecen la producción orgánica. La AO es la conjunción de prácticas ancestrales, con la agricultura tradicional, vinculada a nueva tecnología (Soto *et al.*, 2003).

Los consumidores juegan un papel muy importante en el desarrollo y establecimiento de la AO en el mercado, ya que, estos por primera vez reconocen que a través de la selección de estos productos, pueden tener un efecto favorable sobre la salud del planeta (Soto *et al.*, 2003).

El estudio realizado por FIDA (2003) encontró que la adopción de la producción orgánica en diferentes países (México, Guatemala, El salvador, Argentina, entre otros) (Cuadro 4) logró aumentar los ingresos de los productores. Las encuestas realizadas arrojan que los productores han tenido efectos positivos sobre su salud, al igual que los jornaleros y el medio ambiente. También se enfatiza que el proceso de transición hacia la agricultura orgánica es un proceso complejo, en el cual es fundamental el apoyo técnico, la organización de los productores, los aspectos relacionados con la comercialización y el control de la calidad de los productos.

Cuadro 3. Organizaciones incluidas en la agricultura orgánica.

País	Cultivo	Organización	# de productores
México	Café	ISMAM	1300
	Miel de abeja	Calakmu, Ikabi	128
		Jabin, Chilan, Kabob'ob	65 156
Guatemala	Café	ADIPCO	166
		Chojsunil	49
		Quixabaj	155
El Salvador	Hortalizas	Los Planes las	32
		Alturas y el Pital	20
Costa rica	Banano y cacao	APPTA	1500

Fuente: Damiani, 2002

La AO representa un método alternativo de diversificación de la producción y en consecuencia, de diversificación de las fuentes de ingresos de los pequeños productores (FIDA, 2003).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Elaboración del sustrato

Para preparar el sustrato en estudio se emplearon residuos sólidos orgánicos industriales. Los materiales seleccionados para su elaboración fueron: Compost de Estiércol de Bovino (CEB) como fuente de N inmediatamente disponible y microorganismos benéficos que ayudan a la asimilación de los macro y micronutrientes, Cachaza de Caña de Azúcar (CCA) como fuente de K y P, Harina de Pescado (HP) como fuente de N lentamente liberado o degradable paulatinamente, Levadura de Cerveza (LC) para acelerar el proceso de compostaje del sustrato, Cascarilla de Arroz (CA) se utilizó para aumentar el espacio poroso del sustrato, Polvo de Fibra de Coco (PFC) para aumentar la Capacidad de Retención de Agua (CRA), Roca Fosfórica (RF) se utilizó como fuente de fósforo lentamente disponible y Dolomita (D) como fuente de Ca y Mg.

Para la obtención del CEB se obtuvo estiércol fresco de un establo regional y se composteó para lo cual, se humedeció al 60% de CRA, al subir la temperatura a más de 60°C se enfrió con traspaleos y se le agregó nuevamente agua hasta el nivel alcanzado; éste proceso se repitió hasta que la temperatura se estabilizó a 27°C, posteriormente se dejó madurar durante cuatro meses, aireándose frecuentemente con traspaleos. El CCA se obtuvo del ingenio azucarero de la comunidad de Tamazula, Jalisco, a partir de la cachaza de caña de azúcar considerada como desecho, la misma que se recogió ya composteada de un terreno particular.

La HP se adquirió en la ciudad de Cuitzeo Mich., a través de los pescadores locales quienes recolectan al pez entero cuando la laguna se seca, lo deshidratan y muelen para su comercialización.

La CA se consiguió en el molino de arroz de Gabriel Zamora, Mich.

La FC por se adquirió de la empresa Artifibras de la ciudad de Uruapan Mich en pacas de 30 kg.

La D, RF y LC se adquirieron en empresas forrajeras de la localidad de Jiquilpan, Mich.

Antes de realizar la mezcla de los materiales mencionados se remojó la fibra de coco durante 48 hr posteriormente se exprimió, esto para eliminar el exceso de sales que contiene. A continuación se procedió a obtener el sustrato base (SB) el cual consta de los siguientes materiales: CEB, CCA, HP y LC; el procedimiento para la preparación del SB se colocaron 48% de CEB, se agregaron 42% de CCA, 10% de HP y 0.3% de LC, esta última en relación al volumen total preparado. Estos materiales se mezclan hasta que quede una mezcla uniforme, a continuación, se humedece y se mezcla hasta que la humedad sea homogénea; ya que se tiene la mezcla de los materiales húmedos, se dejó reposar durante una semana, esto para que continúe el proceso de compostaje, durante el cual se alcanzan temperaturas hasta 70°C, debido a la actividad microbiana. Para enfriar esta mezcla se le dieron dos traspaleos diarios y se le agregó agua cuando fue necesario, hasta que dejó de calentarse. A continuación se realizó el arreglo factorial para definir el resto de los tratamientos que componen éste experimento; para lo cual se consideraron dos niveles SB (SB_{5L} y SB_{10L}, 5 y 10 litros, respectivamente), dos niveles de CA (CA_{2.5L}, CA_{5L}) (d), dos de PFC (PFC_{2.5L}, PFC_{5L}) (a) y un solo nivel para D (0.1L) (c) y RF (0.02L) (b) del cual resultaron los tratamientos que se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 4. . Diseño de tratamientos.

T1	SB _{10L} (Testigo)	T9	SB _{5L} +CA _{5L}
T2	SB _{5L} +PFC _{5L}	T10	SB _{5L} +PFC _{2.5L} +CA _{2.5L}
T3	SB _{10L} +RF _{0.02L}	T11	SB _{5L} +RF _{0.02L} +CA _{5L}
T4	SB _{5L} +PFC _{5L} +RF _{0.02L}	T12	SB _{5L} +PFC _{2.5L} +RF _{0.02L} +CA _{2.5L}
T5	SB _{10L} +D _{0.1L}	T13	SB _{5L} +D _{0.1L} +CA _{5L}
T6	SB _{5L} +PFC _{5L} +D _{0.1L}	T14	SB _{5L} +PFC _{2.5L} +D _{0.1L} +CA _{2.5L}
T7	SB _{10L} +RF _{0.02L} +D _{0.1L}	T15	SB _{5L} +RF _{0.02L} +D _{0.1L} +CA _{5L}
T8	SB _{5L} +PFC _{5L} +RF _{0.02L} +D _{0.1L}	T16	SB _{5L} +PFC _{2.5L} +Rf _{0.02L} +D _{0.1L} +CA _{2.5L}

En el invernadero se montó un experimento para lo cual se emplearon macetas de 12 L de capacidad, las cuales se llenaron con el sustrato y los tratamientos indicados en la parte superior, a continuación, se agregó agua hasta saturación, enseguida se trasplantaron plántulas de chile serrano (*Capsicum annum L.*), variedad Camino Real. Las plántulas fueron adquiridas en un invernadero certificado de la ciudad de Yurécuaro, Mich. Al inicio del cultivo los riegos se realizaron cada tercer día hasta capacidad de campo, conforme se fue desarrollando el cultivo, los riegos fueron diarios. El control de plagas y enfermedades se realizó biológicamente basándose en el manual práctico (Manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos hidropónicos en invernadero) publicado por la FAO (2002). Después de cosechado el chile, se trasplantaron plántulas de Brócoli (*Brassica oleracea L.*) y cuando se cosechó el brócoli, se trasplantaron Acelgas (*Beta vulgaris L.*), se desarrollaron en almácigos en el mismo invernadero, dándoles el mismo manejo que al chile.

La etapa de laboratorio se llevó a cabo en el laboratorio de suelos del CIIDIR-IPN Michoacán donde se realizó el análisis al sustrato y las plantas:

2.2. Propiedades físicas del sustrato

Material y equipo para preparar los porómetros Dilger (1998)

- ✓ 10 pedazos de tubo de PVC de 3" de diámetro y 15 cm de longitud.
- ✓ 20 tapas o taponos para cubrir los extremos del tubo.
- ✓ Pegamento para PVC.
- ✓ Taladro con broca de 5mm de diámetro.
- ✓ Espátula.
- ✓ Tela porosa (liencillo).
- ✓ Recipiente contenedor de agua.

Preparación de los porómetros

Para la determinación de las propiedades físicas del sustrato se elaboraron 10 porómetros (Dilger, 1998), que consisten en fracciones de tubo de PVC con un

diámetro de 3 pulgadas y 15 cm de longitud. En uno de los extremos se fijó una tapa del mismo material en la cual se perforaron 4 orificios de 5 mm de diámetro en forma equidistante a lo largo de su borde perimetral. En el otro extremo del tubo se colocó otra tapa pero sin fijar. Para la operación de estos porómetros se colocaron en forma vertical con la tapa perforada hacia el fondo (Pire y Pereira, 2003).

Modo de operación de los porómetros

En seguida, se colocaron cada una de las muestras de los diferentes tratamientos en estudio dentro de los porómetros hasta su máxima capacidad y se asentó la muestra después de dejar caer el porómetro en dos ocasiones a una altura aproximada a los 8 cm; en cada oportunidad, se rellenaba el porómetro con muestra adicional hasta el borde superior (Pire y Pereira, 2003).

Posteriormente los cilindros se colocaron en un recipiente con agua cuyo nivel alcanzaba el borde superior para forzar el humedecimiento de la muestra desde los orificios del fondo, permitiendo la salida del aire por la parte superior. Para uniformizar la humedad las muestras se dejaron en agua 24 hrs. Después de éste periodo las muestras se extrajeron del agua y se eliminaba el exceso de la muestra enrasándola con el borde del cilindro con la ayuda de una espátula. A continuación se sujetó un pedazo de tela porosa con una banda de goma (liga) para cubrir el extremo expuesto de la muestra (Pire y Pereira, 2003).

Cada cilindro se colocó de nuevo en agua, esta vez sumergiéndolo por completo, y extraído luego de 15 minutos, repitiendo esta operación dos veces para permitir la saturación de la muestra. Después de 30 minutos se colocaron tapones en los orificios del fondo y la muestra se extraía definitivamente del agua. Posteriormente se colocaron verticalmente sobre un recipiente y se quitaron los tapones y se midió el volumen de agua (V_a) que se drenó por un periodo de 10 minutos. A la muestra húmeda se tomó su peso (PH); después se colocó en una estufa para obtener el peso seco (PS). El procesamiento de cada muestra fue repetido en tres ocasiones simultáneamente (Pire y Pereira, 2003).

Para la determinación de las propiedades físicas se realizaron los siguientes cálculos:

$$\text{Porosidad total (PT) (\%)} = \frac{V_a + \frac{PH - PS}{P_a}}{V_c} \times 100$$

$$\text{Porosidad de aireación (PA) (\%)} = \frac{V_a}{V_c} \times 100$$

Capacidad de retención de agua (CRA) (%)

$$= \frac{PH - PS}{V_c} \times 100$$

$$\text{Densidad aparente (Da) (Mg/m}^3\text{)} = \frac{PS}{V_c}$$

$$\text{Densidad de partículas (DP) (Mg/m}^3\text{)} = \frac{Da}{1 - \frac{PT}{100}}$$

Donde:

Va= Volumen de drenado (cm³).

PH= Peso húmedo de la muestra (g).

PS= Peso seco de la muestra.

Pa= Peso específico del agua (1 g/cm³).

Vc= Volumen del tubo o cilindro (cm³).

Da= Densidad aparente.

PT= Porosidad total.

2.3. Propiedades químicas

pH

La muestra tamizada por 16 mm y húmeda, se mezcló y agitó con agua en una relación 1:5 y se midió con un medidor de pH.

Conductividad eléctrica (Extracto 1:5)

La muestra tamizada, se agitó con agua en una relación 1:5. La suspensión se centrifugó y en el extracto se midió la conductividad eléctrica.

Nitrógeno total (Digestión Kjeldahl, destilación de NH₃ y titulación)

Una alícuota de la muestra seca y molida, se digirió con ácido sulfúrico, ácido salicílico y una mezcla catalítica de sulfato de potasio, sulfato de cobre y dióxido de titanio. El digerido se alcalinizó y el NH₃ formado se destiló por arrastre de vapor, se atrapó en ácido bórico y se tituló con ácido (Sadzawka *et al.*, 2005).

La determinación de Fósforo

La determinación de éste elemento se realizó por el método descrito por Olsen *et al* (1954).

Determinación de CIC y Ca, Mg, Na y K

La determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico y las bases intercambiables se realizó según lo descrito por Peech (1945).

Determinación de Fe, Cu, Zn y Mn

La determinación de estos elementos se realizó por extracción con DTPA, según el método descrito por Lindsay y Norvell (1978).

2.4. Valoración Agronómica a los cultivos

Chile Serrano (*Capsicum annum*)

- Altura. Se midió semanalmente con una regla, tomándose desde la base de la planta hasta la última hoja (bandera).
- Diámetro del fruto. Se midió con un vernier en la parte central del fruto al final de la cosecha.
- Número de frutos. Se realizó de forma manual, al final de la cosecha.
- Peso fresco del fruto. Se realizó con una báscula digital, al final de la cosecha. Todo esto para determinar el rendimiento promedio del cultivo.

Brócoli (*Brassica oleracea L.*) y Acelga (*Beta vulgaris L.*)

- Altura de la planta. Se midió con una regla o varilla graduada, la altura de la planta desde la base hasta la última hoja (bandera) en su posición normal en pie, tomándose esta cada semana.
- Peso fresco. Éste se tomó con una balanza digital al final del periodo del cultivo.
- Peso seco. Las plantas se pusieron a secar en una estufa hasta peso constante y posteriormente se pesaron en una báscula digital. Esto para determinar el rendimiento de los cultivos.

El trabajo en invernadero se llevó a cabo en un invernadero particular en la comunidad de Emiliano Zapata, Villamar, Mich.

Las plántulas de chile serrano de la variedad camino real, fueron obtenidas en un invernadero certificado de la ciudad de Yurécuaro, Michoacán para obtener una buena calidad de las plantas y que estén libres de enfermedades.

Para el montaje del experimento en invernadero se emplearon macetas de 12 L de capacidad, las cuales se llenaron con el sustrato y los tratamientos indicados en la parte superior, a continuación se agregó agua hasta saturación, en seguida se trasplantaron las plántulas de chile serrano (*Capsicum annum L.*), variedad Camino Real. Al inicio del cultivo los riegos se realizaron cada tercer día hasta capacidad de

campo, conforme se fue desarrollando el cultivo, los riegos fueron diariamente. El control de plagas y enfermedades se realizó biológicamente basándose en el manual práctico (Manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos en invernadero) publicado por la FAO (2002). Las plántulas de Brócoli (*Brassica oleracea L.*) y acelgas (*Beta vulgaris L.*), fueron hechas en almácigos en el mismo invernadero, dándoles el mismo manejo que al chile serrano (*Capsicum annum L.*).

2.5. Análisis estadístico

A los datos se les practicó un análisis de varianza para un diseño completamente aleatorizado y una prueba de comparación de medias (Tukey al 0.05 de significancia) utilizando el paquete estadístico SAS 9.1 Institute Inc. No está en bibliografía.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas del sustrato

Según Pastor (1999) las propiedades físicas de un sustrato son de gran importancia para un buen desarrollo de la planta, ya que una vez establecido el cultivo en el contenedor resulta imposible modificar dichas propiedades. Esto hace que deban contemplarse inicialmente los parámetros físicos del sustrato en especial la relación CRA-PT. Condición responsable del éxito o fracaso de la utilización de un determinado material como sustrato de cultivo.

Las características físicas del sustrato con los diferentes tratamientos indican que son favorables para el desarrollo de la raíz, según Pastor (1999) y Díaz (2004) que marcan valores óptimos de PT superior a 85%, PA entre 10 y 30% y una CRA entre 55-70%, siendo T₁₆ el tratamiento que presenta mejores condiciones para el desarrollo radicular con una PT superior al límite mínimo establecido, PA y CRA dentro del rango marcado por estos autores, con los siguientes valores 88%, 23.97% y 64.15% respectivamente (Cuadro 6).

En el Cuadro 6 también podemos observar como los materiales utilizados influyen significativamente en las características físicas; ejemplo el T₂ que está compuesto por el SB y FC presenta mayor CRA (48.80%) y menor PT (63.42%), que el T₉ (SB+CA) con valores contrapuestos de CRA (39.76%) y PT (76.91%).

Cuadro 5. Propiedades físicas del sustrato.

Trat.	Da (g/cm ³)	DP (g/cm ³)	PT (%)	PA (%)	CRA (%)
T1	0.25	0.87	71.50	12.57	58.93
T2	0.30	0.81	63.42	14.62	48.80
T3	0.29	0.94	68.62	13.16	55.46
T4	0.19	0.82	76.76	9.06	67.70
T5	0.40	0.88	55.16	12.86	42.29

T6	0.31	0.83	62.89	14.62	48.27
T7	0.27	0.78	65.01	13.16	51.85
T8	0.35	0.77	54.79	5.56	49.24
T9	0.14	0.61	76.91	37.13	39.78
T10	0.20	0.74	72.45	24.12	48.33
T11	0.13	0.61	78.09	37.28	40.82
T12	0.19	0.73	73.72	25.14	48.58
T13	0.14	0.60	77.36	37.13	40.23
T14	0.21	0.71	70.43	21.93	48.50
T15	0.12	0.42	72.57	34.21	38.36
T16	0.14	1.18	88.12	23.97	64.15

Mientras que Salazar (2011), al estudiar un sustrato orgánico y utilizar los mismos materiales pero en diferentes proporciones reporta una mayor CRA con valores superiores al 100%, en tanto que Zarate (2006), también reporta valores superiores para PT y menores para la CRA en un estudio realizado al polvo de fibra de coco (91.48% y 56.5% respectivamente).

Comparando los resultados obtenidos con la turba (Peat moss) con un alto grado de descomposición (ya que es el sustrato con mayor importación a México) presenta una Da entre 0.16-22 g cm⁻³, PT con un rango de 87-91%, su CRA es de 71-85% y PA de 6-20% (Schmilewski, 2008); datos muy similares a los reportados en éste trabajo.

Vargas *et al.*, (2008) al estudiar el polvo de fibra de coco presentaron valores inferiores a los obtenidos en éste trabajo y por ende, inferiores a los rangos óptimos establecidos por los diferentes autores, siendo el tratamiento G (Fibra de coco procesada en Colima, Méx. proveniente de Sri Lanka con compresión 6:1, es decir el volumen original es reducido una sexta parte) el que presenta el valor menor de Da con 0.075 g cm⁻³ y el tratamiento E (Fibra de coco procesada y proveniente de Colima, Méx.) con un valor de 0.117 g cm⁻³.

Para la CRA Vargas *et al.*, (2008) reportaron valores óptimos según los establecidos por Abad *et al.*, (1993) siendo el tratamiento B (El proceso de desfibrado es húmedo, proveniente y procesado en Colima, Méx.) el único material que no alcanzó el rango mínimo establecido por mencionado autor, ya que solo alcanzó un 49.5% y superando el rango máximo el tratamiento E con un 81.2%.

pH

Las propiedades fisicoquímicas como el pH, CE, CIC en los sustratos caracterizan la transferencia de nutrimentos entre la materia sustrato y la solución del mismo, siendo los materiales orgánicos los que aportan especialmente a la química de los sustratos debido a la formación y presencia de sustancias húmicas, las cuales son el producto final más importante de la descomposición de la materia orgánica (MO) (Zarate, 2006).

En el Cuadro 7 se puede observar el comportamiento del pH donde se ve que es muy elevado al momento de trasplantar el primer cultivo y estadísticamente existen diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo conforme avanza el desarrollo de los cultivos, el pH baja considerablemente hasta llegar a los niveles óptimos señalados por Escudero (1993) quien dice que el pH óptimo para el cultivo de hortalizas en invernadero oscila entre 5.5 a 7.5.

Mientras que Zárate (2007) analizó la fibra de coco antes de implantar el cultivo de jitomate y encontró un pH ligeramente ácido con un valor de 5.75 y en arena de 6.2, después de que se colocó el cultivo del jitomate con fertirrigación encontró que el pH se elevó a 6.01 en la fibra de coco, mientras que en la arena el pH se redujo a 5.58.

A diferencia de Torres *et al.* (2010) quienes indican que el rango óptimo de pH de los sustratos para los cultivos bajo invernadero es de 5.4 a 6.2. Sin embargo mencionan que cada especie de plantas tiene un rango óptimo de pH. Mientras que Zarate, (2006) considera el rango óptimo de pH de 5.0 a 6.5 (en extracto de saturación).

Sin embargo Salazar (2011) en un sustrato orgánico con materiales similares reportó valores de pH inferiores a los encontrados al inicio del sustrato, pero muy similares a los encontrados al ICB. A diferencia de Venegas y Velázquez (2011) quienes trabajaron con materiales similares reportaron un pH alcalino (8.2) similar a los encontrados en éste trabajo al inicio del primer cultivo.

Al inicio del primer cultivo el pH de los diferentes tratamientos es demasiado alto para el desarrollo de muchos cultivos que tienen limitantes relacionadas principalmente con la disponibilidad de micronutrientes como el hierro, zinc y manganeso (Venegas, 2010). A pesar del pH elevado de los tratamientos las plantas de chile serrano (*Capsicum annum*) no mostraron ninguna sintomatología visual por deficiencia de los elementos antes mencionados. Esto debido a que el contenido disponible de estos elementos es el suficiente para la nutrición de las plantas.

Salinidad (CE)

Según Bunt (1988) y Lemaire *et al.*, (1997) la CE se refiere a la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato; existen diversas causas que pueden incrementar su salinidad en el contenedor, una de estas es la presencia de fertilizantes insolubles al igual que cuando el sustrato presenta una alta CIC y al mismo tiempo se descompone al paso del tiempo liberando nutrientes.

La sintomatología por efecto de la salinidad en cultivos sobre sustratos es similar a los producidos en cultivos en suelo. La diferencia radica en el volumen de enraizamiento de la planta, lo cual significa que las raíces en los sustratos acumulan menos cantidad de sal que los cultivos en el suelo. Esto debido a que el volumen de la raíz es mucho menor en el contenedor o maceta que en el suelo; otro de estos factores es la facilidad de lixiviación de las sales en el sustrato (Sonneveld *et al.*, 2000).

Cuando los valores de CE son mayores a los óptimos, disminuyen tanto el crecimiento como el rendimiento de los cultivos. En algunos casos se han encontrado

reducciones de un 5-10% por cada valor de CE superior al valor umbral de salinidad (Sonneveld *et al.*, 2000).

Según Ansorena. (1994), citado por Salazar (2011) la CE óptima para la producción de hortalizas en sustrato es de 0.76 a 2.6 dS m⁻¹. A diferencia de Díaz (2004) que marca que la CE ideal para los sustratos no debe sobrepasar los 2.0 dS m⁻¹.

Según el rendimiento observado en el Cuadro 11 comparándolo con los valores de CE del Cuadro 7, el tratamiento que tuvo mayor rendimiento fue el T₁₆ mismo que tuvo la CE menor, por ende se observa que los tratamientos T₃ y T₁ fueron los de menor rendimiento y los que obtuvieron CE mayor. Por lo que se puede decir que la salinidad del sustrato influyó significativamente en la producción del cultivo de chile serrano (*Capsicum annum*) pero no así en el rendimiento del Brócoli, debido a que los valores de CE y pH al inicio del cultivo del brócoli están dentro de los rangos establecidos por los autores ya mencionados.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Según Burés (1997) la CIC es la capacidad de que tiene el sustrato para adsorber e intercambiar iones.

Abad *et al.*, 1993; Cánovas, 1993 indican que un buen sustrato orgánico debe tener una CIC superior a 20 me 100g⁻¹. A diferencia de Puustjarvi (1994) que menciona que los materiales orgánicos poseen una elevada CIC, lo que supone un depósito de reserva para los nutrimentos.

Al considerar la referencia anterior todos los tratamientos son superiores a los establecidos por estos mismos. Sin embargo la CIC obtenida es menor a lo reportado por Salazar (2011) quien obtuvo valores superiores a los 50 me 100g⁻¹, sin embargo la turba presenta valores superiores a los 90 me 100g⁻¹ (Zarate, 2006). Aunque Burés (1997) reporta que las turbas tienen valores de 115 me 100g⁻¹.

Los niveles reportados por de la Cruz *et al.*, (2009) de CIC son inferiores a los presentados en éste trabajo siendo 39.07 me 100g⁻¹ el nivel más alto para el

tratamiento VEPT (Vermicompost elaborada con estiércol de bovino, pasto bahía y tierra negra), mientras que el nivel inferior es de 20.30 me 100g⁻¹ para CEPT (Compost de estiércol de bovino, pasto bahía y tierra negra) y CEMT (Compost de estiércol de bovino, rastrojo de maíz y tierra) (Cuadro 7).

Los niveles reportados por Olivo y Buduba (2006) para peat moss son de 48.9 me 100g⁻¹ niveles similares a los encontrados en el sustrato en estudio. Los niveles de CIC en los materiales orgánicos que pasan por un proceso de vermicompostaje o compostaje aumentan considerablemente (Berrospe, 2010). Proceso por el cual pasa el sustrato en estudio.

El incremento de la CIC en el sustrato se debe al proceso de humificación por el cual está pasando este mismo, a mayor cantidad de ácidos húmicos mayor es la CIC (Venegas, 2011).

Cuadro 6. Comportamiento de pH, CE y CIC en el sustrato*.

Trat.	pH			CE (dS m ⁻¹)			CIC (me 100g ⁻¹)		
	ICC	ICB	ICA	ICC	ICB	ICA	ICC	ICB	ICA
T1	9.01 a	8.60 a	8.05 a	3.75 a	1.47 b	0.62 a	37.32 g	45.75 c	51.57 b
T2	8.15 g	7.10 f	6.75 f	3.37 b	2.30 a	0.58 a	58.97 a	52.40 a	56.78 a
T3	8.83 a	7.90 c	7.25 c	3.69 a	1.16 d	0.45 c	50.75 b	38.15 h	44.45 e
T4	8.15 g	7.50 e	7.10 d	2.56 f	1.27 c	0.62 a	42.37 c	46.45 c	44.41 e
T5	8.66 b	7.90 c	7.20 c	3.20 c	0.94 e	0.48 b	40.37 e	42.55 e	41.46 g
T6	8.33 e	7.60 e	7.20 c	2.55 f	1.58 b	0.63 a	44.65 c	49.25 b	46.95 c
T7	8.77 b	7.97 b	7.40 b	3.12 c	1.12 d	0.49 b	44.50 c	42.30 e	43.40 f
T8	8.26 f	7.50 e	6.75 f	3.17 c	1.66 b	0.59 a	41.57 d	43.60 d	42.58 f
T9	8.61 b	7.90 c	7.40 b	2.76 d	0.79 f	0.35 d	32.57 h	38.35 h	43.52 e
T10	8.14 g	7.70 d	7.05 e	2.78 d	0.79 f	0.41 c	50.40 b	40.80 f	45.86 d
T11	8.50 c	7.90 c	7.15 c	2.81 d	0.74 f	0.43 c	29.00 i	39.85 g	40.27 i
T12	8.41 d	7.67 d	7.10 d	2.77 d	0.82 f	0.44 c	37.60 f	44.55 c	41.07 h
T13	8.53 c	7.97 b	7.40 b	2.39 h	0.75 f	0.39 c	24.27 j	39.60 g	31.93 k
T14	8.47 c	7.70 d	7.05 e	2.54 f	0.81 f	0.39 c	44.05 c	38.90 g	41.47 g

T15	8.11 g	7.90 c	7.60 b	2.64 e	0.54 g	0.41 c	27.20 i	33.00 i	35.67 j
T16	8.08 h	7.77 d	7.45 b	2.41 g	0.71 f	0.46 c	34.00 h	45.80 c	49.14 c
Todos los tratamiento con la misma letra estadísticamente son iguales									

* Comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$)

ICC= Inicio del Cultivo del Chile

ICB= Inicio del Cultivo del Brócoli

ICA= Inicio del Cultivo de la Acelga

Nitrógeno

El comportamiento del N se presenta en el Cuadro 8 en donde se muestra que al ICC existen diferencias estadísticamente significativas, siendo el T₂ el tratamiento que presenta el nivel más alto de N y el T₃ el nivel más bajo, 1.34 y 0.62% respectivamente. Mientras que al ICB no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, siendo T₁ y T₆ los tratamientos con el mayor contenido de N con 1.25%.

Sin embargo se observa que la liberación de éste elemento es de forma gradual y constante en todos los tratamientos por ejemplo el T₁ al ICC presentó 0.80% de N total, sin embargo el nivel aumento al ICB con un valor de 1.25% N y para el inicio del tercer cultivo el nivel de N se incrementa nuevamente a 1.43% N. Éste comparándolo con el T₁₆ que muestra una ligera disminución con respecto al ICC 1.16% N y al ICA 1.06% N; valores similares a los reportados por Salazar (2011). El T1 presenta un valor más alto de N total que el T16 esto debido a que este último presenta mayor producción y por ende mayor demanda de este elemento, lo cual quiere decir a mayor producción mayor es la demanda de N.

Según Berrospe, (2010); Dede *et al.*, (2006); Chávez *et al.*, (2008) los niveles de N en la turba son similares a los reportados en el presente trabajo. Sin embargo en el caso de la cachaza utilizada en forma pura como sustrato reporta diversos datos, encontrando concentraciones hasta de 3.2% de N (Goyal *et al.*, 2005; Elsayed *et al.*, 2008; Venegas *et al.*, 2005)

De la Cruz *et al.*, 2009 reportaron niveles similares a los encontrados en el presente trabajo para el tratamiento CEMZT (Compost elaborada con estiércol rastrojo de

maíz, zacate de elefante y tierra negra) con un valor de 1.26% y niveles inferiores para los demás tratamientos siendo CEPT con un valor de 0.35% de N.

Se han obtenido niveles de N más elevados que los obtenidos en éste trabajo, en un sustrato compuesto por una mezcla de arena más vermicompost (1:1 v:v) más quelatos con 2.65%, obteniendo el valor menor en su tratamiento compuesto por una mezcla de arena más vermicompost en partes iguales (Rodríguez *et al.*, 2007).

Berrospe, (2010) reportó un contenido de N en su tratamiento T1 (Mezcla de 60L de Cachaza fresca, 30L lavados con agua (1:5v/v cachaza:agua)) con un valor superior de 2.42%.

Lo cual indica que la liberación gradual de N por el sustrato es la adecuada para la nutrición de las plantas.

Fósforo (P)

En el Cuadro 8 se presentan los valores del fósforo donde se muestra que al ICC existen diferencias estadísticamente significativas, sin embargo las diferencias se reducen al ICB al igual que el contenido de fósforo en el sustrato, al ICA los análisis estadísticos marcan nuevamente diferencias entre los diferentes tratamientos, al mismo tiempo que los niveles de fósforo se elevan considerablemente.

Los contenidos de fósforo son muy elevados en todos los tratamientos (ver Cuadro 8), y en algún momento éste puede interactuar K, Ca, Mg y Fe, inhibiendo la disponibilidad de estos elementos (Venegas, 2010). Ya que la NCSU§ (2004) (§ North Carolina State University) enmarca que el nivel óptimo en los contenidos de fósforo es ≥ 1.3 ppm.

Los valores reportados por Salazar (2011) son valores similares a los obtenidos en éste trabajo siendo el valor más alto 1160 ppm el reportado por éste autor; en tanto que Venegas (2010) reporta valores menores (540 ppm) trabajando con un sustrato orgánico utilizando los mismos materiales pero en diferentes proporciones.

Sin embargo García *et al.*, (2001) realizaron estudios sobre la cachaza de caña de azúcar reportando valores de fósforo muy inferiores a los encontrados en el presente estudio, valores muy cercanos a los 45 ppm. Zarate (2007) en un estudio realizado en fibra de coco reportó valores inferiores aproximados a los 135 ppm.

Se puede observar en el Cuadro 8 que en los diferentes tratamientos al ICC encontramos valores elevados de fósforo más sin embargo al ICB los niveles se redujeron aproximadamente un 50% y al ICA los niveles de fósforo aumentaron, incluso se reportaron niveles superiores que los encontrados al inicio del experimento, esto se debe al papel que juega el pH en la disponibilidad de los elementos, donde al inicio del cultivo de acelga el pH es cercano a la neutralidad.

Potasio (K)

En relación con el K el tratamiento que tuvo el más alto nivel al inicio del cultivo de chile serrano (*Capsicum annum*) fue el T₃ con 49.1; sin embargo al inicio del tercer cultivo el tratamiento que presentó el nivel más alto de K fue el T₆ con 12.3 ppm.

Valores muy inferiores a los establecidos por Warncke (1990) que dice que los niveles óptimos de K en un sustrato orgánico deben estar en un rango entre 156-235 ppm. A diferencia de la NCSU (2004) que nos indica que estos niveles van desde las 21 ppm.

Sin embargo se puede observar en el Cuadro 8 que se presenta una baja muy significativa en los niveles de K, esto debido a que los altos niveles de fósforo inhiben la disponibilidad de este elemento (Venegas, 2010).

En el Cuadro 8 se puede observar que conforme aumenta el nivel de fósforo, el de K disponible para la planta disminuye. Sin embargo en los cultivos establecidos en el sustrato no han presentado deficiencias visuales por éste elemento.

Comparando los resultados reportados por Salazar (2011) y Venegas (2010) los valores obtenidos de K en éste trabajo son inferiores a los valores reportados por ellos. Tanto que Rodríguez *et al.*, (2010) reportaron valores muy elevados de éste

elemento de 1162.1 ppm en un sustrato de cultivo a base de musgo esofágico, mientras que en bagazo de maguey precompostado reportó niveles de K de 954.55 ppm niveles muy superiores a los óptimos establecidos por los autores ya mencionados.

En un estudio realizado en bagazo de agave tequilero se reportan niveles muy altos de éste elemento (K), siendo vtm (Turba importada de Canadá) el que reportó el nivel más alto con 1162.1 ppm y el menor con 454.38 ppm que corresponde al tratamiento bf (Bagazo de agave puro, lavado con agua para eliminar azúcares) (Rodríguez *et al.*, 2010) Sin embargo Quesada y Méndez (2005a) reportaron un nivel máximo de 5.3 ppm en turba.

Cuadro 7. Comportamiento de N, P y K durante tres ciclos de cultivo en el sustrato*.

Trat.	N (%)			P (ppm)			K (ppm)		
	ICC	ICB	ICA	ICC	ICB	ICA	ICC	ICB	ICA
T1	0.80 e	1.25	1.43 a	1038 f	488 ab	2666 c	41.88 d	27.1 a	8.19 b
T2	1.34 a	1.20	1.49 a	813 k	660 a	1812 g	42.99 c	13.80 c	2.01 h
T3	0.62 f	1.18	1.31 a	1132 e	523 ab	2429 d	49.10 a	15.85 b	5.08 e
T4	1.25 b	1.15	1.39 a	1043 f	490 ab	1582 h	40.90 d	10.2 f	4.09 f
T5	1.26 b	1.18	1.32 a	2205 a	554 ab	2876 c	47.08 ab	13.80 c	8.19 b
T6	1.15 c	1.25	1.32 a	877 j	582 ab	2173 e	38.89 e	13.30 d	12.29 a
T7	1.19 c	1.22	1.33 a	1043 f	589 ab	3323 b	45.01 b	16.35 b	7.19 c
T8	0.84 e	1.18	1.26 a	1628 d	523 ab	1615 h	38.89 e	13.30 d	3.09 g
T9	1.23 b	1.13	1.00 d	1005 g	475 ab	3631 b	41.91 d	10.8 e	3.09 g
T10	1.26 b	1.10	1.16 b	973 h	486 ab	2338 d	41.91 d	9.8 f	1.00 i
T11	1.20 b	1.08	0.95 d	1941b	516 ab	5562 a	32.71 f	9.2 f	3.09 g
T12	1.15 c	1.12	1.08 c	973 h	466 b	2088 f	33.78 f	8.2 g	3.09 g
T13	1.07 d	1.05	1.02 d	1907 c	503 ab	2521 d	29.69 g	6.2 h	2.01 h
T14	1.03 d	1.15	1.17 b	879 j	479 ab	2574 c	29.72 g	5.1 i	1.00 i
T15	1.03 d	1.10	1.09 c	894 i	480 ab	2397 d	24.58 h	9.2 f	4.09 f
T16	1.16 c	1.12	1.06 c	978 h	508 ab	2134 e	28.61 g	12.75 d	6.11 d
Todos los tratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales									

* Comparación de medias Tukey
($\alpha=0.05$)
ICC= Inicio del Cultivo del Chile
ICB= Inicio del Cultivo del Brócoli
ICA= Inicio del Cultivo de la Acelga

Calcio (Ca)

El comportamiento del Ca se presenta en el Cuadro 9 donde se observa que al ICC T₃ es el tratamiento que presenta mayor nivel de Ca disponible para la planta, con un valor de 38.90 me 100g⁻¹, sin embargo estadísticamente es igual a T₇, T₅, T₁ y T₁₂ que tienen valores de 37.40, 36.93, 35.90 y 35.90 me 100g⁻¹ respectivamente. Mientras que el resto de los tratamientos presentan diferencias estadísticamente significativas, siendo el T₁₁ el que presenta el valor más bajo con 29.90 me 100g⁻¹.

También se puede observar que el nivel de disponibilidad de Ca aumenta conforme avanza el desarrollo de los cultivos, por ejemplo el T₁ al ICC tiene un valor de 35.90 me 100g⁻¹, mientras que al ICB la disponibilidad del Ca aumenta a 36.92 me 100g⁻¹ y al ICA se eleva a 46.4 me 100g⁻¹, al igual que todos los tratamientos, es decir, la disponibilidad del Ca va en aumento.

Sin embargo Abad *et al.*, (1993) mencionan que los niveles óptimos de Ca en sustratos orgánicos deben ser mayores a 100 me 100g⁻¹, considerando éste nivel, los valores obtenidos en el presente trabajo son inferiores a los recomendados, aunque, en el proceso de desarrollo y fructificación de los tres cultivos implantados en el sustrato (Chile serrano (*Capsicum annum*), Brócoli (*Brassica oleracea*) y Acelga (*Beta vulgaris*)), no se observaron deficiencias de este elemento.

A pesar del nivel óptimo marcado por Abad *et al.*, (1993) se considera que los niveles encontrados en el presente estudio son los adecuados para la nutrición de los cultivos establecidos en el sustrato, ya que no se mostraron deficiencias sintomatológicas por éste elemento en ninguno de estos.

Zamora *et al.*, (2005) y Quesada y Méndez (2005a) reportaron niveles inferiores a 0.2 me 100g⁻¹ de Ca en peat moss, los cuales son menores a los encontrados en el presente estudio.

Según lo reportado en literatura se considera que la cachaza es rica en contenido de calcio (Meunchang *et al.*, 2005; Arreola *et al.*, 2004), confirmándolo con el estudio realizado en cachaza de caña por Berrospe (2010) quien encontró un nivel de Ca de 55.89 me 100g⁻¹. En este mismo trabajo se observó que el lavado y el vermicompostaje de la cachaza provocaron disminución en las concentraciones del Ca; también se encontró que al elaborar una mezcla de cachaza con estiércol y realizar un proceso de compostaje, la concentración de Ca disminuyó, sin embargo la concentración de Ca se mantiene al realizar un proceso de vermicompostaje de la misma mezcla.

Magnesio (Mg)

En el Cuadro 9 se muestra el comportamiento que presenta en Mg durante el desarrollo de los tres periodos de cultivo establecidos en el sustrato con sus diferentes tratamientos, donde podemos observar que los niveles son relativamente bajos. Existen diferencias significativas entre el T₇ y T₁₁ con 12.30 me 100g⁻¹ y 9.87 me 100g⁻¹ respectivamente.

Mientras que Abad *et al.*, (1993) indican que los valores óptimos deben ser superiores a 57.4 me 100g⁻¹ para sustratos orgánicos para producción de hortalizas en invernadero. Cabe mencionar que en los cultivos establecidos no se han presentado anomalías por éste elemento.

Para el ICB los niveles de disponibilidad de Mg aumentan, si tomamos en cuenta el rango mínimo establecido por Abad *et al.*, (1993) solo 5 tratamientos están por encima de ese nivel siendo T₄, T₂, T₁₆, T₆ y T₁₂, con 93.41, 75.30, 62.55, 54.73 y 54.73 me 100g⁻¹ respectivamente. Sin embargo, los niveles al ICA disminuyen, debido al incremento en los niveles de P, ya que éste elemento inhibe la absorción del Ca (Venegas, 2010).

Hierro (Fe)

El Fe en el presente estudio tiene un comportamiento inestable, en el cual se muestran diferencias altamente significativas en todos y en cada uno de los tres cultivos establecidos en el sustrato.

Como se puede ver el Cuadro 9 al ICC el tratamiento que tuvo mejores resultados con respecto a éste elemento es el T₂ con un valor de 345 ppm, y el tratamiento con menor cantidad de Fe disponible es T₅ con tan solo 63 ppm. Al ICB los niveles de Fe bajaron considerablemente, siendo el T₅ el tratamiento con el valor más alto con 30.3 ppm y el valor menor lo tuvo el T₈ con 19.2 ppm. Sin embargo para el ICA los niveles de Fe se incrementaron, esto debido a la baja de pH que se tuvo en todos los tratamientos como se puede ver en el Cuadro 7. Pese a que los niveles de Fe se incrementaron no se alcanzaron los niveles obtenidos al ICC, siendo el T₆ el tratamiento que tuvo mejor nivel de disponibilidad de éste elemento con 54.2 ppm y el T₈ el de menor disponibilidad con 25.2 ppm.

Cuadro 8. Comportamiento de Ca, Mg y Fe durante tres ciclos de cultivo en el sustrato *.

Trat.	Ca (me 100g ⁻¹)			Mg (me 100g ⁻¹)			Fe (ppm)		
	ICC	ICB	ICA	ICC	ICB	ICA	ICC	ICB	ICA
T1	35.90 a	36.92 b	46.4 e	9.90 d	19.75 i	17.29 e	171 j	28.5 a	41.8 c
T2	32.90 b	36.9 b	61.4 a	11.50 b	75.30 b	19.78 c	345 a	21.6 d	31.8 d
T3	38.90 a	39.42 a	53.4 b	11.50 b	36.21 f	19.78 c	204 i	21.3 d	47.8 b
T4	32.90 b	37.67 a	50.9 b	11.50 b	93.41 a	21.40 a	234 h	23.7 b	27.6 e
T5	36.93 a	37.42 a	53.4 b	11.50 b	28.39 g	19.78 c	63 m	30.3 a	48.0 b
T6	33.90 b	33.68 d	48.9 d	11.50 b	54.73 d	20.59 b	255 f	25.5 a	28.8 e
T7	37.40 a	36.18 b	51.9 b	12.30 a	25.92 g	18.90 d	150 k	28.8 a	54.2 a
T8	31.90 d	33.43 d	42.4 f	11.50 b	39.92 e	21.40 a	285 d	19.2 e	25.2 f
T9	31.40 e	35.43 c	46.4 e	10.70 c	27.16 g	15.61 f	282 d	22.5 c	28.4 e
T10	33.90 b	36.2 b	51.4 b	11.52 b	39.50 e	20.59 b	69 l	24.7 a	36.8 c
T11	29.90 f	37.17 b	48.4 d	9.87 d	36.21 f	18.90 d	72 l	23.4 b	31.4 d
T12	35.90 a	37.67 a	45.9 e	11.50 b	54.73 d	19.78 c	297 c	27.6 a	32.4 d

T13	32.40 c	36.68 b	54.9 b	9.90 d	30.45 g	4.91 g	243 g	24.3 b	32.0 d
T14	32.93 b	37.42 a	38.4 g	10.70 c	44.03 e	15.58 f	330 b	25.8 a	36.2 c
T15	34.56 b	35.43 c	45.9 e	9.90 d	27.57 g	17.29 e	276 e	21.9 c	32.4 d
T16	33.90 b	36.43 b	49.4 c	10.70 c	62.55 c	19.78 c	240 g	26.1 a	36.0 d
Todos los tratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales									

* Comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$)

ICC= Inicio del Cultivo del Chile

ICB= Inicio del Cultivo del Brócoli

ICA= Inicio del Cultivo de la Acelga

Manganeso (Mn)

El análisis estadístico del Mn muestra que en todos los tratamientos existen diferencias estadísticas significativas al ICC siendo el T₃ el tratamiento con mayor disponibilidad de éste elemento con 171 ppm y T₁ y T₄ con la menor disponibilidad del Mn con 93 ppm (Cuadro 10).

En el Cuadro 10 se observa que hay una baja significativa en la disponibilidad del Manganeso al ICB. Los tratamientos T₁, T₄, T₂, T₁₀ y T₁₂ no muestran diferencias significativas entre ellos teniendo como valores 57, 57, 53, 51 y 51 ppm respectivamente, pero mostrando diferencias significativas con el resto de los tratamientos, siendo el T₃ el que presenta menor cantidad de Mn disponible para la planta.

Al ICA los niveles de disponibilidad del Mn aumentaron, debido a la baja del pH que presenta el sustrato conforme avanza el desarrollo de los cultivos, siendo el T₃ y T₁₀ los tratamientos con mayor cantidad de manganeso disponible con 106 y 97 ppm respectivamente, sin mostrar diferencias estadísticas significativas entre ellos, pero mostrando dichas diferencias con el resto de los tratamientos, El T₂ el que presentó menor cantidad de Mn disponible con 52 ppm.

A pesar de la baja de disponibilidad del Mn al ICB son suficientes para la nutrición de las plantas ya que los niveles óptimos mencionados por Abad *et al.*, (1993) deben ser

mayores a los 0.02 ppm, ya que las plantas para su desarrollo no ocupan cantidades elevadas de éste elemento.

Lo cual quiere decir que los niveles encontrados en el sustrato y en todos los tratamientos son ideales para la nutrición de las plantas.

Mientras que Callejas *et al.*, (2009) realizaron una caracterización química a diferentes sustratos entre los cuales estudio el S1 compuesto por tierra de hoja de encino + tezontle + turba+ agrolita (9:3:2:2: v/v) en el cual reportó un contenido de Mn de 19.33 ppm niveles inferiores a los reportados en éste sustrato y en los diferentes periodos de cultivo.

Cobre (Cu)

En el Cuadro 10 se muestra el comportamiento del Cu donde el tratamiento con mayor disponibilidad de éste elemento al ICC es el T₄ con 15.6 ppm y el tratamiento que presenta menor cantidad de éste valor es el T₁ con 5.7 ppm, al ICB se presenta una baja significativa en la disponibilidad de éste elemento siendo el T₁₂ el tratamiento que presenta mayor contenido de Cu y el T₂ el tratamiento con menor disponibilidad de cobre. Para el ICA el nivel de Cu disponible en el sustrato presenta un aumento en el cual el tratamiento con el valor mayor es el T₃ con un valor de 9.4 ppm.

Se observa en el Cuadro 10 que todos los tratamientos al ICC muestran diferencias estadísticamente significativas; al ICB se muestran diferencias estadísticas significativas, sin embargo los tratamientos que estadísticamente son iguales son T₂, T₁, T₈ y T₉ con 3.0, 3.5, 3.6 y 3.9 ppm respectivamente.

Zinc (Zn)

El análisis estadístico (Tukey $\alpha=0.05$) del comportamiento del Zn, muestra que los diferentes tratamientos influyeron significativamente sobre los niveles de disponibilidad de éste elemento, por ejemplo, el tratamiento T₈ tuvo el más alto nivel

con 34.5 ppm en tanto que T₁ presenta el valor más bajo con 8.7 ppm al ICC (Cuadro 11).

Para el ICB la disponibilidad del Zn presenta una baja, sin embargo los tratamientos no muestran diferencias estadísticas significativas, pero mostrando el valor más alto el tratamiento T₁₅ con 13.8 ppm y el menor valor lo presentó el tratamiento T₃ con 6.3 ppm.

Al ICA el nivel de disponibilidad del Zn se incrementa, mostrando diferencias estadísticamente significativas, teniendo los valores más altos los tratamientos T₂, T₈ y T₁ con 14.4, 14.2 y 14.0 ppm respectivamente y sin mostrar diferencias entre ellos. Presentando los valores más bajos el tratamiento T₉ con un valor de 9.8 ppm.

Cuadro 9. Comportamiento de Mn, Cu y Zn durante tres ciclos de cultivo en el sustrato*.

Trat.	Mn (ppm)			Cu (ppm)			Zn (ppm)		
	ICC	ICB	ICA	ICC	ICB	ICA	ICC	ICB	ICA
T1	93 l	57 a	80 b	5.7 i	3.5 d	7.2 c	8.7 j	10.8 ab	14.0 a
T2	132 h	53 a	52 g	11.1 e	3.0 d	8.0 b	26.7 d	9.9 ab	14.4 a
T3	171 a	33 c	106 a	14.4 b	3.3 d	9.4 a	29.7 c	6.3 b	13.0 b
T4	93 l	57 a	80 b	15.6 a	4.2 c	8.2 b	31.5 b	13.2a	13.2 b
T5	156 b	34 c	72 c	10.8 e	4.2 c	7.8 b c	18.0 g	9.6 ab	12.4 c
T6	117 j	45 b	80 b	9.3 g	4.8 d	7.2 c	18.5 g	12.6 a	12.0 c
T7	147 e	49 b	60 e	13.5 c	4.95 c	9.2 a	21.0 e	10.8 a b	12.4 c
T8	108 k	47 b	81 b	12.6 d	3.6 d	7.8 b c	34.5 a	10.8 a b	14.2 a
T9	150 d	49 b	61 d	9.3 g	3.9 d	7.6 b c	16.5 h	8.7 a b	9.8 f
T10	153 c	51 a	97 a	9.6 f	4.65 c	7.4 b c	18.0 g	9.0 a b	11.4 d
T11	147 e	48 b	57 f	11.07 e	4.65 c	7.6 b c	15.0 i	9.0 a b	10.4 e
T12	144 f	51 a	79 b	14.45 b	8.7 a	7.8 b c	31.5 b	11.1 a b	11.8 d
T13	138 g	46 b	61 d	8.77 h	5.55 b	6.4 d	16.5 h	8.7 a b	10.0 e
T14	132 h	36 c	81 b	9.9 f	4.05 c	7.2 c	27.0 d	8.4 a b	11.0 d
T15	126 i	46 b	80 b	13.5 c	6.75 ab	7.4 b c	19.5 f	13.8 a	10.4 e
T16	117 j	48 b	70 c	11.1 e	5.4 b	7.2 c	18.0 g	11.4 a b	10.6 e

Todos los tratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales
--

* Comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$)

ICC= Inicio del Cultivo del Chile

ICB= Inicio del Cultivo del Brócoli

ICA= Inicio del Cultivo de la Acelga

Valoración agronómica del chile (*Capsicum annum*)

El análisis estadístico (Tukey $\alpha=0.05$) del rendimiento del cultivo de chile serrano (*Capsicum annum*), muestra que los diferentes tratamientos influyeron significativamente sobre los rendimientos, por ejemplo, el tratamiento T₁₆ tuvo el más alto rendimiento con 945.50 g/planta en tanto que T₁ y T₃ rindieron 245.58 y 232.98 g/planta respectivamente, siendo estos los de menor rendimiento (Cuadro 11).

Cuadro 10. Rendimientos medios del chile serrano en g/planta.

Trat.	Rendimiento	Tukey ($\alpha=0.05$)
T ₁₆	945.50	a
T ₁₃	806.03	b
T ₈	793.08	b
T ₁₂	740.20	c
T ₁₄	708.80	c d
T ₁₅	671.83	d
T ₁₁	613.90	e
T ₄	474.68	f
T ₁₀	469.70	f
T ₆	446.68	f
T ₉	336.38	g
T ₂	353.90	g
T ₇	343.23	g
T ₅	338.20	g
T ₁	245.58	h
T ₃	232.98	h

Todos los tratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

Los rendimientos reportados por el INIFAP (2010) en cultivo a campo abierto y con sistema de fertirrigación son de 0.864 kg/planta, y fertirrigación + acolchado de 1 kg/planta.

Mientras que Márquez *et al.* (2008) en un estudio sobre la producción de tomate en invernadero reportaron una producción de 2894.5 g/planta en su tratamiento testigo compuesto por arena y fertirrigación, mientras que para 50% de vermicompost + 50% arena, así como 50% vermicompost + 50% de perlita reportaron rendimientos medios de 2285.5 g/planta. Niveles superiores reportados en éste trabajo en el que evaluamos chile serrano (*Capsicum annum*) como primer cultivo.

A diferencia de de la Cruz *et al.*, (2009) que en su tratamiento testigo (fertirriego) tuvieron un rendimiento de 1287.25 g/planta de tomate bajo producción en invernadero, el mejor resultado lo presentó en su tratamiento VEPT con un rendimiento de 1014.75 gr/planta. Estos valores son inferiores a los reportados por Márquez *et al.*, (2008) y superiores a los reportados en el presente trabajo.

Rodríguez *et al.*, (2007) en su estudio sobre la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum*) en invernadero, quien reportaron una producción de 6261.9 g/planta en un sustrato compuesto por arena + fertilizante inorgánico, siendo éste su tratamiento testigo. El mejor tratamiento fue el compuesto por una mezcla de arena-vermicompost (1:1 v:v) + quelatos con una producción de 5000 g/planta, siendo valores superiores a los obtenidos en el presente trabajo.

Valoración agronómica del brócoli (*Brassica oleracea*)

En la comparación estadística Tukey ($\alpha=0.05$) del rendimiento de la MS del cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea*) (Cuadro 12), se muestra que los diferentes tratamientos no influyeron significativamente sobre los rendimientos, El tratamiento T₈ tuvo el más alto rendimiento con 65.575 g/planta en tanto que T₁₁ rindió 38.150 g/planta, aunque estadísticamente son iguales como se muestra en el Cuadro 12.

De acuerdo con lo reportado por Venegas *et al.*, (2010) se encontraron rendimientos inferiores utilizando únicamente suelo fertilizado, que tuvo un rendimiento promedio de 20.948 g/planta de MS. A diferencia de Rincón *et al* (1999) que reportó un mayor rendimiento de MS total en plantas de brócoli en cultivo a campo abierto y con sistema de fertirriego (124g/planta de MS).

Cuadro 11. Rendimientos medios de MS en g/planta de brócoli

Trat.	Rendimiento	Tukey ($\alpha=0.05$)
T ₈	65.575	a
T ₁₆	64.375	a
T ₃	63.975	a
T ₆	63.400	a
T ₇	61.575	a b
T ₅	57.100	a b c
T ₂	56.400	a b c
T ₄	55.400	a b c
T ₁₀	52.850	a b c
T ₁₄	49.850	a b c
T ₁₂	46.425	a b c
T ₁₃	38.600	a b c
T ₁₁	38.150	a b c
T ₉	33.400	b c
T ₁	32.825	c
T ₁₅	31.350	c

Todos los tratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales

Valoración agronómica de la acelga (*Beta vulgaris*)

En el Cuadro 13 podemos observar el análisis estadístico del peso seco de la acelga (*Beta vulgaris*) donde nos indica que todos los tratamientos presentan diferencias significativas entre ellos, siendo el mejor tratamiento el T₁₄ con 3.09 gr de materia seca por hoja a diferencia de el T₉ que fue el que tuvo un menor rendimiento con 1.15 g/hoja de materia seca.

Mientras que Hoyos *et al.*, (2004) en estudios de dos secciones de Acelga (*Beta vulgaris*) con sistema de fertirrigación y acolchado, reportaron niveles inferiores de materia seca siendo 2.47 g/planta el valor más elevado para la sección Clause y el valor mínimo para esta misma variedad fue de 0.94 g/planta. Para la sección Ramiro Arnedo, reportaron el mejor rendimiento con un valor de 2.78 g/planta de materia seca, mientras que el valor más bajo fue de 1.36 g/planta de materia seca.

Comese *et al.*, (2009) en un suelo Argiudol típico de Argentina con diferentes tratamientos de fertilización orgánica y un testigo, reportó para éste último 708 g/planta de materia seca, mientras que el mejor resultado encontrado fue de 770 g/planta de materia seca para el tratamiento compuesto por una mezcla de compost-lombricompost (2 kg m⁻²) + Harina de hueso (0.150 kg m⁻²).

Cuadro 12. Rendimientos medios de MS en g/hoja de acelga.

Trat.	Rendimiento	Tukey ($\alpha=0.05$)
T ₁₄	3.09	a
T ₆	2.95	b
T ₁₀	2.77	c
T ₁₆	2.58	d
T ₃	2.52	d e
T ₈	2.48	e
T ₁	2.05	f
T ₁₁	1.97	g
T ₅	1.88	h
T ₁₅	1.85	h i
T ₄	1.83	h i

T₁₃	1.79	i
T₁₂	1.37	j
T₇	1.28	k
T₂	1.23	k
T₉	1.15	l
Todos los tratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales		

4. CONCLUSIONES

Las mejores propiedades físicas y químicas del SDPN son las del T₁₆ de acuerdo a los resultados que arrojaron los análisis previos realizados; por ende, el desarrollo de las raíces fue mejor que el resto de los tratamientos y aumentó el rendimiento con respecto a los otros.

Con respecto a las propiedades fisicoquímicas como son pH, CE y CIC el tratamiento T₂ es que resultó con mejores condiciones para el desarrollo de la planta según los resultados arrojados.

Tomando en cuenta el desarrollo de los cultivos establecidos en el sustrato, la degradación y liberación del sustrato son las óptimas para el desarrollo de las tres especies de hortalizas estudiadas, debido a que ninguno presentó algún tipo de deficiencia o anomalía por falta de algún elemento nutrimental. Sin embargo tomando en cuenta el rendimiento de la producción de los tres cultivos, existen diferencias significativas entre ellos, siendo el mejor tratamiento T₁₆ para la producción del chile serrano (*Capsicum annum*) con un rendimiento promedio de 945.50 g/planta. Mientras que para el cultivo del brócoli (*Brassica oleracea*) resultaron cuatro tratamientos sin diferencias estadísticas significativas siendo estos T₈, T₁₆, T₃ y T₆ con 65.575, 64.375, 63.975 y 63.400 g de materia seca por planta respectivamente. Para el cultivo de la acelga el mejor rendimiento lo obtuvo el T₁₄ con un rendimiento medio en materia seca de 3.09 g/planta.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos se considera que el mejor tratamiento es el T₁₆.

5. RECOMENDACIONES

Los niveles de fósforo en el sustrato son muy elevados, debido a que algunos materiales utilizados para la elaboración del sustrato son ricos en fósforo lentamente disponible, como por ejemplo: la roca fosfórica, cachaza de caña de azúcar y el estiércol de Bobino. Por lo cual se recomienda reducir las cantidades de estos elementos, ya que en algún momento los altos contenidos de fósforo pueden inhibir la disponibilidad de Ca, Mg, K, entre otros).

Es conveniente estudiar otra concentración de CA y FC para aumentar le CRA y tener un mejor anclaje de la planta, ya que por el alto contenido de CA el sustrato no retiene el agua suficiente y se tienen que realizar riegos con más frecuencia. Una mayor cantidad de FC, puede favorecer la retención de agua y brindar un mejor anclaje de las plantas.

Es recomendable realizar un estudio entre diferentes técnicas de análisis químicos a sustratos, para comprobar cual es la más eficiente.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abad, M. Martínez, M. Martínez, D. y J. Martínez. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. Acta de horticultura. 11: 141-154.
2. Abad, M. 1995. Sustratos para el cultivo sin suelo. El cultivo del tomate. F. Ediciones Mundi-prensa. 131-166 pp.
3. Abad, M. y P. Martínez. 1996. Los sustratos y los cultivos sin suelo en España. En: Memorias curso master internacional. Aprovechamiento de residuos orgánicos. Universidad Nacional de Colombia: 22-24.
4. Abad, M. y P. Noguera. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Mundi-prensa. 287-342 pp.
5. Abad, M. y P. Noguera. 2000. Los sustratos en los cultivo sin suelo. *In*: Manual de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu (ed). 2ª ed. Mundi-Prensa, Madrid, España pp. 137-185.
6. Abad, M. Noguera, P y C. Camón. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. Fertirrigación cultivos hortícolas y ornamentales. Mundi-prensa. 299-352.
7. Alcantar, G y L. Trejo. 2007. Nutrición de cultivos. Ed. Mundiprensa. México. 454 pp.
8. Amador, M. 2001. La situación de la producción orgánica en Centro América. Ponencia presentada en el Taller de Comercialización de Productos Orgánicos en Centro América. Abril, 2001. IICA.
9. Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-prensa. 172 pp.
10. Añasco, J. 2007. Proyecto de compostaje de desechos orgánicos. Universidad tecnológica equinoccial. Tesis de licenciatura. 70 pp.
11. Arreola, J. Palma, D. salgado, S. Camacho, W, Obrador, J. Juárez, J. y L. Pastrana. 2004. Evaluación de abono orgánico-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. Terra Latinoamericana. 22(3): 351-357.

12. Avidan, A. Zidan. O. y Y. Zachs. 2004. La producción de jitomate en suelos y en sustratos artificiales. Recomendaciones. X curso Internacional de Sistema de Riego. Dpartamento de irrigación Chapingo. México.
13. Ayala, A. 1999. Evaluación del polvo de coco como sustrato para la germinación y desarrollo inicial de plántulas de seis especies ornamentales. Tesis profesional. Universidad autónoma de Chapingo, México. 68 pp.
14. Banegas, V. Moreno, J. García, C. Leon, G. and T. Hernandez. 2007. Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust, WasteManagement, 27: 1317-1327.
15. Beniot, F. y N. Ceusternmans. (1990). The use of recycled polyurethane (PUR) as an ecological growing medium. Plasticulture, 88. 41-48.
16. Berrospe, E. 2010. Sustratos alternativos a base de cachaza para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) Tesis de Maestría, Colégio de Postgraduados, campus Montecillo. 139 pp.
17. Berrospe, E. Ordaz, V. Nieves, M. y R. Quintero. 2012. Cachaza como sustrato para la producción de plántula de tomate. Revista Chapingo Serie Horticultura. 18(1): 141-156.
18. Bunt, A. 1988. Media and Mixes for Container-Grown Plants. 2 ed. Unwin Hyman Ltd., London.
19. Burés, Silvia. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L.
20. Cabrera, R. 1995. Fundamentals of Container Media Management, Part. 1. Physical proprieties. Rutgers Cooperative Extension Factsheet No. 950. 4p.
21. Cabrera, R. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo Serie Horticultura. 5(1): 5-11.
22. Callejas, B. Castillo, A. Colinas, M. González, M. Pineda, J. y L. Valdez. 2009. Sustratos y hongos micorrízicos arbusculares en la producción de nochebuena. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 15(1): 57-66.
23. Cánovas. F. 1993. Principios básicos de la hidropónia. Aspectos comunes y diferenciales de los cultivos con y sin suelo. En: F. Cánovas y J. Díaz. Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. I.E.A/F.I.A.P.A., 29-42.

24. Cantera, V. Dario, E. Muñoz, F. Montoya, C. Herrera, J. y J. Loy. 2008. Selección de la mejor alternativa para la industrialización de la roca fosfórica en el departamento de Huila. En línea. Disponible en: http://www.huila.gov.co/documentos/E/estudio_roca_fosforica.pdf
25. Caraveo, F. 1994. Relaciones nutrimentales en el cultivo hidropónico de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) empleando el bonote de coco como sustrato. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, México.
26. Castillo, E. Quarin, H. e C. Iglesias. 2000. Caracterización química y física de composta de lombrices elaborado a partir de residuos orgánicos puros y combinados. Agricultura técnica (Chile). 60:74-79.
27. Cenobio, G. 2006. Producción de jitomate *Lycopersicum esculentum* Mill. cv en condiciones de invernadero y con fertirriego en Zaachila, Oaxaca. Tesis de maestría. CIIDIR-IPN-U. Oaxaca. 135pp.
28. Chavez, W. di Benedetto, A. Civeira, G. and R. Lavado. 2008. Alternative soilless media for growing Petunia x hybrid and Inpatients Wallerana: Physical behavior, effect of fertilization and nitrate losses. Bioresource Technology: 99: 8082-8087.
29. Codex alimentarius. 1999. Guidelines for the production, processing, labeling and marketing of organic produced products. GL-32 – 1999. Rev. 2001.
30. Comese, R. González, M. y M. Conti. 2009. Cambios en las propiedades de suelo de huerta y rendimiento de Beta vulgaris var. Cicla (L) por el uso de enmiendas orgánicas. Cl. Suelo. 27(2): 271-275.
31. Coordinación General de Minería (CGM) y Dirección General de Promoción Minera. 2006. Perfil de Mercado de la Dolomita. En línea. Disponible en: <http://www.economia-dgm.gob.mx/dgpm/perfiles/Dolomita.pdf>
32. Cruz, E. Estrada, M. Robledo, V, Osorio, R. Márquez, C. y R. Sánchez. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicompost como sustrato. Universidad y ciencia. 25(1): 59-67.
33. Damiani, O. 2002. Pequeños productores rurales y agricultura orgánica: lecciones aprendidas en America Latina y el Caribe. Documento del Fondo

- Internacional de Desarrollo Agrícola. Oficina de Evaluación y Estudios. Fondos Internacional de Desarrollo Agrícola; Roma, Italia. 63 pp.
34. DEDE, Ö. KÖSEOĞLU, G. ÖZDEMİR, S. y ÇELEBİ, A. 2006. Effects of organic waste substrates on the growth of impatiens. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30: 375-381.
 35. Díaz, S.F.R. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. *Memorias del IV Simposio nacional de horticultura. Invernaderos: diseño, manejo y producción. Torreón Coahuila.*
 36. Elsayed, M. *et al.*, 2008. Impact of filter mud applications on germination of sugarcane and small-seeded plants on soil and sugarcane nitrogen contents. *Bioresource Technology*. 99: 4164-4168.
 37. FAO. 1983. *El Reciclaje De Materias Orgánicas En La Agricultura De America Latina*, Boletín de Suelos de la FAO, No. 51. Ed. FAO, Roma.
 38. FAO, 1999. *Fertilizer Yearbook 1998*, FAO Statistics Series No.150 Rome
 39. FAO. 2002. *Manual práctico. Manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos hidropónicos en invernadero.* 33 pp.
 40. FAO. 2007. *Utilización de rocas fosfóricas para una agricultura sostenible.* ISBN. 9789253050307. Job Number. Y5053/S. Número en series. 13 boletines FAO.
 41. Fernandez, M. 2010. *Evaluación de sustratos de fibra de madera de pino frente a sustratos convencionales en cultivo hidropónico de tomate.* Tesis de Licenciatura. Universidad Pública de Navarra. Escuela técnica superior de ingenieros agrónomos. 111 pp.
 42. FIDA, 2003. *La Adopción de la agricultura orgánica por parte de los pequeños productores de América Latina y el Caribe.*
 43. Fuentes, B. Jorquera, M y M. Mora. 2009. Dynamics of phosphorus and phytate-utilizing bacteria during aerobic degradation of dairy cattle dung. *Chemosphere*. 74: 325-331.
 44. García, F y A. Silicia. 1984. *El mercado mundial de las fibras duras.* Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

45. García, O. Alcántar, G. Cabrera, R, Gavi, F. y V, Volke. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallissi* cultivadas en macetas. TERRA Latinoamericana. 19(003): 249-258.
46. Garnica, M. Houdusse, F y J. Yvin. 2009. Nitrate supply induces changes in polyamine content and ethylene production in wheat plants grown with ammonium. Journal of Plant Physiology. 166: 363-374.
47. Gewin, V. 2004. Organic Faqs. Nature. 428:796-798.
48. Goyal, S., *et al.* 2005. Suitability of Wood fiber substrate for production of vegetables transplants.I. Physical properties of wood fiber substrates. Scientia Horticulture. 100: 309-322.
49. Handreck, K. y N. Black. 1991. Growing media for ornamental plants and turf/ South Wales University Press.
50. Handreck, K. 1993. Properties of Coir Dust, and Its Use in the Formulation of soilless Potting Media. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 24 (3-4): 349-363.
51. Hashemimajd, K., *et al.* 2004. Comparison of vermicompost and compost as potting media for growth of tomatoes. Journal of plant Nutrition. 27:1107-1123.
52. Hoyos, P. Álvarez, V. y A. Rodríguez. 2004. Evaluación de la producción de acelga CV. Amarilla de Lyon recolectada hoja a hoja. Comparación con recolección de planta entera. Revista Horticultura. 42-51 pp.
53. Lemaire, F. 1997. The problema of the bioestability in organic substrates. Acta Horticulturae. 450: 63-69.
54. Lemaire, F., A. Dartigues, L. M. Riviere, S. Charpentier y P. Morel. 2003. Cultures en pots et conteneurs. 2a edition. Institut National de la Recherche Agronomique. Paris, Francia.
55. Lemaire, F. Dartigues, A. Riviere, L. Charpentier, S. y P. Morel. 2005. Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 210pp.
56. Liu, W. Fox, J. y Z. Xu. 2000. Leaf litter decomposition of canopy trees, bamboo and moss in a montane moist evergreen broad-leaved forest on Ailao Mountain, Yunnan, South-west China. Ecol. Res. 15: 435.

57. Marchner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press. 889 pp.
58. Márquez, C. Cano, P y N. Rodríguez. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura técnica en México*. 34(1): 69-74
59. Martínez, E. García , S. y L. Reus. 1993. Cultivo sin suelos: Hortalizas en clima mediterráneo
60. Martínez, G. 2004. Caracterización de la cascara de almendra como sustrato orgánico alternativo en cultivo sin suelo y su evaluación agronómica en especies hortícolas. Tesis Doctoral. Universidad de Almería. España.
61. Mazuela, P. Salas, M. y M. Urrestarazu. 2005. Vegetable waste compost as substrate for melon. *Communications in soils science and plant analysis*. 36: 1557-1572.
62. Meerow, A. 1994. Growth of two subtropical ornamentals using coir (Coconut mesocarp Pith) as a peat substitute. *HortScience* 2(12): 1484-1486.
63. Meunchang, S. Panichsakpatana, S. and R. Weaver. 2005. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill. *Bioresource Technology* 96:437-442
64. Noguera, P. Abad y V Noguera. 2000. Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. *Acta Horticulturae*. 517. 279-286.
65. North Carolina State University. 2004. Standars for retail potting soils. Disponible en: <http://www.ncsu.edu/unity/lokers/proyect/hortsublab/retail/index> (verificada le 19 de enero de 2007. Nuez, F. 1995. El cultivo del jitomate. Editorial Mundiprensa. España. 793 pp.)
66. Olivo, V. y C. Buduba. 2006. Influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. *Bosques*. 27(3): 267-271.
67. Olsen, S. Cole, C. Watanabe, F. y L. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. dept. Agr. Circ 939.

68. Ortega, L. 2010. Efecto de los sustratos en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. Tesis de Maestría Colegio de postgraduados. Campus Puebla. 116 pp.
69. Pastor, J. 1999. Utilización de sustratos en viveros. TERRA Latinoamericana. 17(3): 231-235.
70. Pilarte, F. 2010. Función de los elementos esenciales en los cultivos. En línea. Disponible en: http://a4n.com.sv/uploaded/mod_documentos/Funci___n%20de%20los%20elementos%20esenciales%20en%20los%20cultivos.pdf
71. Pire, R y A. Pereira. (2003). Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. Bioagro. 15: 55-63.
72. Puustjarvi, V. 1994. La turba y su manejo en la Horticultura. Eds. Horticultura. Reus, España. 240 pp.
73. Quesada, G y C. Méndez. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. Agronomía mesoamericana. 16(2): 171-183.
74. Quesada, G y C. Méndez. 2005a. Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas. Rev. Agr. Trop. 35: 01-13.
75. Rincón, L. Saez, J. Perez, J.Gomez, M y C. Pellicer. 1999. Crecimiento y absorción de nutrimentos del brócoli. Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario. 226-236.
76. Rodríguez, F. y A. Rodríguez. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. Trillas. México, D.F.
77. Rodríguez, N. Cano, P. Favela, E. Figueroa, U. de Paul, V. Paloma, A. Márquez y A. Moreno. 2007. Vermicompost como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. Revista Chapingo. Serie horticultura. 13(2): 185-192.
78. Rodríguez, R. Alcantar, E. Iñiguez, G. Zamora, F. García, P. Ruiz, M. y E. Salcedo. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. INTERCIENCIA. 35(7): 515-520.

79. Sadzawka R. M. Carrasco. R. Grez. y M. Mora G. 2005. Métodos de análisis de compost. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Serie actas INIA No. 30). Disponible en: <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR32184.pdf>
80. Salazar, H. Trejo, C. Vázquez y J. López. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol de bovino. *International Journal of Experimental Botany*. 76: 169-185.
81. Salazar, H. 2011. Sustratos orgánicos y biofertilizantes para el cultivo de jitomate en invernadero. Tesis de maestría, CIIDIR-IPN-Michoacán. 68 pp.
82. Sánchez del C., F. Ortiz; C. Mendoza, C.; V. González H. y T. Colinas L. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia*. 33(1): 21-29.
83. Sangwan, P. Kaushik, C. y Garg, V. 2008. Feasibility of utilization of horse dung spiked filter cake in vermicompostes using exotic earthworm *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*. 99:2442-2448.
84. Schmilewski, G. 2008. The role of peat in assuring the quality of growing media. *Mires and Peat*. Vol. 3. Germany.
85. Segura, O. Chacón, P. López, C. Tapia, M. y M. Villalva. 2007. Harina de pescado. En línea. Disponible en: <http://harinadepescado-grupo2.blogspot.mx/>
86. Soto, G. Hopkins, R. Andersen, M. y J. van Lidth. 2003. Memoria del taller. *Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza*. Multiprint. Turrialba, Costa Rica. 111 pp.
87. Strasburger, E. Noll, F. Schenk, H. Schimper, A. Von denffer, D. Ehrendorfer, F. Bresinsky, A. y H. Ziegler. 1986. *Tratado de Botánica*. 7ª ed. Editorial Marín S.A., Barcelona.
88. Suquilanda, M. 1995. Fertilización orgánica; Manual para la producción orgánica. Quito, Fundación para el Desarrollo Agropecuario. 500-547.
89. Suthar, S. 2008. Bioremediation of aerobically Treated Distillery Sludge Mixed with Cow dung by using an Epigeic Earthworm *Eisenia fetida*. *Environmentalist*. 28: 76-74.

90. Szczerba, M. Britto, D. y H. Kronzucker. 2009. K⁺ transport in plants: Physiology and molecular biology. *Journal of Plant Physiology* 166(5): 447-466.
91. Teodorovich, G. 1958. Study of sedimentary rocks. Gostoptekhizdat, Leningrad. 572 pp.
92. Torres, A., et al. 2010. Producción comercial de cultivos bajo invernadero y vivero: Medición de pH y Conductividad Eléctrica en sustratos. *PURDUE AGRICULTURE*. 6 pp.
93. Torres, P. Escobar, J. Uribe, I. y R. Imery. 2007. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Eng. Agric.* 27(1): 267-275.
94. Torres, P. Escobar, J. Pérez, V. Imery, V. Nates, P. Sánchez, G. Sánchez, M. y A. Bermúdez. 2005. Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). *Revista Ingeniería e Investigación*. 25(2): 53-61.
95. Vargas, P. Castellanos, J. Sánchez, P. Tijerina, L. Lopez, R. y J. Ojodeagua 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(4): 375-381.
96. Venegas, J. Lenom, J. Trinidad, A. Gavi, F. y P. Sanchez. 2005. Análisis químico de compost y efecto de su adición sobre la producción de biomasa en zarzamora. *Terra Latinoamericana*. 23(3): 285-292.
97. Venegas et al., 2010. Comportamiento del chile morrón en tres sustratos a base de fibra de coco, cascarilla de arroz y cachaza de caña de azúcar. *Memorias del 1er congreso estatal estudiantil 2do congreso regional sobre ciencias agrícolas*. CIIDIR-IPN-Michoacán.
98. Venegas, J. y M. Velázquez. 2011. Ajuste de un sustrato orgánico para el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*) en invernadero. Informe final del proyecto de investigación. 22 pp.
99. Warncke, D. 1990. Testing artificial growth media and interpreting the results. *Soil testing and plant analysis*. Soil Science Society of America. Inc Madison. 338-355.

100. Zamora, M. Sánchez, G. y V. Volke. 2005. Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal. INCI. 30(06): 69-81. 378-1844.
101. Zarate, B. 2007. Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico con sustratos, bajo invernadero. Tesis de maestría, CIIDIR-IPN-Oaxaca, 140 pp.
102. Zarate, G. 2006. Caracterización y evaluación agronómica de materiales orgánicos potenciales para utilizarse como sustratos en cultivos sin suelo de melón (*Cucumis melo* L.). Tesis de maestría, CIIDIR-IPN-Oaxaca. 86 pp.