

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA**

*MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN
Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES
ESPECIALIDAD EN PROTECCIÓN Y PRODUCCIÓN VEGETAL*

**CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE
MATERIALES ORGÁNICOS POTENCIALES PARA UTILIZARSE COMO
SUSTRATOS EN CULTIVO SIN SUELO DE MELÓN (*Cucumis melo* L.)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

GRACIELA ZARATE ALTAMIRANO

OAXACA DE JUÁREZ, OAXACA, DICIEMBRE 2006



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca siendo las 13:00 horas del día 21 del mes de noviembre de 2006, se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA), para examinar la tesis de grado titulada:

“Caracterización y evaluación agronómica de materiales orgánicos potenciales para utilizarse como sustratos en cultivo sin suelo de melón (*Cucumis melo L.*)”

Presentada por el alumno (a):

Zárate	Altamirano	Graciela
Apellido paterno	materno	nombre(s)
Con registro:		
A	0	4
0	0	0
0	0	4

Aspirante al grado de: **MAESTRO EN CIENCIAS EN CONSERVACION Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

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

LA COMISION REVISORA

Director de tesis

Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez

Co-directora

Dra. Yolanda Donaji Ortiz Hernández

Dr. José Luis Chávez Servia

Dr. José Antonio Sánchez García

M. en C. Laura Martínez Martínez

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dra. María del Rosario Arnaud Viñas

6



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez., Oaxaca, el 30 de noviembre de 2006, la que suscribe **ZÁRATE ALTAMIRANO GRACIELA**, alumna del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro **A040004**, adscrita al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autora del trabajo de Tesis: **“Caracterización y evaluación agronómica de materiales orgánicos potenciales para utilizarse como sustratos en cultivo sin suelo de melón (*Cucumis melo* L.)”**, realizado bajo la dirección del Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez, por lo cual cede los derechos de dicho trabajo, 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. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: **Calle Hornos No. 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca** o e-mail ciidirox@ipn.mx o gzaratealtamirano@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL
CIDIR-UNIDAD-OAXACA

ZÁRATE ALTAMIRANO GRACIELA

RESUMEN

En México, el cultivo sin suelo de hortalizas aumenta a diario, el material que se utiliza como medio de cultivo es la arena, el tezontle rojo y la tierra de monte, esta última con serias restricciones medioambientales. En el estado de Oaxaca, se tienen subproductos de las agroindustrias a los cuales no se les ha encontrado alguna utilidad, entre ellos se encuentra el bagazo de la industria del mezcal. Por esta razón el presente estudio, tuvo como objetivo determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los residuos bagazo de maguey mezcalero, polvo de coco y vermiculita, así como su evaluación agronómica en el cultivo sin suelo de melón (*C. melo* L.). Los experimentos tanto de caracterización como de evaluación agronómica, se realizaron en las instalaciones del CIIDIR-IPN-Unidad Oaxaca y fueron conducidos bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Los tratamientos estuvieron basados en 3 materiales puros, (maguey, polvo de coco y vermiculita) y 12 mezclas en proporciones de 0, 25, 50 y 100 % (v/v). Los parámetros físicos evaluados fueron; granulometría, densidad real y aparente, espacio poroso total, capacidad de retención de agua y humedad; los fisico-químicos fueron; contenido de materia orgánica, pH y salinidad, así como el porcentaje de germinación, longitud de la raíz y del tallo, para las pruebas biológicas. Los resultados obtenidos muestran que; la granulometría de los tres materiales puros, fueron diferentes teniendo el polvo de coco y bagazo de maguey mayor distribución del tamaño de partícula en comparación a la vermiculita. La mezcla que mejoró sustancialmente al tamaño de partícula, fue 25 % (v/v) de bagazo de maguey + 75 % (v/v) de polvo de coco. La densidad real y aparente de los materiales solos y en mezclas se encontraron en el nivel óptimo, los valores del espacio poroso total, capacidad de retención de agua y humedad para el bagazo de maguey solo, fueron ligeramente inferiores al óptimo, sin embargo al mezclarlo con 25 % (v/v) se ubicaron en este nivel. Las propiedades químicas y biológicas fueron diferentes entre tratamientos pero estuvieron en el nivel de referencia, con excepción del pH del bagazo de maguey en forma pura, quien mostró un valor de 8.05. La producción del fruto de melón fue de 650 g fruto corte⁻¹ utilizando bagazo de maguey solo, pero fue superior al utilizar 25 % de este sustrato + 75 % de fibra de coco, (680 g fruto corte⁻¹), también con esta mezcla se alcanzó el mayor valor de sólidos solubles totales (9.0 °Brix). Por lo tanto el bagazo de maguey mezcalero compostado puede utilizarse sin problemas como medio de cultivo en hortalizas, pero para una mejor respuesta en los cultivos es necesario mezclarlo con 75 % de polvo de coco, teniendo cuidado en la fertirrigación para disminuir el pH.

Abstract

In Mexico, agriculture without vegetables soil is increasing every day. Right now, the soils or substrates used are: sand, red tezontle (soft volcanic stone) and forest soil. The last one has several environmental restrictions. In Oaxaca exists several byproducts derived from the agricultural industry, for instance, wastes of the mezcal beverage industry are one of them and these byproducts have not any utility for the industry. The objective of this work were: to found physical, chemical and biological properties derived from the wastes of maguey, coconut compost and vermiculite and; the other proposal was to evaluate these properties and its application on agronomical evolution in cantaloupes crops (*C.melo* L.). The experiments on agronomical characterization and evaluation were done at CIIDIR-IPN- Unidad Oaxaca. They were randomly designed and essayed three times. The experiments were performed with three different pure materials (maguey, coconut powder and vermiculite) and twelve mixes in different proportions (0, 25, 50, and 100 % of v/v). Physical parameters were: granulometry, real and apparent density, total porous space, total water retention and humidity; physicochemical parameters were: amount of organic matter contain, pH and salinity; and the biological parameters evaluated were: the percentage of germination, and the measure of root and steam longitude. The results obtained were the following: the granulometry essay was different between the three pure compounds, showing that mix of coconut powder and wastes of maguey had the biggest distribution of particle size. The better mix was done with 25% (v/v) from maguey compost and 75 % (v/v) of coconut powder. Real and apparent density of pure materials and their mixes were in optimum level. But, the total porosity, water retention and humidity for compost maguey was slightly lower that the optimum. However, the mix in a 25% (v/v) proportion with the compound reached the optimum. The Chemical and biological properties were different between the three experiments, but they were found among the reference values. Except for the pH of pure maguey waste, it was 8.05. Using only maguey waste, the production of cantaloupe was 650g per cut⁻¹ fruit, but it was increased from 650 to (680g cut⁻¹ fruit), using a mix composed by 25% of this substrate and +75 % of coconut fiber. Also, using the mix above, it was possible to get the maximum value of total soluble solids (9.0°Brix). Therefore, the maguey waste can be use without any problem on vegetables, but for a better response in agriculture, is necessary to mix the maguey compost with 75% of coconut powder, paying attention in the irrigation in order to diminish the pH.

AGRADECIMIENTOS

AL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL (CIIDIR-IPN-UNIDAD OAXACA) POR EL APOYO ECONÓMICO BRINDADO PARA LA REALIZACIÓN DE LA FASE EXPERIMENTAL DE LA PRESENTE TESIS, ASI COMO EL APOYO EN LA BECA PIFI, ATRAVÉS DEL PROYECTO: *CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL BAGAZO RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DEL MEZCAL COMO SUSTRATO DE CULTIVO SIN SUELO*, CLAVE SIP-20051234.

A LA FUNDACIÓN PRODUCE OAXACA A.C. POR SU APOYO ECONOMICO EN LAS DIFERENTES FASES DEL PRESENTE EXPERIMENTO. A TRAVÉS DEL PROYECTO: *CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL BAGAZO RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DEL MEZCAL COMO SUSTRATO DE CULTIVO SIN SUELO EN EL ESTADO DE OAXACA. FINANCIAMIENTO 2004-2005.*

A LA COFAA-IPN, POR SU APOYO ECONÓMICO EN LA INFRAESTRUCTURA DEL INVERNADERO EXPERIMENTAL DEL CIIDIR-IPN UNIDAD OAXACA.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE CUADROS

RESUMEN

SUMARY

I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- OBJETIVOS E HIPÓTESIS	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Hipótesis _____	4
III.- REVISIÓN DE LITERATURA _____	5
3.1. Definición de sustrato agrícola _____	5
3.2. Métodos empleados para la selección de sustratos _____	5
3.3. Materiales utilizados en México, como sustratos de cultivo _____	6
3.4. Problemática en la selección de cultivos _____	6
3.5. Funciones importantes del sustrato _____	8
3.6. Clasificación de los materiales utilizados como sustratos _____	8
3.7. Características de los sustratos _____	10
3.7.1. Características físicas _____	11
3.7.1.1. Granulometría _____	12
3.7.1.2. Espacio poroso total _____	13

3.7.1.3. Densidad aparente y Densidad real	14
3.7.1.4. Capacidad de retención de agua	15
3.7.2. Características químicas	16
3.7.2.1. Conductividad eléctrica y Ph	17
3.7.2.2. Relación Carbono / Nitrógeno y Contenido de cenizas	17
3.7.3 Características biológicas	18
3.8. Materiales utilizados en el presente estudio	20
3.8.1. El Mesocarpio del fruto de la palma de coco (<i>C. nuccifera</i> L.)	20
3.8.2. Vermiculita	25
3.8.3. Bagazo residual de la industria del mezcal	26
3.9. Evaluación agronómica	27
3.10. Melón	29

IV.- MATERIALES Y MÉTODOS 32

FASE I.- Caracterización física, química y biológica de algunos materiales alternativos para utilizarse como medios de cultivo en hortalizas

4.1 Localización	32
4.2. Materiales utilizados	33
4.3. Caracterización física	34
4.3.1. Granulometría	34
4.3.2. Densidad real	34
4.3.3. Densidad aparente	35
4.3.4. Espacio poroso total	36

4.3.5. Capacidad de retención de agua	37
4.4. Caracterización química	37
4.4.2. Contenido en cenizas y materia orgánica	38
4.5. Caracterización Biológica	38

FASE II.- FASE II. Evaluación agronómica bajo invernadero, de materiales alternativos para utilizarse en el cultivo sin suelo de melón

4.6. Producción de plántula de melón	39
4.7. Materiales utilizados y unidad de cultivo	39
4.8. Sistema de fertirrigación	40
4.9. Método de fertirrigación	40
4.10. Practicas de cultivo	41
4.11. Diseño experimental y análisis estadístico	43
4.11.1. Descripción y organización física del experimento	43
4.11.2. Variables evaluadas	43
4.12. Tratamiento matemático	44
4.12.1. Análisis de varianza y separación de medias	44
4.12.1. Ajuste de ecuaciones rectilíneas y sus coeficientes de correlación	44

V.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FASE I.- Caracterización Física, Química y Biológica de materiales regionales en forma pura y mezclas.

5.1. Caracterización física	52
-----------------------------	----

5.1.1. Distribución de partícula o granulometría	52
5.1.2. Densidad aparente	56
5.1.3. Densidad real	57
5.1.4. Espacio poroso total	57
5.1.5. Capacidad de retención de agua	58
5.2. Caracterización física y fisicoquímica	59
5.2.1. pH	60
5.2.2. Salinidad (conductividad eléctrica)	62
5.2.3. Contenido de materia orgánica	64
5.3. Caracterización biológica	65
5.3.1. Bioensayos de germinación	65
5.4. Evaluación agronómica	67
5.4.1. Efecto en la producción de materiales orgánicos puros (sin mezclas)	68
5.4.2. Efecto en la producción, utilizando diferentes mezclas de los materiales: Bagazo de maguey y polvo de coco.	70
5.4.3. Efecto en la producción de melón, utilizando mezclas de bagazo de maguey mezcalero y vermiculita.	71
5.4.4. Efecto en el contenido de sólidos solubles totales en frutos de melón, utilizando materiales orgánicos puros (sin mezclas), como medios de cultivo.	73
5.4.5. Contenido de sólidos solubles totales en frutos de melón utilizando diferentes mezclas de bagazo de maguey mezcalero y polvo de coco, como sustratos	74

5.4.6. Contenido de sólidos solubles totales en frutos de melón, utilizando diferentes mezclas de bagazo de maguey mezcalero y vermiculita_____75

5.4.7. Efecto en el diámetro ecuatorial del fruto de melón, utilizando materiales orgánicos puros (sin mezclas), como medios de cultivo. _____77

VI.- CONCLUSIONES_____79

VII.- BIBLIOGRAFÍA_____80

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

CAPÍTULO IV.

Fotografía 4.1. Laboratorio de suelos del CIIDIR

Fotografía 4.2. Invernadero del CIIDIR- Oaxaca

Fotografía 4.3. Bagazo de maguey mezcalero una vez molido

Fotografía 4.4. Polvo de la fibra de coco

Fotografía 4.5. Saco de vermiculita

Fotografía 4.6. Bioensayos de germinación

Fotografía 4.7. Siembra de las semillas de melón en charolas

Fotografía 4.8. Bolsas plásticas utilizadas en el experimento

Fotografía 4.9a. Sistema de fertirriego

Fotografía 4.9b. Sistema de fertirriego

Fotografía 4.10. Tutoreo con rafia

Fotografía 4.11. Polinización manual

Fotografía 4.12a. Fruto para corte

Fotografía 4.12b. Frutos para consumo

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO IV.

Figura 4.1. Ubicación geográfica del CIIDIR- IPN-UNIDAD Oaxaca

CAPÍTULO V.

Figura 5.1. Distribución de tamaños de partícula de materiales orgánicos e inorgánicos en forma pura, para ser utilizados como sustratos de cultivos.

Figura 5.2. Comportamiento de la distribución de tamaños de partícula aumentando proporcionalmente el bagazo de maguey mezcalero (M) y disminuyendo el volumen del polvo de coco (C).

Figura 5.3. Comportamiento de la distribución de tamaños de partícula aumentando proporcionalmente el bagazo de maguey mezcalero (M) y disminuyendo el volumen de la vermiculita (V).

Figura 5.5. Comportamiento de la producción de un cultivo de melón, aumentando proporcionalmente el volumen del bagazo de maguey mezcalero (M) y disminuyendo el polvo de coco (C).

Figura 5.6. Comportamiento de la producción de un cultivo de melón (*C. melo* L.) aumentando proporcionalmente el volumen del bagazo de maguey mezcalero (M) y disminuyendo la vermiculita (V).

Figura 5.7. Comportamiento del contenido de sólidos solubles totales en frutos de melón, utilizando materiales orgánicos e inorgánicos en forma pura.

Figura 5.8. Comportamiento del contenido de sólidos solubles totales en frutos de melón, utilizando mezclas de bagazo de maguey mezcalero (M) y polvo de coco (C) como sustratos.

Figura 5.9. Comportamiento del contenido de sólidos solubles totales en frutos de melón, utilizando mezclas de bagazo de maguey mezcalero (M) y vermiculita (V)

Figura 5.10 Comportamiento del diámetro ecuatorial de frutos de melón (*C. melo* L.) utilizando materiales orgánicos e inorgánicos en forma pura.

INDICE DE CUADROS

CAPÍTULO III.

Cuadro 3.1. Propiedades físicas del polvo de la fibra de coco

Cuadro 3.2. Composición del bagazo residual de la industria del mezcal

CAPÍTULO IV.

Cuadro 4.1. Mezclas de materiales alternativos para utilizarse como sustratos en cultivos sin suelo de hortalizas

CAPÍTULO V.

Cuadro 5.1. Propiedades físicas de materiales regionales, solos y en mezclas para utilizarse como sustratos en la producción de plantas y cosechas

Cuadro 5.2. Propiedades físico-químicas de materiales regionales, solos y en mezclas para utilizarse como sustratos en la producción de plantas y cosechas

Cuadro 5.3. Determinación de algunas propiedades biológicas de materiales regionales, solos y en mezclas utilizando semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L).

Cuadro 5.4. Efecto de diferentes mezclas de materiales orgánicos e inorgánicos utilizados como sustratos, sobre la producción y calidad de frutos de melón

I INTRODUCCIÓN

En México, el sistema extensivo de producción de hortalizas, está cambiando fuertemente por el sistema intensivo en ambientes controlados, también conocido como: horticultura intensiva o protegida, el cual tiene como característica fundamental; elevada producción en pequeñas superficies, las cuales en su mayoría poseen ciertas estructuras de protección ya sean permanentes (invernaderos) o temporales (microtuneles, casas sombras, etc.). Para que este sistema moderno de producción funcione eficientemente alcanzando uno de sus objetivos que es el aumento de la productividad y calidad de las cosechas, es necesario combinarlo con otros componentes de la horticultura protegida como son: el riego por goteo, la fertirrigación y para no depender del suelo; el uso de materiales inertes o no, como medios de cultivo. A esto último se le ha llamado cultivo sin suelo. Para avanzar en el sistema de producción en cultivo sin suelo, es necesario realizar un diagnóstico de los materiales más prometedores para su uso, en este sentido, México tiene amplias posibilidades de competir en el mundo de los sustratos con materiales orgánicos autóctonos, dentro de los cuales destacan; el polvo y la fibra de coco, el bagazo de la industria del mezcal, la cascarilla de café, el residuo de la industria azucarera etc. (Sánchez *et al.*, 1999).

México es el centro de origen y evolución del maguey (*Agave spp*), planta que ha sido utilizada desde los primeros pobladores hasta la actualidad, para satisfacer y complementar una serie de necesidades básicas: bebidas, alimento, forraje medicamentos (Granados, 1999; Quiroz, 2003). Oaxaca y Jalisco son los estados mexicanos mundialmente conocidos

por su producción de mezcal y tequila, respectivamente. Actualmente en Oaxaca existe una zona reconocida como “región del mezcal”, donde se cultivan alrededor de 11,756 hectáreas de maguey mezcalero, localizándose mayoritariamente en los Valles Centrales y en la Sierra Sur, abarcando aproximadamente 59 municipios y 152 comunidades (Arredondo *et al.*, 2003). En todas estas localidades, se estima (ICAPET, 1999), la existencia de 11'329,553 de plantas cultivadas de maguey mezcalero, como materia prima para la producción de 3'433, 768 de mezcal. Cantidad que a la fecha ha ido en aumento y del cual anualmente se generan 4' 807, 275 toneladas de bagazo o residuo, como material de desecho (Silva *et al.*, 2003). Actualmente a este subproducto no se le ha encontrado alguna utilidad y su vertido en áreas improductivas y/o arroyos, representa un serio problema medioambiental.

Por su parte la palma de coco (*Coccus nucifera* L.), que se cultiva a lo largo y ancho de la república mexicana, ofrece múltiples beneficios tanto económicos como ambientales, razón por la cual se le conoce como el árbol de la vida o el árbol de los mil usos. En México, los estados productores de coco son Campeche, Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Tabasco, Nayarit, Sinaloa, Quintana Roo y Yucatán. La superficie de cocotales en el país, suman 162 mil 224 hectáreas, de las cuales, sólo 12,400 hectáreas se destinan a la producción de fruta, de donde se extrae la fibra o borra, así como el polvillo de la cáscara, que ofrece jugosas oportunidades de negocio debido a los múltiples usos en la industria de rellenos, empaques, cordelería y en últimas fechas ha tenido un gran auge en la industria agrícola como sustrato en cultivo sin suelo (García y Escobar, 2003), con características similares o superiores a las de la turba *Spagnum* (Abad *et al.*, 2002), por esto ha sido

propuesta como una posible alternativa a los medios de cultivo convencionales (Arenas *et.al.*, 2002).

Tanto el bagazo del maguey mezcalero como el de la fibra del coco, presentan características que los convierten en materiales prometedores para utilizarse como medios de cultivo sin suelo, entre estas destacan: abundancia, disponibilidad regional en todo el año, etc. Por esto, es necesario investigar primeramente, sus propiedades físicas, físico-químicas y químicas y en segundo lugar su respuesta agronómica en cultivos de mayor importancia económica, ya sea de forma pura o en combinaciones con otros materiales locales. Por lo anterior, el presente proyecto de investigación planteó estudiar las propiedades físicas, químicas y biológicas del bagazo del maguey mezcalero y del polvo y de la fibra de coco, además de su respuesta como medios de cultivo sin suelo en melón bajo condiciones de invernadero.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar las características y propiedades del bagazo del maguey mezcalero (*Agave* spp.) y del polvo de la fibra de coco (*Coco nucifera*), materiales autóctonos del Sur de México, para utilizarse como sustratos en cultivos sin suelo de melón (*C. melo* L.).

Objetivos específicos

Determinar las características físicas, químicas y biológicas del bagazo residual del maguey mezcalero y del polvo de la fibra de coco, subproductos de la industria del mezcal y de la copra respectivamente.

Evaluar el efecto del bagazo del maguey mezcalero y del polvo de la fibra de coco como sustratos en la producción del cultivo sin suelo de melón (*Cucumis melo* L.) cv: Top Marck Shamrock) bajo condiciones de invernadero.

2.2. HIPÓTESIS

Las características físicas, químicas y biológicas del polvo de la fibra de coco y bagazo residual de maguey mezcalero se encuentran en los niveles de referencia para su utilización como medios de cultivo.

El bagazo del maguey mezcalero y el polvo de la fibra de coco pueden ser utilizados como sustratos orgánicos alternativos, para el cultivo sin suelo en plantas de melón (*Cucumis melo* L.)

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Definición de sustrato hortícola

Abad y Noguera (2000), definen al sustrato como aquel material sólido natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando así una función de soporte para la planta, que puede o no intervenir en el proceso de nutrición mineral de la planta.

3.2 Métodos empleados para la selección de sustratos

Los resultados que se obtengan al utilizar un determinado material como sustrato dependerán de las características originales de este, de su manipulación, previa a la plantación (compactación, humectación, tiempo de almacenaje, tiempo de mezclado) y su manejo posterior (Zamora 2005). Además, señala que en México, al igual que en muchos países, los sustratos se obtienen tradicionalmente por el método de ensayo y error. Es decir, se parte de una serie de materiales conocidos, se mezclan en distintas proporciones, y se analizan los sustratos resultantes, seleccionando aquellos que tienen las características más adecuadas. Este método de selección de materiales orgánicos, ha ocasionado serios fracasos en diversos cultivos, pues es necesario, antes de utilizar algún material como sustrato de cultivo, caracterizarlos física y químicamente (Martínez 2004).

3.3. Materiales utilizados en México, como sustratos de cultivo

En México los materiales que más se han utilizado como sustratos en la producción de plantas y cosechas, han sido: la cascarilla de arroz, corteza de pino, el tezontle, la piedra pómez (García *et al.*, 2001) y recientemente se está incorporando satisfactoriamente en el mercado mundial de los sustratos, el mesocarpio del fruto del coco conocido como fibra o residuo de la fibra del coco, quien posee amplias posibilidades de sustituir a la turba *Sphagnum*. (Konduru *et al.*,1999; Noguera *et al.*, 2000). Por otro lado señalan que sobre el bagazo del maguey tequilero y mezcalero actualmente no se tienen estudios de su utilización como sustratos en cultivo sin suelo. Sin embargo, por sus características morfológicas de fibras duras (Idarraga,1999) y baja densidad, además de su disponibilidad anual y abundancia, tiene amplias posibilidades de ser utilizado como sustrato orgánico alternativo o complementario a los existentes para la propagación de plantas ornamentales y forestales, así como para la producción de cosechas en cultivo sin suelo, similar a lo mostrado por el residuo de la fibra de coco, quien actualmente posee una alta demanda en el mercado mundial de los sustratos.

3.4. Problemática en la selección de sustratos

Es necesario tener en cuenta que un medio de cultivo puede dar resultados distintos según el tipo, forma y tamaño del contenedor, especie vegetal, técnicas culturales como riego y fertilización o condiciones climáticas, por lo que la idoneidad de un sustrato estará

supeditada al manejo de este y no podrá ofrecer por si solo garantías del éxito de un cultivo. Existe la posibilidad de que estos materiales puedan ser utilizados solos o en mezclas como componentes de medios de cultivo (Reinkainen, 1993); dependiendo de las características físicas y químicas del sustrato, deberá ser su manejo y de esto dependerá el éxito o fracaso del cultivo.

Bures(1997), indica que todo usuario de sustratos deberá conocer las características mínimas de estos materiales como: costo accesible, disponibilidad en cantidades suficientes, que sus propiedades no cambien en corto tiempo, que el servicio de entrega y asesoría para su correcto uso, sea rápido y eficiente. Sin embargo un sustrato ideal universal no existe. No obstante, dadas unas condiciones concretas del usuario, ha sido posible encontrar el sustrato “ideal” particular, para cierto tipo de cultivo o especie vegetal. Este sustrato depende de numerosos factores lo que dificulta su elaboración. Un determinado medio de cultivo dará resultados distintos según las condicionantes que afectan el sustrato como el clima y el microclima, sistema de riego, la especie vegetal, el tipo, forma y tamaño del contenedor, las técnicas culturales (riego, fertilización) duración del cultivo o el destino final de las plantas, entre otros. Aunque el conocimiento de estas condiciones no permite establecer la composición del sustrato, si permite predecir las características que deberá tener un sustrato para que se adecue a estas condiciones.

3.5. Funciones importantes del sustrato

Abad y Noguera.2000 señala que las funciones mas importantes de un sustrato de cultivo son proporcionar un medio ambiente “ideal” para el crecimiento de las raíces, y constituir una base adecuada para el anclaje o soporte mecánico de la planta. La técnica del cultivo sin suelo pasa por diferentes etapas, todas ellas incidiendo en la optimización de la eficacia y la rentabilidad de este sistema de producción. La primera de estas etapas consiste en el estudio de la problemática que afecta a los materiales a utilizar como sustratos, especialmente su disponibilidad (inventario de recursos y reservas) y su aptitud para ser utilizados como medios de cultivo de las plantas (caracterización de sus propiedades). Un elevado número de materiales pueden ser utilizados con éxito, bien en forma pura o bien en mezcla, en la preparación de los sustratos de cultivo para las plantas. La elección de un material particular viene determinada usualmente por: La disponibilidad, finalidad de la producción, el costo, sus propiedades y en fechas reciente se está considerando el impacto ambiental que causa una vez terminada su utilidad como medio de cultivo.

3.6. Clasificación de los materiales utilizados como sustratos

Abad y Noguera (2000) clasifican a los sustratos en materiales orgánicos e inorgánicos:

Materiales orgánicos

De origen natural: se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica, el ejemplo más claro de estos materiales es la turba *Sphagnum*.

De síntesis: Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc). **Residuos y subproductos de diferentes actividades de producción y consumo:** La mayoría de los materiales de este grupo deben experimentar un proceso de compostaje, para su adecuada utilización como sustratos. Ejemplos de estos materiales son: orujo de uva, corteza de árboles, aserrín y virutas de la madera, residuos sólidos urbanos, lodos de depuradoras de aguas residuales, cascarillas de arroz y paja de cereales, entre otros.

Materiales inorgánicos (minerales).

De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose muchas veces de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables; entre los ejemplos más claros se tiene: arena, grava, tierra volcánica, etc.).

Transformados o tratados industrialmente. A partir de rocas minerales, mediante tratamientos físicos - y a veces también químicos -, mas o menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida; entre estos materiales destacan: la perlita, lana de de roca, vermiculita y arcilla expandida.

Residuos y subproductos industriales. Comprende los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales, el ejemplo más claro lo representan las escorias de la industria siderurgica.

3.7. Características de los sustratos

La determinación de las características físicas de los materiales a utilizarse como sustrato, tales como: densidad real, densidad aparente, espacio poroso total, capacidad de retención de agua y relaciones aire-agua, son de suma importancia ya que una vez que éste se ha depositado en el contenedor es casi imposible modificarlas, a diferencia de las químicas las cuales pueden ser manipuladas con adecuadas técnicas de cultivo (Burés, 1997; Ansorena, 1999; Noguera *et al.* 2000).

Burés, (1997, Drzal *et al.* (1999) y Noguera *et al.* (2000); indican, que el tamaño de partícula o granulometría es la propiedad más importante de los sustratos ya que un mayor o menor diámetro de partícula así como su distribución en el contenedor afectará al tamaño de los poros y, por lo tanto, al balance entre el contenido de agua y aire del sustrato a cualquier nivel de profundidad, existiendo una elevada relación entre el tamaño de partícula, la capacidad de retención de agua, el espacio poroso total y las relaciones aire: agua.

Abad y Noguera 2000 señalan que las características físicas de los sustratos de cultivo son de primerísima importancia, sin embargo es necesario analizar las propiedades químicas y biológicas para establecer el mejor manejo de ellos, las cuales se describen a continuación.

3.7.1. Características físicas

Martínez, (1992) menciona que las propiedades físicas constituyen el conjunto de características que describen el comportamiento del sustrato en relación con su porosidad, que ha de determinar las fracciones sólida, líquida y gaseosa del mismo y por lo tanto las cantidades de agua y de aire de los que va disponer la planta. Por consiguiente, de dichas características dependen tanto la nutrición de la planta como la respiración radicular. Para la definición y determinación de estas propiedades, es muy importante establecer métodos normalizados. Sin ellos es muy difícil cuantificar la calidad de los sustratos y prever sus aplicaciones y comportamiento.

Es importante resaltar que los sustratos, al igual que los suelos, muestran una serie de complejas interacciones entre sus constituyentes que se modifican con el tiempo, lo que será prácticamente imposible definir por completo en un tiempo determinado de uso (Reviere 1992, citado por Orozco *et al*, 1997).

Generalmente suele darse más importancia a las propiedades físicas de los sustratos, ya que una vez seleccionada una mezcla como medio de cultivo, apenas puede modificarse su estructura física, a diferencia de su composición química, que puede alterarse durante el desarrollo de la planta, mediante el riego y la fertilización (Ansorena, 1999).

Para cumplir correctamente sus funciones de regulación del suministro de agua y aire, los sustratos deben poseer una elevada porosidad y capacidad de retención de agua, unidos a un drenaje rápido y una buena aireación. Las propiedades físicas más importantes que

permiten evaluar la capacidad de un material como sustrato, o comparar diferentes materiales son:

3.7.1.1. Granulometría

Es la primera caracterización necesaria en un material que será utilizado como sustrato (Orozco *et al*; 1997) y esta se refiere a la proporción que guardan los diferentes tamaños de partículas que lo componen. En los sustratos predominan, las partículas de diámetros superior a 0.05 mm. Por lo tanto para llevar a cabo su análisis granulométrico es suficiente con utilizar el método del tamizado.

El número de tamices y abertura de malla correspondiente son variables, el uso de estos depende principalmente de las normativas de referencia y del tipo de sustrato que se analice (debido al tamaño de la fracción dominante). Los resultados de estos análisis se presentan convencionalmente en términos de la proporción en peso de cada fracción con respecto al peso seco total de la muestra e indicando siempre el intervalo granulométrico del que se trate.

La clasificación por tamaño de partículas de los sustratos orgánicos es distinta a la que se utiliza en los suelos minerales. En estos últimos, las partículas menores a 2 mm suelen agruparse en diferentes fracciones que van desde arena gruesa hasta arcilla. En el caso de sustratos, no existe un sistema de clasificación granulométrica de las diferentes fracciones que resulten del tamizado, ya que cada país la ha adaptado a la serie de tamices correspondientes a sus normas oficiales (Ansorena, 1999).

3.7.1.2. Espacio poroso total

El espacio poroso total o porosidad total (P_t) de un medio de cultivo es el porcentaje de su volumen que no está ocupado con sólidos. Los sustratos suelen estar formados por mezcla de partículas o fibras de diferentes tamaños (Ansorena, 1999), cada una de estas partículas tendrá en su interior poros de diferentes tamaños, que constituyen la porosidad interna o intrapartícula, dependiendo de la naturaleza del material. Pero, además, quedarán huecos entre las partículas que dan lugar a la porosidad intrapartícula.; Orozco, 1997 señala que los poros intraparticulares son generalmente más pequeños que los interpartícula, los primeros suelen estar cerrados (porosidad ocluida), o bien, conectados con el exterior de la partícula (porosidad abierta) a través de aberturas que funcionan a manera de canales y en el caso de la porosidad ocluida, el sustrato es más ligero pero la porosidad no participa en la distribución de aire y agua dentro del sustrato. Martínez (1992), menciona que también existen estimaciones para determinar el espacio poroso total a partir de la densidad aparente:

Pueden cometerse errores importantes en el cálculo de la porosidad intraparticular, cuando el sustrato tiene una parte de porosidad ocluida, es decir, un volumen de poros que se encuentran aislados del exterior y por lo tanto que no intervienen en la distribución del aire y del agua en el sustrato. La existencia de este tipo de poros puede producir errores de importancia variable en la medida de la densidad real y, por consiguiente, también en la estimación de la porosidad total. La porosidad ocluida se puede determinar por diferencia entre las densidades reales del material intacto y pulverizado.

También se distingue en los sustratos dos tipos de poros abiertos, según su tamaño. Se considera que hay poros capilares o microporos, que son los que retienen el agua de diámetro inferior a 30 μ (micras) y macroporos, superiores a 30 μ que son los que se vacían después que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación.

Se deduce de todo lo anterior que el porcentaje de porosidad intraparticular no es suficiente para asegurar que un sustrato tiene un buen equilibrio entre los contenidos de agua y de aire, sino que para ello es necesario conocer el tipo de poros y su proporción volumétrica.

3.7.1.3. Densidad aparente y densidad real

Según Bunt (1988) la densidad aparente (D_a) de un sustrato se define como la relación entre la masa de una muestra seca y el volumen del sustrato húmedo en condiciones estándar previamente establecidas. De igual forma Ansorena, (1999) indica que la densidad real (D_r) es el cociente entre la masa de las partículas del medio de cultivo y el volumen que ocupan, sin considerar los poros y huecos, siendo un valor propio del material y a diferencia de D_a , no depende del grado de compactación ni del tamaño de partícula. Por último Handreck y Black (1994) señalan que los diferentes materiales minerales presentan diversas densidades, pero para fines prácticos puede asumirse que pesan 2.65 g cm^{-3} . Aunque los materiales orgánicos tienen también diferentes densidades, 1.55 g g cm^{-3} es un valor promedio. Esta diferencia entre materiales minerales y orgánicos significa que aquellos contenedores que utilizarán sustratos orgánicos en contenedores con materiales orgánicos tendrán mas bajas densidades y su “que entre mayor es el espacio poroso menor

es la densidad aparente”. Dado que una misma muestra de sustrato puede ocupar mayor o menor volumen según su grado de compactación o consistencia, la densidad aparente puede ser muy distinta en cada caso. Por ello debe atenderse a la medida en condiciones bien definidas y normalizadas. (de Boodt *et al.*, 1974; Martínez, 1992).

3.7.1.4. Capacidad de retención de agua

Ansorena (1999) menciona que para un óptimo crecimiento de las plantas en contenedores es necesario que la distribución de poros sea la adecuada para que el sustrato retenga cantidades convenientes de agua y aire. Por lo tanto, interesa más la capacidad de retención de agua disponible (A_d), la cual se define como la cantidad de agua retenida por el sustrato entre su capacidad de contenedor (volumen de agua presente después de que el medio de cultivo en el contenedor fue saturado y se dejó drenar) y el punto de marchites permanente (contenido de humedad en el que la planta es incapaz de extraer más agua del medio). El valor de A_d dependerá de la cantidad total de agua retenida por el sustrato y de la forma en que dicha agua se halla distribuida entre los poros.

El agua retenida por capilaridad en un medio de cultivo no solamente es incapaz de realizar un trabajo libremente, sino que tendrá que aplicar una fuerza de succión para extraerla, venciendo las fuerzas capilares que la retienen en los poros. Por eso, su potencial matricial será negativo, y más negativo conforme más retenida se encuentre por las fuerzas de la matriz del medio (de ahí que se llame potencial matricial). El intervalo de valores del potencial matricial en que se cultivan normalmente las plantas en contenedor está

comprendido entre 10 y 100 cm de columna de agua, correspondientes a diámetros de poro en el rango de 30 a 300 micras.

3.7.2. Características químicas

Los materiales a emplear en el cultivo sin suelo deben ser inertes desde el punto de vista de su actividad química, lo cual significa que los intercambios de materia entre las fases sólida y líquida deben ser nulos o muy escasos (Sanchez y Corona., 1996). La inactividad química del sustrato garantiza que la solución nutritiva no será alterada en su equilibrio iónico. Con relación al pH del sustrato, este puede afectar la disponibilidad de iones para la planta, así como los materiales con altos contenidos de carbonato de calcio que deben desecharse por elevar excesivamente el pH de la solución, el rango considerado como óptimo oscila entre 5.0 – 6.5 (en extracto de saturación), pero en algunos materiales que inicialmente no tienen condiciones adecuadas de pH, se hacen tratamientos iniciales para corregir dichos niveles de partida.

Las propiedades físico-químicas y químicas como: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y mineral, capacidad de intercambio catiónico y relación carbono/nitrógeno, caracterizan la transferencia de materia entre el sustrato y la solución del mismo, siendo los materiales orgánicos los que contribuyen especialmente a la química de los sustratos debido a la formación y presencia de las sustancias húmicas, la cual es el producto final más importante de la descomposición de la materia orgánica (André, 1987; Abad, 1998).

3.7.2.1. Conductividad eléctrica y pH

Mientras que en los suelos minerales se emplean ácidos débiles o soluciones salinas para extraer los nutrimentos solubles y los intercambiables, en los sustratos, debido a que la mayor parte de los elementos son solubles, el agua destilada es el extractor utilizado. Actualmente se emplean diversas metodologías que utilizan el agua como extractor, las cuales difieren en las relaciones sustrato - agua utilizados. El método holandés usa la de un volumen de suelo con 1.5 volúmenes de agua destilada y el inglés extrae con 6 volúmenes de agua 1 volumen de sustrato. Ambos sistemas publican sus tablas con valores aceptables (Bunt, 1988).

Otro método es el extracto de la pasta saturada, el cual se utiliza en países que trabajan intensamente con sustratos como Estados Unidos y Australia. Aunque esta técnica fue desarrollada para determinar la cantidad de sales en suelos minerales, ahora ha sido adaptada a los sustratos orgánicos (Bunt, 1988; Warncke, 1986), con resultados también, sobresalientes.

3.7.2.2. Relación carbono / nitrógeno y contenido de cenizas

Otra determinación de importancia es el contenido de carbono y nitrógeno total con el fin de conocer el valor de la relación carbono/nitrógeno (C/N). Este valor se considera como un indicador del origen, madurez y estabilidad que pueden tener los sustratos con un alto componente orgánico. Se señala como deseable una relación C/N menor a 20 (Raviv *et al.*

1993). Sin embargo, Bunt (1988) citado por Lemaire (1977) indica que la relación C/N no es suficiente para considerar a un material orgánico como estabilizado ya que es necesario considerar las formas bioquímicas del carbón que lo constituyen puesto que los materiales con alto contenido de lignina tienen más alta bioestabilidad que aquellos con hemicelulosa y celulosa aun cuando, después de un proceso de añejamiento, pudieran presentar valores de C/N cercanos entre sí.

No obstante, es necesario destacar que los contenidos de materia orgánica y cenizas resultan necesarios para el cálculo de algunas propiedades físicas y por ello es útil obtener sus valores. El método más utilizado para su determinación ha sido el de la calcinación a 500 °C por cuatro horas (Martínez (1992).

3.7.3. Características biológicas

Bioensayos de germinación

Cabrera, (1988); Labrador, (2001), citados por Rodríguez (2004), señalan que todos los sustratos, incluso los relativamente estables, son susceptibles a la continua degradación biológica, por lo que la velocidad a la cual un sustrato se oxida depende de su composición química y de las condiciones físicas del ambiente, entre las que destacan temperatura, humedad, oxígeno, pH, nutrientes, relación C/N, contenido de lignina, celulosa, hemicelulosa y el avance de degradación del sustrato expuesto a la microbiota, la cual es

responsable de deficiencia de oxígeno y nitrógeno, así como de la liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato.

Los bioensayos de germinación permiten definir los materiales inadecuados para el crecimiento vegetal debido a salinidad elevada, presencia de ácidos alifáticos de cadena corta, amoníaco y fenoles entre otros (Abad y Noguera, 2000). La materia orgánica con una relación C/N muy alta (por encima de 50) suministra mayor energía y muy poco nitrógeno; por el contrario, la materia orgánica con una relación C/N muy baja (por debajo de 10) suministra baja energía y alto nitrógeno. En ambos casos los microorganismos desintegradores se multiplican en baja frecuencia, y la materia orgánica se decompone con lentitud, presentando serias restricciones para la estabilidad microbiológica como lo ocurrido en la composta de desechos vegetales (Morisaki *et al.*, 1989; Pansu y Thuries, 2003). En cambio los residuos vegetales con una razón C/N equilibrada (entre 15 y 20) favorecen la proliferación de los microorganismos y la descomposición rápida de la materia orgánica, con lo cual las plantas cultivadas en suelo disponen de una fuente rápida y eficaz de nutrientes fácilmente asimilables situación que no favorece a las plantas en cultivo sin suelo. Manios (2003) demostró, utilizando desechos sólidos municipales, corteza de árboles de jardinería y desechos de cultivares de olivo y vid, todos compostados que al evaluarlos como sustratos en el cultivo de tomates y pepinos de forma individual la relación C/N obtenida fue alta de 26,09 a 50,25, pero al realizar mezclas y combinaciones entre los mismos materiales los valores de C/N disminuyeron (12,87-16,64) hasta ubicarse en los niveles de referencia.

Por su parte Abad y Noguera (2000) hacen mención al método de Zucconi *et al.* (1991), para la realización de los bioensayos de germinación, ya que apuntan que esta siendo utilizado ampliamente estos últimos años y ha sido adoptado oficialmente en Italia.

3.8. Materiales utilizados en el presente estudio

3.8.1. El Mesocarpio del fruto de la palma de coco (*C. nuccifera* L.)

Burés *et al.* (1988); describe a la fibra de coco (*Cocos lucífera* L.) como un subproducto de la industria del coco que se encuentra en grandes cantidades en los países productores. Los subproductos resultantes del desfibrado del fruto del coco son diversos, destacando las fibras largas, cortas y el polvo o tejido médular, el primero se utiliza para diversas actividades de manufactura (cordelería, tapetes etc.) y el segundo, cuyo aspecto es similar a la turba *Sphagnum*, no se le había encontrado utilidad, sin embargo, actualmente tiene un gran potencial como sustrato orgánico alternativo para cultivo sin suelo de plantas. La mezcla entre fibras cortas y tejido medular están dando excelentes resultados para el cultivo de hortalizas, con la posibilidad de sustituir a la turba *Sphagnum*. (Martinez, 2004)

García y Silicia, 1984 refieren que el bonote o tejido medular es la fibra natural obtenida de las cáscaras del coco, también conocida como fibra de coco.

McGraw-Hill Enciclopedia Of Science and Technology menciona que hay tres tipos principales de bonote: **la fibra para hilo** (para fabricar esteras, tapetes, cuerdas, sogas),

fibra de cerda (fabricación de cepillos, relleno de tapicería) y **fibra de colchón** (se usa en la matriz de los resortes de los colchones, también se usa como material aislante). Solo la fibra mas fina y mas larga es adecuada para hilar, se obtiene de las cáscaras de nueces no maduras y es el principal objetivo económico del cultivo más que un subproducto. La fibra de cerda y la mayoría de la fibra de colchón proviene de nueces maduras y es un residuo de la producción de copra.

García y Silicia, (1984) describen el método de extracción manual de la fibra de coco, el cual requiere un prolongado periodo de humedecimiento en agua salada. Se corta las cáscaras en dos o tres secciones y se sumergen en agua de mar o agua salobre durante 5 a 9 meses para que la fibra pueda separarse al golpear las cáscaras húmedas con mazos especiales. Posteriormente el material fibroso se lava, se seca y se separa en fibras que tienen de 5 a 10 pulgadas de largo y están listas para la hilatura. La extracción mecánica se realiza mediante la trituración de las cáscaras en un juego de rodillos acanalados y el transporte mecánico a estanques de enriamiento. Con la extracción mecánica el enriado se reduce a un período de 3 a 6 semanas. Evans *et al.*, (1996) indican que el mesocarpio o cáscara del coco contiene entre 30% y 40% de fibras de varias longitudes y el resto es tejido medular

Después de separar las fibras largas, el material restante, compuesto de fibras de corta y mediana longitud así como de tejido medular, normalmente recibe la denominación de bonote grado desperdicio (waste-grade coir) (Evans y Konduru, 1996), o desperdicio de bonote (waste coir) (Noguera *et al.*, 2000), pero también se le conoce como polvo de

bonote (coir dust) (Dasoju *et al.*, 1998; Handreck, 1993; Kithome *et al.*, 1999; Pill y Ridley, 1998). El bonote grado desperdicio puede cribarse para quitar parte o toda la fibra y entonces el producto restante es referido como medula de bonote (coir pith); Meerow, 1994), pero también se le denomina polvo de bonote (coir dust) (Evans *et al.* 1996, Meerow 1994, Yau y Murphy, 2000) o se le identifica con algún nombre comercial, por ejemplo “cocopeat” (Yau y Murphy, 2000).

Lo que conocemos como fibra de coco para sustrato hortícola verdaderamente no es la fibra de coco sino una mezcla de fibras cortas (“coconut fiber”) y polvo de coco (“coconut pith”).

García y Daverede, (1994), citado por Kreij y Van Leeuwen, (2001), refieren que el polvo de “bonote de coco” posee buenas características físicas por lo que ha sido probado exitosamente como sustrato según lo afirma Van Holm, (1993) citado por Kreij y Van Leeuwen (2001) y Liyanage (1988) citado por Ayala (1999); reporta que dicho polvo contiene entre 30 y 40% de ligninas aproximadamente por lo que es de lenta descomposición además algunos investigadores mencionan que el color café rojizo de la fibra de coco se debe a la presencia de lignina. Bures (1997) menciona que la fibra de coco consiste en partículas de lignina y celulosa. Padilla (1961) citado por Caraveo (1994), indica que los componentes orgánicos del bonote coco son: lignina, celulosa, hemicelulosa, pectina y ceras. De ellos, los principales componentes del polvo son lignina y celulosa. La naturaleza desarrolló esta única composición de lignocelulosa, la cual, junto con

hemicelulosas y pectinas, son degradadas lentamente por los microorganismos bajo condiciones naturales.

Antheunisse (1980) y Torres (1993), citados por Ayala (1999), mencionan que en las copreras de Tecoman, Colima, México, se está comercializando este material desde hace algunos años, con el nombre de Germinaza ®. Algunas de las características físicas y químicas de este material, se muestran en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Propiedades físicas 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 (mmhos/cm)	10.1	0.7
Materia orgánica	88.2	96.1
Carbono total	51.2	55.8

Fuente: Caraveo (1994).

Este mismo autor indica que el bonote de coco es material de desecho de la industria coprera en todo el mundo, por lo que el polvo de bonote se convierte en un subproducto de otro subproducto, el cual se acumula, la mayoría de las veces en grandes cantidades fuera de las instalaciones copreras, similar a lo que ocurre con el aserrín de la industria forestal.

Cadigal y Magar (1997), citados por Ayala (1999), mencionan que el bonote es un subproducto importante en las plantaciones de cocotero, el cual constituye entre el 35 y 40% del peso total del fruto.

En los años ochenta, en una fase de diversificación de sustratos, apareció la fibra de coco (Petit, 2000), como subproducto industrial de origen tropical, con un gran potencial para utilizarse como sustrato hortícola, alternativo o sustituto de las turbas de *Sphagnum*. Al respecto, Fonteno (1996), indica que este material tiene una curva de retención de humedad similar a la de la turba, con propiedades físicas similares y es, por consiguiente, un buen sustituto de esta, cuando se considera la aireación, el drenaje y la capacidad de retención de agua.

Noguera y Abad (1997) al trabajar con dos tipos de polvo de coco uno procedente de México y el otro de Sri Lanka, observaron que ambos polvos fueron distintos en cuanto a sus características químicas; para pH se observaron valores ligeramente ácidos, alcanzando para la muestra de Sri Lanka 1.7 dS m⁻¹ y de 3.3 dS m⁻¹ para la de México . El contenido total de materia orgánica promedio fue de 91%.

Verdonck *et al.* (1983) señalan que la fibra de coco posee un alto contenido de C (> 45%) y que la adición de 1% de N, este material consume solo pequeñas cantidades de oxígeno, lo cual significa que su degradación es difícil.

La aplicación de fibra de coco mejora la retención de agua, aumenta la disponibilidad de nutrientes y la tasa de infiltración, la porosidad total y la conductividad hidráulica de los

suelos donde se utiliza como enmienda (Burés, (1997), posee un bajo contenido de nutrientes excepto para potasio, por lo que puede ser utilizada como fuente de potasio en cultivos en campo.

No presenta problemas de repelencia al agua, que es lo que ocurre con otros materiales orgánicos. Por su estructura de poros más finos, sus características de retención de agua son mejores en comparación a las turbas (Handreck y Black, 1994; Meggelen y Laagland, 1995), citados por García (1999).

3.8.2. Vermiculita

Abad y Noguera 2000 describen a la vermiculita natural como un silicato hidratado de magnesio, aluminio y hierro, que presenta la siguiente composición: SiO₂ 39.4%, MgO 23.4%, Al₂O₃ 1.1% óxidos de Fe 6.0%, K₂O 2.5%, MnO₂ 0.3%. Pertenece al grupo de los filosilicatos expandibles 2:1, con apariencia a las micas. El material original presenta una estructura trilaminar, con moléculas de agua atrapadas entre las laminas. Si bien el comportamiento de la vermiculita es en cierto modo parecido al de las perlitas con tamaño de partícula similar, las propiedades químicas y el comportamiento mecánico de aquella son, por el contrario, bien diferentes.

La densidad aparente de la vermiculita, una vez expandida, varía entre 0.050 y 0.192 g cm⁻¹, según el tamaño de sus partículas. Es un material muy poroso, superando en ocasiones el

95% del volumen. Tiene capacidad para retener agua dentro de los espacios interlaminares y también entre las partículas individuales, pero presenta una retención de agua disponible muy baja (< 10% vol.) y una elevadísima capacidad de aireación (> 50% vol.)

El pH de la vermiculita es neutro, si bien debido a la presencia de impurezas de naturaleza magnesica puede llegar a presentar una reacción débilmente alcalina. La capacidad de intercambio cationico es elevada entre 90 y 150 $me\ 100\ g^{-1}$, y muy similar al de muchos materiales orgánicos, como, por ejemplo, las turbas. Muchas vermiculitas contienen del 5 al 8% de potasio asimilable, y del 9 al 12% de magnesio, también asimilable.

3.8.3 Bagazo de la industria del mezcal

Aviña (1999) describe al bagazo de la industria del mezcal, como un residuo fibroso, compuesto principalmente por lignina y celulosa mientras que Soffchi, 1999 indica que es un material con alto contenido de humedad; alrededor de un 80%. El cuadro3.2. muestra algunos de los componentes de este material.

Cuadro3.2. Composición del bagazo residual de la industria del mezcal

COMPONENTES	%
Celulosa	43
Hemicelulosa	19
Lignina	15
Nitrógeno total	3
Pectina	1
Azucares residuales	10
Otros	9
Total	100

Fuente: Ilangovan *et al.* (1999), citado por Rodríguez (2004).

Cedeño (1995) y Valenzuela (1997), apuntan que los usos actuales del bagazo de maguey tan solo en un 5% son: como embalaje de loza y relleno de muebles, como combustible para ladrilleras, en la fabricación de colchones y alimento para ganado.

De igual forma Soto *et al.*, 1989; Rodríguez *et al.*, 1999, mencionan su utilización como sustrato en la producción de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* y *Lentinus edodes*) y medicinales (*Ganoderma* spp.), con buenos resultados; pero señalan su mezcla con otros suplementos, como la cascarilla de algodón, con la finalidad de mejorar las condiciones para el desarrollo del hongo.

3.9. Evaluación agronómica

La evaluación agronómica es la última etapa del proceso de caracterización de los materiales que van a utilizarse como sustratos de cultivo, en este, la finalidad de cualquier sustrato de cultivo es producir una planta-cosecha de calidad y abundante en el más corto período de tiempo. En adición, la obtención y eliminación del sustrato, una vez que haya sido utilizado, no deberían provocar un impacto medioambiental de importancia (Abad y Noguera, 2000; Ansorena, 1999).

Garibaldi y de Deambrogio (1989), utilizaron diferentes compostas a partir de lodos urbanos, desperdicio de maíz y corteza de uva, para cultivar plantas de crisantemo,

obteniendo los mismos resultados que las plantas cultivadas en *peat moss* para el crecimiento y floración.

Pasini *et al.* (1989), realizaron evaluaciones utilizando varios materiales como corteza de álamo, paja de arroz, composta de rosa, poliestireno, desechos de algodón y cáscaras de aceituna para cultivar *Diffenbachia spp.*, obteniendo el mejor resultado con las mezclas de *peat moss* y corteza de álamo.

Garibaldi *et al.* (1990), cultivaron begonias utilizando como sustratos desechos de uva, composta de desechos urbanos en mezclas con lombriz de tierra, estiércol de vaca mezclada con lombriz de tierra, hojas y corteza de maíz, y corteza de álamo, estimando el desarrollo vegetal en dos fechas diferentes. En la primera, los mejores resultados se obtuvieron con el sustrato comercial, debido a la disponibilidad de la materia orgánica, sin embargo, para la segunda, todos los sustratos fueron iguales, con excepción de la composta de desechos urbanos quien mostró los más bajos valores.

Por otra parte Rexilus (1990), utilizó fibra de coco, humus de corteza de árboles, cáscaras de arroz y poliestireno como sustrato para cultivar orquídeas y demostró que la fibra de coco fue adecuada para el crecimiento de la planta.

Ansermino *et al.* (1995), utilizaron corteza de pino composteada para cultivar petunias y al evaluar su desarrollo demostraron que las plantas tienden a incrementar el número de flores, altura de planta, retoños y relación retoño raíz.

Sawan *et al.* (1998), al comparar el sustrato *peat moss*, composta de aserrín, vermiculita y residuos de cosecha, para cultivar pepino para semilla, los resultados indicaron que el aserrín puede ser usado como sustituto de la turba *Sphagnum* (*peat moss*) en este cultivo.

Freeman y Cawthon (1999), cultivaron plantas de *Tagetes patula* en compostas de desechos de cama de aves, biosólidos municipales, biomasa sólida de lecherías, heno y aserrín, y encontraron que los desechos de camas de ave composteados con heno tuvieron baja relación C/N, alta porosidad y baja capacidad de retención de agua y produjeron las plantas de peor calidad con alta mortalidad. Los biosólidos y los desechos de camas de ave composteados con aserrín y biomasa de lecherías fueron sustitutos efectivos de la turba *Sphagnum* (*peat moss*).

3.10. Melón

La elección para la utilización de la especie en estudio, se basó fundamentalmente en la importancia económica que tienen en la zona, así como, por ser éste, un cultivo eminentemente de primavera-verano que complementa al ciclo completo de tomate, cultivado en otoño-invierno.

El melón es una planta originaria de África, pero es en la India donde encuentra su punto de dispersión, expandiéndose en todas direcciones y hacia todo el mundo (Deulofeu, 1997). Pertenece a la familia de las cucurbitáceas y su nombre científico es *Cucumis melo* L., posee una variedad tan grande, que diversos investigadores han intentado clasificarlo en

variedades botánicas (Münger y Robinson, 1991). Desde el punto de vista del interés comercial, se han clasificado por “tipos” siendo estos: amarillos, Charentais (lisos o reticulados), Cantaloups, Galias, verdes españoles y otros.

La temperatura óptima de germinación está alrededor de 28-30° C. Con temperaturas inferiores a 13-15° C la planta detiene su desarrollo vegetativo y cuando la temperatura del suelo es inferior a 10-12° C las raíces desarrollan poco. En la floración, para que se realice un perfecto cuaje del fruto, la temperatura debe estar comprendida entre 20 y 23° C. En cuanto a las necesidades de humedad en el ambiente, en el primer desarrollo vegetativo necesita de 65 a 75 % de humedad relativa, descendiendo a partir de la floración a un 60-70 %. Es una planta muy exigente en luminosidad, la cual influye bastante sobre la floración (Serrano *et al.* 1996; Cantón, 1999).

Las plantas de melón poseen un tallo de tipo rastrero con un sistema radical abundante y ramificado, de crecimiento rápido. Además son herbáceos, pilosos, bastantes flexibles y presentan zarcillos. El desarrollo del tallo principal se encuentra limitado por la aparición de las ramas secundarias y por la fructificación. De las axilas de las hojas de este tallo principal nacen las ramas de segundo orden, siendo las 3 y 4 primeras las más desarrolladas. Las flores son pedunculadas y salen de las axilas de las hojas. Las flores masculinas aparecen en primer lugar, sobre los entrenudos más bajos, mientras que las pistiladas (femeninas y/o hermafroditas) empiezan a aparecer en las ramas de segundo o tercer orden (Gómez *et al.*, 1997).

Los frutos para el tipo Cantaloup, son esféricos, de color verde que vira a amarillo intenso en la madurez, con un denso escriturado. Pulpa ligeramente verdosa, poco consistente, con un contenido en azúcar de 10 a 16° Brix. Híbrido muy precoz de origen Israelí, con un peso medio del fruto entre 600 y 1200 g. La longitud del fruto es de alrededor de 130 mm y aproximadamente 134 mm de anchura. El espesor de la corteza varía entre 3 y 8 mm. La duración del ciclo total puede oscilar desde 80 días para las variedades más precoces hasta aproximadamente 100 días para las menos precoces (Canton, 1999).

4.2. Materiales utilizados

Se utilizó bagazo residual de la industria del mezcal, composteado en el lugar de origen (fotografía 4.3), polvo de fibra de coco comercial, obtenido a través de la separación mecánica del mesocarpio (polvo + fibra) del fruto de la palma de coco (*Cocos nucifera* L.) (fotografía 4.4), de la región costa del estado de Oaxaca y vermiculita comercial proporcionada por la empresa Materiales de Antequera S.A. de C.V (fotografía 4.5) . Utilizando estos materiales como base, se realizaron 15 mezclas en diferentes proporciones en volumen (v/v) las cuales se indican en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Mezclas de materiales alternativos para utilizarse como sustratos en cultivos sin suelo de hortalizas

Bagazo de maguey % (v/v)	Fibra de coco % (v/v)	Vermiculita % (v/v)
0	0	100
0	25	75
0	50	50
0	75	25
0	100	0
25	0	75
25	25	50
25	50	25
25	75	0
50	0	50
50	25	25
50	50	0
75	0	25
75	25	0
100	0	0

4.3. Caracterización física

4.3.1. Granulometría

Se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Martínez (1992) y Noguera *et al.* (2000) utilizando una tamizadora tipo Rotap, con los tamices: 16, 8, 4, 2, 1, 0,5, 0,25, y 0,125 mm de luz

4.3.2. Densidad real

Se cálculo siguiendo el método descrito por de Boodt *et al.* (1974), en el que se supone un valor fijo de densidad real para los suelos minerales de 2,65 g cm⁻³ y de 1,45 g cm⁻³ para los sustratos orgánicos.

La ecuación utilizada para el cálculo de densidad real (DR) fué:

$$DR \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{100}{\frac{\% \text{ MO}}{1,45} + \frac{\% \text{ MM}}{2,65}}$$

Donde: MO es el contenido en materia orgánica total y MM materia mineral o cenizas.

4.3.3. Densidad aparente

Se determinó siguiendo el método propuesto por de Boodt *et al.* (1974), el cual se basa en el cálculo del peso seco del sustrato contenido en un cilindro de volumen conocido, sometido previamente a una succión de 10 cm de columna de agua. Para ello se utilizaron anillas de acero inoxidable de 3 y 4 cm de altura y 82 mm de diámetro y tela de nylon, para cubrir la base de las anillas

Procedimiento: un extremo de la anilla de 4 cm. de volumen conocido (V , cm^3), se cubre con tela de nylon y se determina el peso del conjunto (A) con una precisión de 0.1 g. Al otro extremo se acopla la anilla de 3 cm y, en el cilindro formado, se introduce la muestra de sustrato a caracterizar (previamente humectada), sin apemalzar ni apretar, hasta 1 mm del borde superior. A continuación, el cilindro se coloca en un recipiente, al que se le añade agua hasta 0.5 mm del borde superior, y se deja saturar durante 48 horas. Transcurrido este tiempo, y con el fin de someterse a una tensión de 10 cm. de columna de agua, el cilindro se coloca en un baño de arena durante 48 hrs.

El baño de arena consiste en un recipiente cilíndrico de 25 litros, al que se le ha realizado una perforación (drenaje) a unos 15 cm de la base. Se introduce arena y se separan las anillas. Se introduce arena grano fino (0.25 – 0.30 mm) hasta 10 cm. por encima del drenaje y se añade agua en cantidad suficiente para que esta rebose por el mismo. La capilaridad garantiza que la capa de arena por encima de la línea de drenaje se mantenga húmeda. Posteriormente, se saca el cilindro del baño de arena y se separan las anillas. Se

corta con una espátula el material sobrante de la anilla inferior (4 cm) y se pesa el conjunto anilla + sustrato húmedo (B). Finalmente, y siguiendo la metodología propuesta por Martínez (1992), se introduce el conjunto en estufa a 105°C hasta peso constante.

Con los valores de los pesos A, B y C se calculó la humedad (X) según:

$$X (\%) = \frac{B-C}{B-A} 100$$

Todas las determinaciones se realizan por triplicado. Con los valores medios de humedad, se estima la densidad aparente mediante la siguiente ecuación.

$$DA (\text{g cm}^{-3}) = \frac{B-A}{A} \frac{100-X}{100}$$

4.3.4. Espacio poroso total

El espacio poroso total (EPT) se calculó a partir de los datos de densidad real(DR) y densidad aparente (DA), aplicando la siguiente ecuación:

$$EPT (\%) = \left[1 - \frac{DA}{DR} \right] 100$$

4.3.5. Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó según la modificación de Boodt *et al.* (1974) propuesta por Martínez (1992), utilizando la siguiente ecuación:

$$CRA = \frac{B-C}{V} 100$$

El valor de cada muestra se determinó por triplicado y el resultado final se expresó en mL de agua por L de sustrato.

4.4. Caracterización química

4.4.1. Obtención de la pasta saturada y extracto de saturación

La pasta saturada fue preparada siguiendo el método del “extracto de saturación” descrito por Warncke (1986), se tomaron 300 mL de material húmedo y se depositaron en un vaso de precipitado con 500 mL de capacidad. Adicionando agua destilada, agitándolo con una espátula hasta lograr que la saturación presentara un brillo metálico y consistencia pastosa, dejando reposar durante 2.0 horas.

El extracto de saturación fue filtrando en embudos Buchner (15 cm Ø) con papel de filtro. Obteniendo los extractos de los materiales, se les determinaron sus propiedades químicas como conductividad eléctrica, expresada en dS m⁻¹ y pH. Los cuales se determinaron utilizando el equipo Hanna instrument mod. 3675

4.4.2. Contenido en cenizas y materia orgánica

Para la obtención del contenido de cenizas y materia orgánica se siguió la metodología propuesta por Martínez (1992). Para ello, se pesaron 5 g de material seco a 105°C en un crisol de porcelana de 8 cm de diámetro. Tras calcinar a 550 ± 25 °C en horno mufla durante cuatro horas, se enfrió en desecador y se peso en báscula analítica. La materia mineral (MM) presente en la muestra se expresó como porcentaje de residuo seco referido a la mas seca inicial. La materia orgánica total (MO) se calculó como porcentaje de pérdida de masa referida a la masa seca inicial.

4.5. Caracterización Biológica

Bioensayos de germinación

Se realizaron con base al método indicado por Zucconi y Bertoldi (1991). Para lo cual se utilizaron semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), se colocaron 20 semillas, para su germinación en cajas Petri, a las cuales, primeramente se les coloco papel filtro y posteriormente las cuales fueron humectadas con 1 mL de agua y 5 mL del extracto de bagazo de maguey y fibra de coco con tres repeticiones respectivamente; la vermiculita se utilizo como testigo, a las mismas concentraciones y con el mismo número de repeticiones (fotografía 4.6).

Variables evaluadas

Las muestras analizadas se realizaron por triplicado. El porcentaje de germinación se determinó, mediante el conteo de las semillas germinadas, contrastadas con las obtenidas en agua destilada. El tamaño de la radícula y de la planta, se obtuvo de manera directa, utilizando papel milimétrico y cuantificando a los 6 días posteriores a la germinación.

FASE II. Evaluación agronómica bajo invernadero, de materiales alternativos para utilizarse en el cultivo sin suelo de melón

4.6. Producción de plántula de melón

El semillero se realizó de acuerdo a lo indicado por Muñoz (2004), utilizando charolas de unicel de 200 cavidades. Como sustrato único se utilizó la turba *Sphagnum* y la variedad de melón utilizada fue: Top Marck Shamrock (fotografía 4.7). Las plántulas, una vez germinadas, fueron regadas en días alternos con agua y solución nutritiva. Durante 37 días permanecieron en semillero, mostrando condiciones de vigor y sanidad aceptables para su trasplante en invernadero.

4.7. Materiales utilizados y unidad de cultivo

Los materiales utilizados fueron los mismos que se indican en el cuadro 5.1. Las mezclas se realizaron manualmente y los materiales una vez mezclados fueron depositados en bolsas de polipropileno negro calibre 700 de 18 litros de capacidad. Lo cual dió como resultado quince tratamientos con las combinaciones de fibra de coco, bagazo de maguey y

vermiculita en proporciones de 0, 25, 50, 75 y 100 % (v/v). Cada unidad de cultivo consistió en 3 bolsas por tratamiento, con tres repeticiones cada una, conteniendo cada bolsa dos plántulas de melón (fotografía 4.8).

4.8. Sistema de fertirrigación

El sistema de riego fue por goteo. La succión del agua y fertilizantes (fertirriego), se realizó a través de un sistema de “venturis”, accionados por una electrobomba de ½ H.P. Para lo cual se dispuso de tres tanques de plástico dos de 1000 L y el tercero de 20 L, para el ácido. La distribución de los fertilizantes una vez mezclados, más el agua y el ácido, hacia el invernadero se realizó con goteros tipo “botón” con gasto de 3 L por hora (fotografía 4.9).

En los ensayos experimentales, se trabajó con un emisor por bolsa. Los caudales unitarios de los goteros fueron de 3 L hora⁻¹ a una atmósfera de presión. El tipo de emisor fue el denominado antidrenantes, directamente insertados sobre la tubería portagoteros y unido a la pinza por un microtubo de 60 cm de longitud y 3 mm de diámetro .

4.9. Método de fertirrigación

Fue de riegos a tiempo, cortos y frecuentes la solución nutritiva de partida estuvieron basadas en las recomendaciones de Sonneveld (1980), modificada por Urrestarazu (2000), mismas que se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Disoluciones nutritivas de partida aplicada en el experimento de sustratos alternativos en cultivo sin suelo de melón

Cultivo	pH	(dS m ⁻¹)(mmol L ⁻¹)								
		CE	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Melón	5,80	1,80	-	13,00	2,30	2,20	-	7,00	4,25	2,20

Fuente: Urrestarazu (2000)

El pH y la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva fueron ajustados manualmente, así como el tiempo y frecuencia del riego según el estado fenológico del cultivo. Al manejar por primera vez los materiales utilizados como sustratos y las diferentes mezclas, el porcentaje de drenaje de las bolsas, fue variable, por lo cual se ajustaba el riego a la conductividad eléctrica del drenaje. El tiempo útil de duración del fertirriego fue de 60 días.

4.10. Prácticas de cultivo

Ciclo de primavera-verano 2006. El transplante a los sacos o tratamientos fue manual, utilizando plantas de 35 días de edad, se realizó el 7 de marzo del 2006, concluyendo el 30 de junio del mismo año. Para lo cual se utilizó un marco de plantación de 2,0 x 0,5 m, con una densidad de 1 planta m⁻².

Se llevó a cabo un sistema de tutores no convencional en México, que fue de tipo vertical. Las plantas fueron guiadas (tutoradas) a un sólo tallo, sujetas en su base con rafia de color negro, enrollada a lo largo del tallo y sujetada en la parte más alta de la planta con el alambre del entramado, colocado en todo el invernadero para este fin (fotografía 4.10). La

poda consistió en la eliminación del tallo principal, dejando dos ramas laterales vigorosas, para posteriormente eliminar la más débil y así dejar una planta a un sólo tallo.

La polinización se realizó manualmente utilizando pinceles con cerdas de textura fina, actividad que fue llevada a cabo tres veces por semana, después de las 10 a.m. (fotografía 4.11).

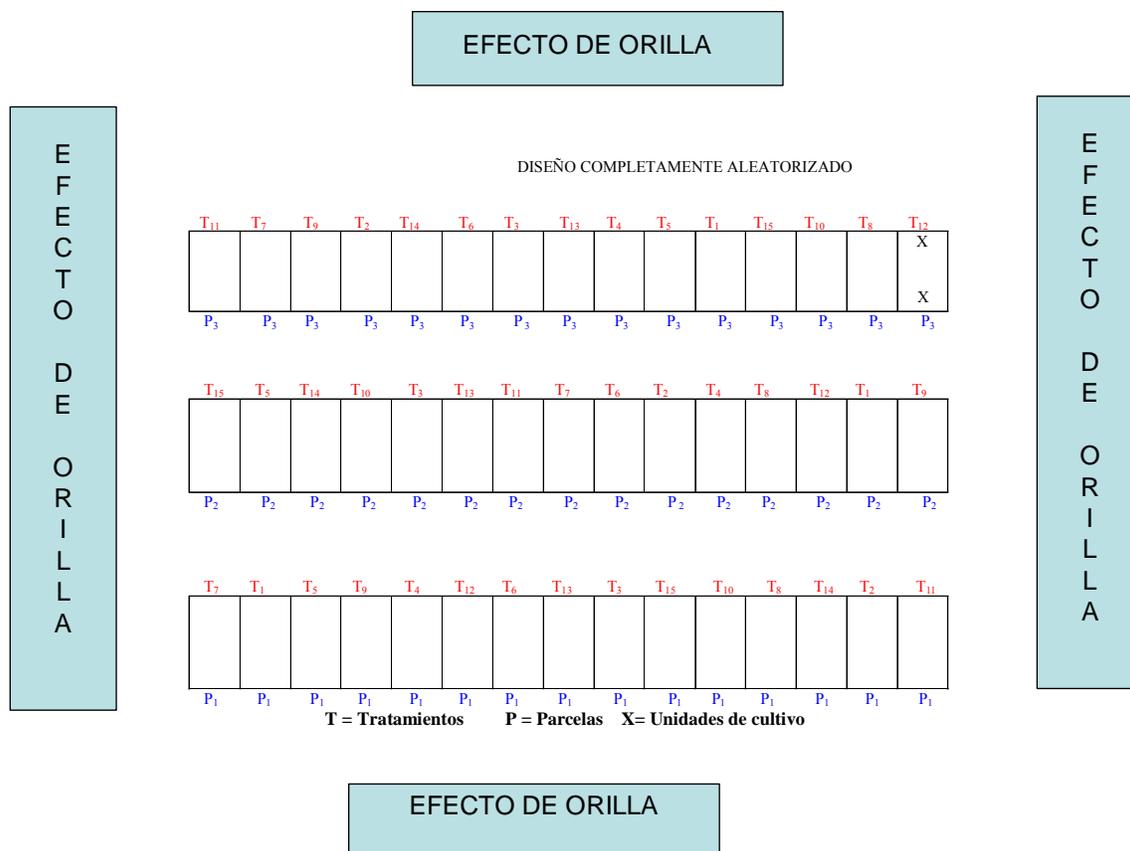
Se recogieron los frutos cada 8 ó 15 días, dependiendo de la madurez comercial. Estas recogidas se realizaron por tratamiento y repetición y para su clasificación en comerciales y no comerciales se siguió el criterio indicado por la norma de calidad SOIVRE: OM 29-6-84; B.O.E. 5-7-84 (Cantón, 1999), que de detalla a continuación (fotografía 4.12a y 4.12 b).

- Con un grado suficiente de desarrollo y madurez
- Con la forma y el color característico de la variedad
- La graduación mínima en sólidos solubles será de 8° Brix, excepto en el Cantaloup cuya madurez mínima se determina por el color zanahoria de la pulpa.
- Melones extratempranos (aromáticos), Galia y otros híbridos, tendrán un peso no inferior a 400 g pieza⁻¹
- Melón cantaloup, peso no inferior a 300 g pieza⁻¹
- Melón Tendral y Cuper, peso no inferior a 700 g pieza⁻¹

4.11. Diseño experimental y análisis estadístico

4.11.1 Descripción y organización física del experimento

Se realizó un solo tipo de diseño experimental *completos al azar*. En éste los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente en el invernadero, colocando el grupo de 2 bolsas como unidad experimental (Infante y Zárate (1984).



4.11.2 Variables evaluadas

Los parámetros de cosecha fueron: producción comercial y no comercial expresados en kg m⁻²; frutos comerciales y no comerciales, expresados en frutos m⁻². Para la determinación

del peso del fruto se utilizó una báscula Mettler, modelo BD601. Para la clasificación de frutos comerciales y no comerciales se siguieron los criterios indicados en el apartado 4.10.1

4.12. Tratamiento matemático

4.12.1. Análisis de la varianza y comparación de medias

Para el análisis de varianza del diseño experimental tanto en la caracterización física, fisico-química y biológica, así como en la evaluación agronómica se utilizaron los criterios descritos por, Infante y Zárate (1984).

Para la comparación de medias de la caracterización física, fisico-química y biológica, se utilizó la prueba de la *diferencia significativa mínima*, siguiendo también el criterio de Infante y Zárate (1984). Eligiendo los niveles de significación que cabría esperar con una probabilidad de incertidumbre del 5 por ciento, designado frecuentemente como significativo.

4.12.1 Ajuste de ecuaciones rectilíneas y sus coeficientes de correlación

En la caracterización física y fisico-química de los materiales evaluados se realizaron diversas ecuaciones rectilíneas y sus coeficientes cuadráticos de correlación lineal. Para la realización de todos estos tratamientos se utilizó el programa estadístico *Statgraphics Plus 4.1* (Statistical Graphics Corp., 2000), así como el programa y *Microsoft Excel 2000*.



Fotografía 4.1. Laboratorio de suelos del CIIDIR



Fotografía 4.2. Invernadero del CIIDIR- Oaxaca



Fotografía 4.3. Bagazo de maguey mezcalero



Fotografía 4.4. Polvo de la fibra de coco



Fotografía 4.5. Saco de vermiculita



Fotografía 4.6. Bioensayos de germinación



Fotografía 4.7. Siembra de las semillas de melón en charolas



Fotografía 4.8. Bolsas plásticas utilizadas en el experimento



Fotografía 4.9 Sistema de fertirriego



Fotografía 4.10 Tutoreo con rafia



Fotografía 4.11. Polinización manual



Fotografía 4.12a. Fruto para corte



Fotografia 4.12b. Frutos para consumo

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FASE I. Caracterización física, química y biológica de materiales regionales en forma pura y en mezclas

5.1. Caracterización física

Los parámetros físicos de los materiales susceptibles o potenciales para ser utilizados como sustratos de cultivos, deberán de ser los primeros en determinarse, pues una vez que el sustrato esté en el contenedor y la planta creciendo, no es posible modificar las características básicas de estos materiales (Abad *et al.*, 2002).

5.1.1. Distribución del tamaño de partícula o granulometría

Las propiedades físicas de los sustratos dependen en gran medida de la distribución del tamaño de partícula, por lo que modificando o seleccionando adecuadamente esta característica, se pueden alcanzar unas propiedades óptimas (Ansorena, 1999).

Al realizar la comparación de la distribución de tamaño de partícula de los materiales; polvo de coco, bagazo de maguey mezcalero y vermiculita, se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre la vermiculita, pero comportamientos muy similares para polvo de coco y bagazo de maguey mezcalero (figura 5.1).

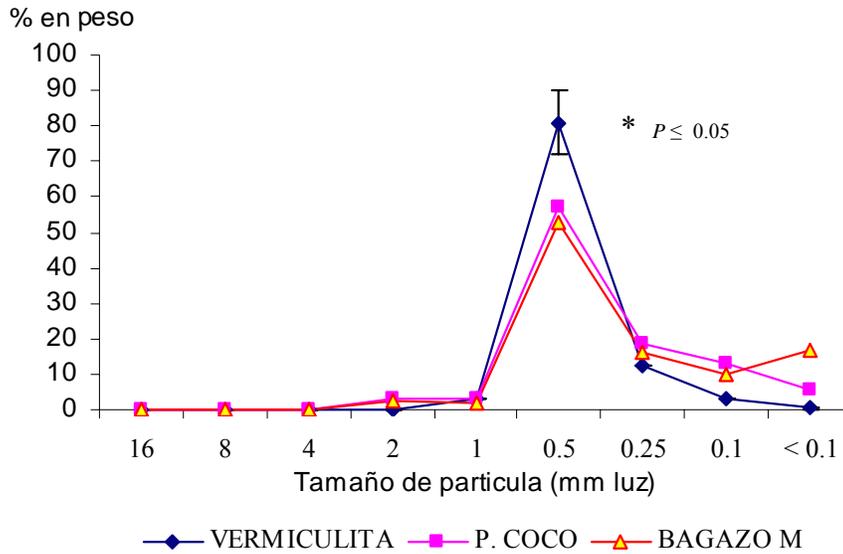


Figura 5.1. Distribución de tamaños de partícula de materiales orgánicos e inorgánicos en forma pura, para ser utilizados como sustratos de cultivos.

Como puede observarse, los tres materiales de manera individual o puros, están constituidos por partículas de un reducido intervalo, como representación de su porcentaje en peso, las cuales se concentran entre 1 y 0.25 mm de luz, con muy poca presencia de partículas mayores a 1 mm, esto puede afectar al espacio poroso total y a la capacidad de retención de agua, mayoritariamente en la vermiculita. El intervalo mostrado por los sustratos orgánicos; polvo de coco y bagazo de maguey, son muy semejantes, en comparación a la vermiculita, cuya curva de distribución es más alta que ancha, es decir de los tres materiales, es la que muestra mayor % en peso de partículas entre 1 y 0.25 mm de luz y muy poco material menores o mayores a este intervalo.

Las mezclas en volumen (v/v) aumentando paulatinamente el bagazo de maguey mezcalero y disminuyendo el de polvo de coco, se muestra en la figura 5.2. La mezcla de

25 % (v/v) de maguey mezcalero + 75 % (v/v) de polvo de coco, mostró mayor intervalo de tamaños, disminuyendo la proporción de partículas entre 1 y 0.25 y aumentando el contenido de partículas de 1 a 8 mm, como también las menores a 0.1 mm de luz. Esta mayor distribución repercutirá invariablemente en el mejoramiento de algunos parámetros físicos como espacio poroso total y capacidad de retención de agua entre otros.

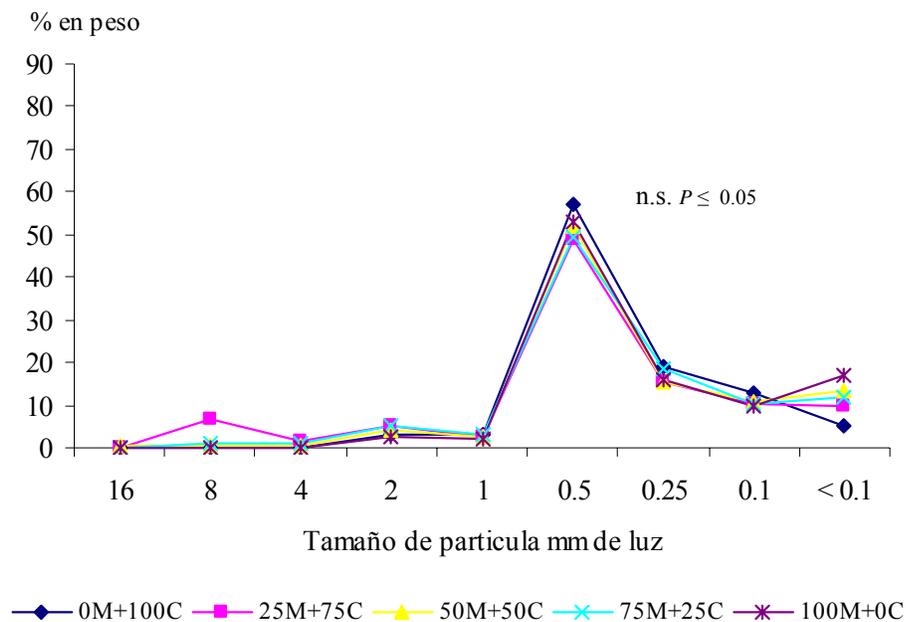


Figura 5.2. Comportamiento de la distribución de tamaños de partícula aumentando proporcionalmente el bagazo de maguey mezcalero (M) y disminuyendo el volumen del polvo de coco (C).

Diversos estudios mencionan la importancia de las partículas con dimensiones menores a 1 mm, e indican que las partículas mayores tienen poca importancia en la retención de agua (Ansorena, 1999).

Las mezclas entre materiales orgánico e inorgánicos, como el bagazo de maguey mezcalero y la vermiculita, mostraron diferencias significativas, únicamente entre los tratamientos que contenían: 75 % de maguey + 25 % (v/v) de vermiculita, en comparación a la mezcla conteniendo 0 % de maguey + 100 % de vermiculita. La primer mezcla disminuyo en un 30 % la proporción en peso del intervalo de partículas 1 y 0.25 mm de luz (figura 5.3) y aumento considerablemente la presencia de partículas muy finas (< a 0.1).

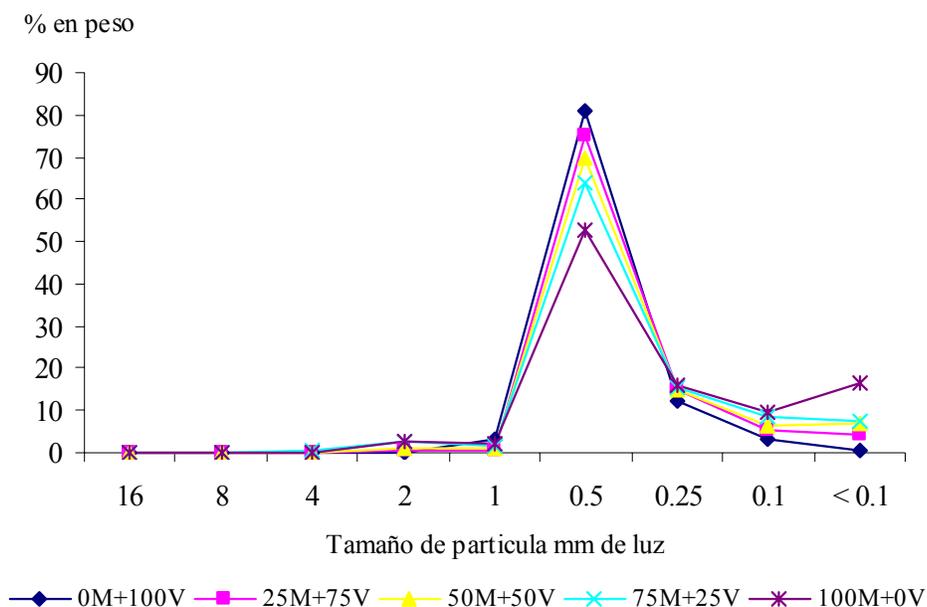


Figura 5.3. Comportamiento de la distribución de tamaños de partícula aumentando proporcionalmente el bagazo de maguey mezcalero (M) y disminuyendo el volumen de la vermiculita (V).

Esta mejor distribución del tamaño de partículas, invariablemente mejorará algunas características físicas y repercutirá en mejor producción de cosechas o producción de plantas en contenedor. Estos resultados confirman lo indicado por: Abad *et al.* (2002) y Ansorena, (1999), quienes indican que difícilmente un material reúne por si solo las

características físicas, químicas y biológicas más adecuadas para unas determinadas condiciones de cultivo y que en la mayoría de los casos es necesario mezclarlo con otros materiales.

5.1.2. Densidad aparente

Los resultados obtenidos para los diferentes parámetros físicos estudiados, se muestran en el cuadro 5.1. Todos los materiales regionales, tanto solos como en mezclas mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), para los valores de densidad aparente y real, espacio poroso total, capacidad de retención de agua y porcentaje de humedad.

La densidad aparente de los materiales susceptibles de utilizarse como medios de cultivo en contenedor juega un papel importante para su traslado y manipulación a los lugares de producción de plantas o cosechas; a mayor valor de densidad aparente mayor peso y mayor será el esfuerzo para mover los contenedores, aunque también un bajo valor de densidad aparente, la planta crecida en él, no soportará la fuerza del viento si está es cultivada al aire libre. Todos los materiales analizados en el presente estudio, tanto solos como en mezclas mostraron valores de densidad aparente iguales o inferiores al nivel de referencia (Abad *et al.*, 2002, lo que indica que este parámetro no es restrictivo para su uso en contenedor. El amplio rango de valores encontrados en las 15 muestras analizadas, se debe a la variación en el tamaño de partículas como respuesta a las mezclas efectuadas, variaciones que fueron

similares a la indicadas por Gruda y Schnitzler (2001), en el sustrato fibra de pino en forma pura y en mezclas con turba, quienes obtuvieron rangos de valores para este parámetro de 0.083 a 0.204 g cm⁻³, atribuyéndole el aumento de este valor a la disminución en el tamaño de partícula. Similares resultados también fueron encontrados por Kondurú *et al.* (1999) para el polvo de la fibra de coco.

5.1.3. Densidad real

La densidad real de los materiales es la relación entre la masa del material sólido seco (a 105 °C) y el volumen real ocupado por las partículas que lo forman excluyendo el espacio poroso (Martínez, 1992). Los valores de todos los materiales estudiados, se encontraron en el nivel de referencia. Los máximos valores se obtuvieron con la vermiculita sola (2.49 g cm⁻³) y en mezcla con 75 % v/v y 25 % de fibra de coco (2.46 g cm⁻³). Estos valores están relacionados con el origen mineral de la vermiculita; que es un material no orgánico, al igual que el sustrato lana de roca, quien posee un valor de densidad real cercano a la vermiculita 2.56 g cm⁻³ (Islam *et al.*, 2002). Como se sabe la lana de roca es el material mundialmente considerado como aquel que reúne las mejores características físicas, las cuales se ven reflejadas en una elevada producción de los cultivos que en ella se cultivan.

5.1.4. Espacio poroso total

La porosidad de un sustrato por si sola, aun teniendo un alto valor, no refleja una buena estructura o textura del material, por lo que es necesario conocer la relación entre la

porosidad que proporciona el aire y aquella que proporciona el agua (Abad *et al.*, 2002). Los valores obtenidos en los 15 materiales analizados muestran elevados valores para espacio poroso total, casi todos dentro del nivel óptimo a excepción del bagazo de maguey mezcalero en forma pura (100 % v/v), quien mostró un valor de 76.51 %. Si bien este valor no se encuentra en el nivel de referencia, tampoco se encuentra muy alejado de él, por lo que no tiene serias repercusiones en su utilización como sustrato de cultivo, así lo demostraron Urrestarazú *et al.* (2000) con el sustrato cáscara de almendra en dos texturas (finas y gruesas) quienes obtuvieron valores de 70.97 y 72.08 % respectivamente, sin mayores problemas en el crecimiento de melón (*C. melo* L.) y tomate (*L. esculentum* Mill.) bajo invernadero.

5.1.5. Capacidad de retención de agua

La capacidad de agua o de contenedor se define como la cantidad de agua máxima en un sustrato – inicialmente saturado – una vez que ha cesado el drenaje libre a través de los orificios de la base del contenedor (Bunt, 1988; Handreck y Black, 1991). La gran mayoría de los valores obtenidos para este parámetro, se encontraron en el nivel de referencia. La menor capacidad de retención de agua, se obtuvo con el 25 % (v/v) de los materiales fibra de coco y 75 % (v/v) de vermiculita y el mayor con el 50, 25 y 25 % (v/v) de la mezcla de: bagazo de maguey mezcalero, fibra de coco y vermiculita respectivamente, la cual supero en 5 % el máximo valor de referencia (584 ml agua/L sustrato). Tanto el menor como el máximo valor indican diferencias para la frecuencia y volumen de los riegos, por un lado, el cultivo conteniendo la mezcla con el mínimo valor de capacidad de retención de agua, se

aplicaran riegos más frecuentes y por el otro el contenedor que contendrá el máximo valor de la mezcla de sustratos se tendrá un manejo contrario al primero, sin embargo para un riego eficiente, es necesario recurrir a los valores del agua fácilmente disponible y agua de reserva.

Cuadro 5.1. Propiedades físicas de materiales regionales, solos y en mezclas para utilizarse como sustratos en la producción de plantas y cosechas

Combinaciones			Densidad aparente (g cm ⁻³)	Real (g cm ⁻³)	Espacio poroso Total (%)	C. R. A. (ml agua/L sustrato)	Humedad (%)
A	B	C					
0	0	100	(v/v) 0.25 d	2.49 a	89.90 abcd	482.91 bc	65.59
0	25	75	(v/v) 0.37 a	2.46 a	84.90 ef	334.17 d	46.35
0	50	50	(v/v) 0.22 de	2.33 b	90.54 abc	380.57 cd	62.56
0	75	25	(v/v) 0.21 de	2.01 d	89.13 abcd	578.91 ab	72.92
0	100	0	(v/v) 0.13 de	1.64 hi	91.48 ab	565.15 ab	81.13
25	0	75	(v/v) 0.35 abc	2.35 b	84.80 ef	564.63 ab	61.2
25	25	50	(v/v) 0.29 bcd	2.10 c	86.12 de	544.47 ab	65.1
25	50	25	(v/v) 0.22 de	1.91 e	88.38 bcde	540.47 ab	70.83
25	75	0	(v/v) 0.11 f	1.57 j	92.53 a	526.51 ab	81.65
50	0	50	(v/v) 0.36 ab	2.03 d	81.86 f	585.13 ab	61.33
50	25	25	(v/v) 0.24 d	1.93 e	87.23 cde	636.83 a	72.09
50	50	0	(v/v) 0.15 ef	1.59 ij	84.80 ef	605.62 a	79.29
75	0	25	(v/v) 0.28 cd	1.84 f	90.08 abcd	553.82 ab	66.1
75	25	0	(v/v) 0.25 d	1.66 h	84.60 ef	607.01 a	70.98
100	0	0	(v/v) 0.41 a	1.75 g	76.51 g	410.45 cd	46.55
Significancia			*	*	*	*	*
Nivel óptimo			< 0.40	1.45 - 2.65	> 85	461-584 ⁽ⁱⁱ⁾	85.9-87.92 ⁽ⁱⁱ⁾

A: Bagazo de maguey; B: Fibra de coco, C: Vermiculita; C.R.A.; Capacidad de retención de agua

a, b, c; Medias con la misma letra en cada columna, son estadísticamente iguales

⁽ⁱⁱ⁾: Noguera (2003)

*: Significancia $P \leq 0.05$ fue determinado por el test de la DSM

5.2. Caracterización química y físico-química.

Las propiedades físicas y químicas de los sustratos caracterizan la transferencia de materia entre el sustrato y la solución del mismo. Reacciones de disolución e hidrólisis minerales

caracterizan a las químicas, mientras de intercambio de iones a las físico-químicas y de biodegradación de la materia orgánica a las bioquímicas (Abad *et al.*, 2002).

Los resultados obtenidos para los principales parámetros físicos y físico-químicos de los materiales analizados, se muestran en la tabla 5.2. El extracto de la pasta saturada de todos los materiales orgánicos e inorgánicos analizados tanto solos como en mezclas mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.05$), para los valores de pH, conductividad eléctrica y porcentaje de materia orgánica.

5.2.1. pH

Las plantas pueden sobrevivir en un amplio intervalo de valores de pH del sustrato, sin manifestar desordenes fisiológicos de consideración, siempre y cuando todos los elementos se suministren en forma “asimilable”, no obstante, el crecimiento y desarrollo de la mayoría de las plantas se ve afectada por valores extremos de acidez o alcalinidad (Noguera, 2000). El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilabilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica (Bunt, 1988; Handreck y Black, 1991). El valor óptimo de pH de los sustratos orgánicos, es también el más favorable para la actividad de los microorganismos beneficiosos para las plantas como: bacterias nitrificantes, hongos micorrizicos etc. (Handreck y Black, 1991).

El comportamiento de los valores de pH en el extracto de la pasta saturada (Cuadro 5.2) muestra dos grupos con claras diferencias para este parámetro. En el primero, se encuentran aquellos valores provenientes de la fibra de coco en forma pura y en mezclas

tanto con bagazo de maguey mezcalero como con vermiculita, en todos ellos, los valores obtenidos se encontraron en un rango de pH entre 6.54 a 6.87, ubicándose en el nivel óptimo (5.20 a 6.80). Mientras que el segundo grupo, integrado por todos aquellos materiales conteniendo bagazo de maguey mezcalero y vermiculita solos o en mezclas, sus valores de pH superaron al nivel de referencia, arrojando valores mayores a 6.8. Estos valores de pH superiores al óptimo, pueden disminuir la asimilabilidad de los siguientes elementos: P, Fe, Mn, B, Zn y Cu (Petersen, 1994) y por lo general, se presentan en materiales orgánicos como la corteza de pino (Abad *et al*, 2002). Estos resultados sugieren la corrección del pH tanto del bagazo de maguey mezcalero como de la vermiculita, la cual se consigue mediante la adición de azufre en cantidades que estarán en función al pH deseado de acuerdo a cada especie vegetal en particular, pues es bien sabido que el cultivo de plantas ornamentales en contenedor oscila entre 5.2 y 6.3. (Abad *et al.*, 1998), mientras que en el caso del cultivo sin suelo de hortalizas se sitúa entre 5.5 y 6.8.

Cuadro 5.2. Propiedades físico-químicas de materiales regionales, solos y en mezclas para utilizarse como sustratos en la producción de plantas y cosechas

Combinaciones (% en v/v)				pH	CE (d Sm ⁻¹)	Materia Orgánica (%)
A	B	C	(%)			
0	0	100	(v/v)	7.99 abc	1.02 f	7.33 j
0	25	75	(v/v)	6.87 ef	1.65 e	9.24 j
0	50	50	(v/v)	6.48 g	2.39 cd	16.03 j
0	75	25	(v/v)	6.62 fg	2.30 d	37.93 g
0	100	0	(v/v)	6.54 g	2.34 cd	74.15 bc
25	0	75	(v/v)	7.73 cd	1.04 f	15.21 i
25	25	50	(v/v)	6.93 e	1.79 e	31.06 h
25	50	25	(v/v)	7.14 e	2.77 bc	46.10 f
25	75	0	(v/v)	7.87 bc	3.59 a	81.85 a
50	0	50	(v/v)	7.09 e	2.31 d	36.34 g
50	25	25	(v/v)	7.91 abc	0.94 f	44.91 f
50	50	0	(v/v)	7.48 d	2.56 bcd	79.29 ab
75	0	25	(v/v)	8.19 a	0.92 f	52.26 e
75	25	0	(v/v)	7.86 bc	2.89 b	71.05 c
100	0	0	(v/v)	8.05 ab	1.50 e	61.72 d
Significancia				*	*	*
Nivel óptimo				5.20-6.80	1.00-5.00	> 80

A: Bagazo de maguey; B: Fibra de coco, C: Vermiculita; C.R.A; Capacidad de retención de agua a, b, c; Medias con la misma letra en cada columna, son estadísticamente iguales

*: Significancia $P \leq 0.05$ fue determinado por el test de la DSM

5.2.2. Salinidad (conductividad eléctrica)

Se refiere a la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato. Según (Bunt, 1988 y Lemaire *et al.* 1997), las causas que originan un incremento en la salinidad del sustrato una vez introducido en el contenedor, son: la presencia de fertilizantes insolubles –como los de libración lenta- cuando se degradan para producir nitratos o bien cuando liberan sales mediante difusión en cantidades superiores a las absorbidas o lixiviadas y cuando el sustrato presenta una alta capacidad de intercambio catiónico y al mismo tiempo, se descompone al paso del tiempo liberando nutrientes.

Los resultados obtenidos mostraron diferencias altamente significativas para la salinidad de los diferentes materiales evaluados en forma pura y en mezclas ($P \leq 0.05$). Todos los valores obtenidos en el extracto de la pasta saturada, estuvieron en el intervalo de referencia, lo cual indica que para este parámetro, los materiales en estudio no tendrán problemas al utilizarse como medios de cultivo en plantas y cosechas. De manera general se puede apreciar que los más bajos niveles de conductividad eléctrica (1.02 dS m^{-1}) se obtuvieron en la vermiculita pura (100 % v/v) y mezclada con bajo porcentaje de bagazo de maguey mezcalero (25 % v/v) (1.04 dS m^{-1}), mientras que el máximo valor se obtuvo en el tratamiento con porcentaje altos de fibra de coco y bajo de maguey mezcalero (75 + 25 % v/v respectivamente), este resultado confirma lo indicado por Noguera *et al.* (2000), al evaluar el polvo de fibra de coco de diferentes orígenes, indican que el material procedente de algunas zonas costeras de México presenta altos contenidos de sales ($>3.87 \text{ dS m}^{-1}$). Sin embargo los resultados obtenidos en la presente investigación, muestran que el polvo de fibra de coco obtenido directamente de la separación del mesocarpio del fruto los contenidos de sales son bajos sin superar los niveles de referencia, mientras que la salinidad del bagazo del maguey mezcalero es bastante satisfactoria para cualquier especie vegetal. A pesar de esto es bien sabido que los niveles de salinidad en el sustrato van a estar en función de la especie vegetal a cultivar y que un exceso de sales puede ser corregido a través del uso del agua de riego mediante la aplicación de un excedente de la misma, la cual varía en función a la época del año, el estado de desarrollo de la planta y la calidad del agua de riego.

5.2.3. Contenido de materia orgánica

La materia orgánica especialmente las sustancias húmicas contienen grupos funcionales cargados negativamente; carboxílico, enólico, fenólico, etc. que son los responsables de la capacidad de los materiales orgánicos para retener los cationes en forma no lixiviable.

Los resultados obtenidos en la presente investigación, muestran diferencias altamente significativas entre los diferentes materiales evaluados para el contenido de materia orgánica. La vermiculita al ser un material no orgánico, mostró los más bajos valores, mientras que el polvo de coco y bagazo de maguey en forma pura y en mezclas al 50 % (v/v) con fibra de coco, mostraron los máximos valores, pero significativamente inferiores al nivel óptimo. Los valores obtenidos en el presente estudio para el polvo de fibra de coco son inferiores a los encontrados por Noguera *et al.* (2000), al comparar diferentes orígenes del polvo de coco, el cual también fue inferior al de la turba *Sphagnum*.

Según estudios realizados por Rodríguez 2004; la pérdida de la materia orgánica de todos los sustratos se atribuye a los compuestos orgánicos solubles en agua (entre ellos, los ácidos fenólicos). La poca pérdida de materia orgánica permite también considerarlos como materiales bioestables; la bioestabilidad es una propiedad de un material orgánico de perder poco peso y conservar sus características físicas y químicas originales durante varios meses, especialmente cuando se encuentran plantas creciendo en él.

5.3. Caracterización Biológica

5.3.1 Bioensayos de germinación

Todos los materiales orgánicos frescos que presenten potencialidad para utilizarse como medios de cultivo, invariablemente contendrán en diferentes cantidades sustancias fitotóxicas (fenoles, amoníaco, ácidos alifáticos de cadena corta etc.) que repercutirán en la inhibición de la germinación de las semillas y la reducción del crecimiento de la radícula. Por esta razón es importante realizar bioensayos de germinación, como métodos rápidos para evaluar la calidad de los sustratos de cultivo (Abad *et al.*, 2002). El extracto de la pasta saturada de los materiales evaluados tanto puros como en mezclas mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de germinación, tamaño de la raíz y parte inicial del tallo de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). De manera general, la mezcla de bagazo de maguey y fibra de coco aumentaron ligeramente el porcentaje de germinación o lo que es lo mismo, la redujeron, mientras que la mezcla de cualquiera de los dos materiales orgánicos con la vermiculita la aumentaron (Cuadro 5.3). Todos estos valores fueron superiores al nivel aceptable ($> 50\%$) (Abad *et al.*, 2002), para ser utilizados como abonos orgánicos (Zucconi y Bertoldi, 1991), al igual que para los resultados obtenidos por Ortega *et al.* (1996) en ocho especies hortícolas utilizando extractos de cortezas de *Quercus suber* L. con diferentes métodos de lavados con agua caliente y fría. Tanto el crecimiento de la radícula como la del tallo, no se vieron afectadas por el extracto de los materiales evaluados: Para el crecimiento radicular, todos los valores obtenidos fueron iguales o superiores al obtenido por Ortega *et al.* (1996) también en

plantas de lechuga. Sin embargo se observa que el uso del bagazo de maguey superó ligeramente en crecimiento radicular a la fibra de coco y fue superior a la vermiculita. Este comportamiento fue similar para la variable longitud del tallo.

Todos los sustratos, incluso los relativamente estables, son susceptibles a la degradación biológica continua, por lo que la velocidad a la cual un sustrato se oxida depende de su composición química y de las condiciones físicas del ambiente, entre las que destacan: temperatura, humedad, oxígeno, pH, nutrientes y la relación carbono nitrógeno, así como composición de lignina, celulosa y hemicelulosa y el avance de degradación del sustrato expuesto a la microbiota, la cual es responsable de deficiencia de oxígeno y nitrógeno, así como de la liberación de sustancias fitotóxicas y concentración del sustrato (Cabrera, 1998; Labrador, 2001; citado por Rodríguez 2004).

Cuadro 5.3. Determinación de algunas propiedades biológicas de materiales regionales, solos y en mezclas utilizando semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L).

Combinaciones (% en v/v)				Germinación ¹	Longitud ¹ (cm)	
A	B	C	(%)	(%)	tallo (cm)	Raíz ¹
0	0	100	(v/v)	85.00 c	3.82 g	1.42 e
0	25	75	(v/v)	87.00 b	5.19 def	1.66 de
0	50	50	(v/v)	86.33 b	6.29 abcd	2.23 cd
0	75	25	(v/v)	86.67 b	7.53 a	3.22 ab
0	100	0	(v/v)	86.00 b	6.72 abc	2.26 cd
25	0	75	(v/v)	85.67 b	4.69 efg	2.64 bc
25	25	50	(v/v)	85.33 b	3.48 g	3.69 a
25	50	25	(v/v)	82.33 c	7.28 a	3.48 a
25	75	0	(v/v)	90.00 a	6.51 abc	2.51 c
50	0	50	(v/v)	84.33 b	5.58 cdef	3.57 a
50	25	25	(v/v)	86.00 b	7.01 ab	3.77 a
50	50	0	(v/v)	86.33 b	5.82 bcde	3.31 a
75	0	25	(v/v)	86.33 b	7.1 ab	3.51 a
75	25	0	(v/v)	87.67 b	4.38 fg	2.13 cd
100	0	0	(v/v)	85.33 b	7.38 a	3.41 a
Significancia				*	*	*
				> 50 %		

A: Bagazo de maguey; B: Fibra de coco, C: Vermiculita;

a, b, c; Medias con la misma letra en cada columna, son estadísticamente iguales

*: Significancia $P \leq 0.05$ fue determinado por el test de la DSM

¹: Obtenido mediante el extracto de la pasta saturada

FASE II. Evaluación agronómica bajo invernadero, de materiales alternativos para utilizarse en el cultivo sin suelo de melón (*C. melo* L).

5.4. Evaluación agronómica

La evaluación agronómica estudia la respuesta de la planta a un sustrato de cultivo determinado, de tal forma que se integra el binomio sustrato – manejo en la respuesta final de la planta, incluyendo aspectos como, riego fertilización, contenedores etc. Los resultados obtenidos para la evaluación agronómica de los materiales: Bagazo de maguey mezcalero; polvo de coco y vermiculita, en forma pura y en mezclas, se muestra en el cuadro 5.4.

Todos los tratamientos mostraron diferencias altamente significativas entre ellos ($P \leq 0.05$), tanto solos como en mezclas, para los parámetros: producción (g fruto corte⁻¹), diámetro ecuatorial del fruto (cm) y contenido de azúcares totales (° Brix)

Cuadro 5.4. Efecto de diferentes mezclas de materiales orgánicos e inorgánicos utilizados como sustratos, sobre la producción y calidad de frutos de melón

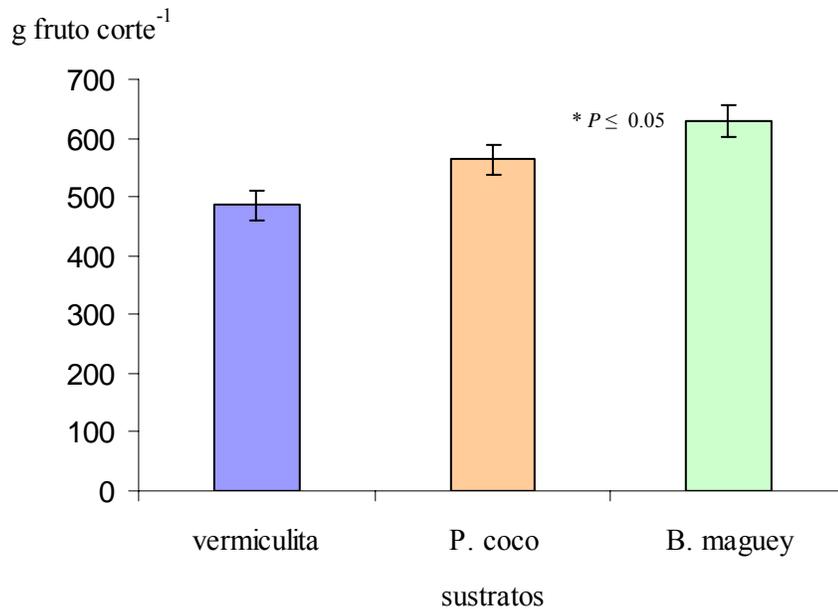
Materiales evaluados (v/v)			Producción y calidad		
Bagazo de maguey	Polvo de coco	Vermiculita	Producción (g fruto corte ⁻¹)	Diámetro ecuatorial (cm)	Sólidos solubles (° Brix)
0	0	100	486.33 c	9.30 c	6.12 c
0	25	75	513.38 bc	9.60 bc	8.00 abc
0	50	50	592.56 bc	9.70 bc	8.80 ab
0	75	25	625.90 abc	10.13 abc	7.60 abc
0	100	0	563.20 bc	9.50 bc	7.00 bc
25	0	75	782.40 a	10.67 a	8.33 ab
25	25	50	657.73 ab	10.20 ab	9.41 a
25	50	25	610.48 bc	9.93 abc	8.00 abc
25	75	0	596.06 bc	10.13 abc	8.20 abc
50	0	50	616.94 abc	9.90 abc	8.70 ab
50	25	25	636.25 abc	10.14 abc	7.50 abc
50	50	0	554.03 bc	9.67 bc	8.10 abc
75	0	25	552.36 bc	9.72 bc	8.00 abc
75	25	0	644.29 abc	9.43 bc	8.90 ab
100	0	0	627.91 abc	10.07 abc	6.90 bc
<i>P</i>			*	*	*

*: Significancia $P \leq 0.05$ fue determinado por el test de la DSM

5.4.1. Efecto en la producción de materiales orgánicos puros (sin mezclas)

La respuesta de las plantas de melón (*C. melo* L) cultivadas en los materiales orgánicos puros; bagazo de maguey mezcalero y polvo de coco, fue positiva, mostrando (cuadro 5.4)

rendimientos aceptables, sin embargo, las plantas cultivadas en vermiculita de forma también pura, mostró el más bajo rendimiento (486.33 g planta corte⁻¹). Este resultado puede estar relacionado con la distribución en el tamaño de partículas de los materiales orgánicos (b. maguey y f. coco), quienes presentaron menores proporciones de partículas entre 1 y 0.25 mm de luz y mayor distribución de partículas, en un amplio rango mayores a 1 mm y menores a 0.25 mm, en comparación al comportamiento del sustrato vermiculita (figura 5.1).



*: Significancia $P \leq 0.05$ fue determinado por el test de la DSM

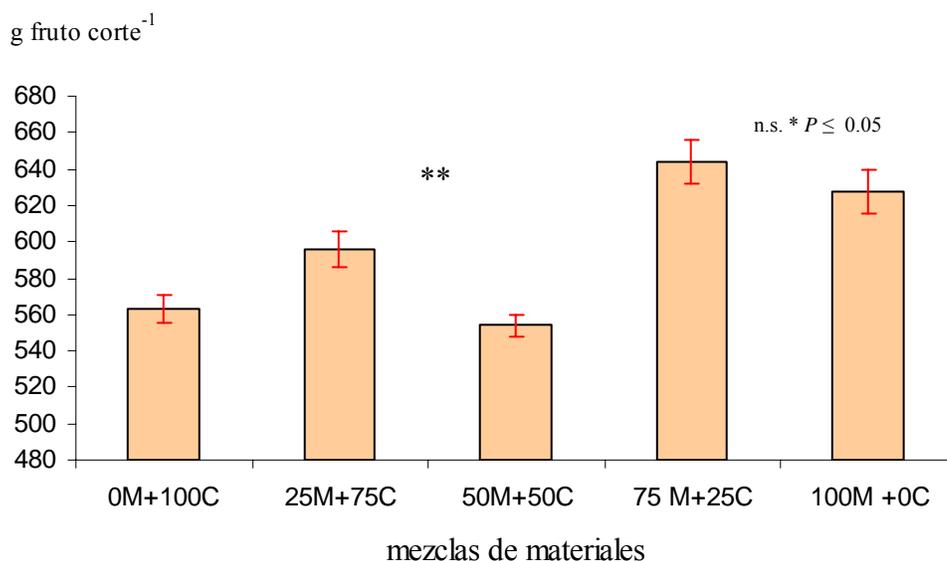
Figura 5.4. Comportamiento de la producción de un cultivo de melón, utilizando materiales orgánicos e inorgánicos en forma pura.

5.4.2 Efecto en la producción, utilizando diferentes mezclas de los materiales: bagazo de maguey y polvo de coco.

Al aumentar el volumen (v/v) del sustrato, bagazo de maguey en los contenedores (bolsas de 18 L) y disminuir proporcionalmente el volumen del sustrato fibra de coco, se encontraron resultados altamente significativos ($P \leq 0.05$) para las mezclas: 0 bagazo de maguey (M) + 100 % polvo de coco (C); 25 % (M) + 75 C y 50 % M + 50 % C, este último con el menor valor de producción. Contrariamente, la mezcla compuesta por 75 % de M + 25 % de C, fue la de mayor producción (640 g planta corte⁻¹) aunque no mostró diferencias significativas con el material compuesto por el 100 % de bagazo de maguey (figura 5.5).

Este mejoramiento en la producción de melón como respuesta a la mezcla y al tipo de material utilizado en el contenedor, puede deberse al mejoramiento de algunas propiedades físicas, como: espacio poroso total, capacidad de retención de agua y humedad. El primer parámetro, paso de 76.51 % cuando este material se analizó en forma pura a 84.60 al ser mezclado con 75% (v/v) de bagazo de maguey y 25 % de polvo de coco, el segundo parámetro paso de 410.45 mL de agua L de sustrato a 607.01 y la humedad de 46.55 % a 70.98 %. Estos resultados confirman lo indicado por: Abad *et al.* (2004); Ansorena, (1999) y Noguera *et al.* (2000), que los materiales susceptibles de utilizarse como medios de cultivos en contenedor, difícilmente pueden ser utilizado de forma única para la producción de cosechas y que la mezcla con otros materiales permitirá su utilización para cada cultivo en especial. También, estos resultados son similares a los encontrados por Serrano *et al.* (1993), quienes indican que la alta capacidad de retención de agua de la perlita grado fino,

promovió un mejor medio de cultivo. Con respecto al mejoramiento del espacio poroso total en las mezclas y su efecto en la producción de melón, Orozco, 1995, refuerza estos resultados, al indicar que el diámetro y la distribución del tamaño de los poros determina el movimiento del agua en el sustrato, así como la proporción agua/aire en un momento dado, lo que repercute casi siempre en mayor producción de cosechas.



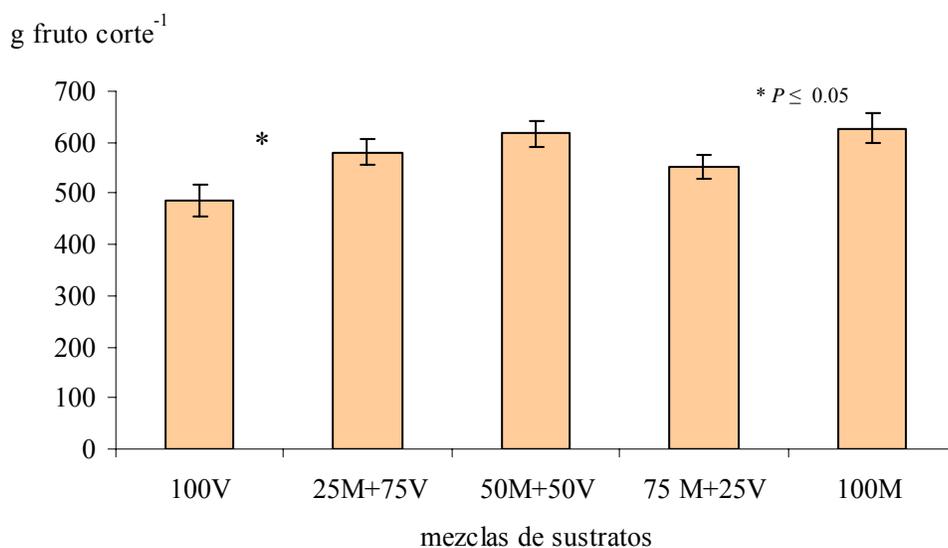
*: Significancia $P \leq 0.05$ fue determinado por el test de la DSM; n.s.; No significativo

Figura 5.5. Comportamiento de la producción de un cultivo de melón, aumentando proporcionalmente el volumen del bagazo de maguey mezcalero (M) y disminuyendo el polvo de coco (C).

5.4.3. Efecto en la producción de melón, utilizando mezclas de bagazo de maguey mezcalero y vermiculita.

El comportamiento de la producción de un cultivo de melón, aumentando proporcionalmente el volumen (v/v) del bagazo de maguey mezcalero y disminuyendo el de vermiculita (material inorgánico), mostró que el uso de esta última, poco efecto tuvo en la

producción (figura 5.6). Este resultado puede estar asociado con los parámetros físicos; espacio poroso total y capacidad de retención de agua. Parámetros que al aumentar el contenido volumétrico del maguey mezcalero, el espacio poroso total de esta mezcla disminuye al igual que la capacidad de retención de agua la cual decrece drásticamente con la mezcla de 25 % de vermiculita y 75 % (v/v) de bagazo de maguey, lo cual ocasiono, también una disminución en el rendimiento.



*: Significancia $P \leq 0.05$ fue determinado por el test de la DSM

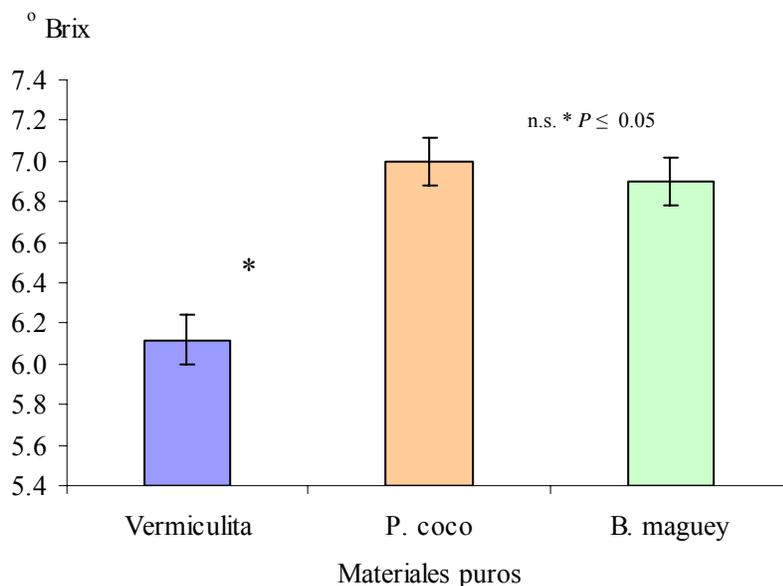
Figura 5.6. Comportamiento de la producción de un cultivo de melón (*C. melo* L.) aumentando proporcionalmente el volumen del bagazo de maguey mezcalero (M) y disminuyendo la vermiculita (V).

También se observa que la vermiculita sola (sin mezclas) mostró, el menor rendimiento de los cinco materiales y que una posible mejoría de sus propiedades que repercutió en la producción fue al incorporar en partes iguales, con bagazo de maguey mezcalero.

Los resultados obtenidos con la vermiculita como material complementario en sustratos de cultivos sin suelo, coinciden con Salas y Urrestarazu (2001), quienes indican que el tipo de sustrato; mas aun, si es químicamente inerte; como la vermiculita, no interacciona con el consumo de agua de la planta, pero si hay una diferencia en el porcentaje de drenaje.

5.4.4. Efecto en el contenido de sólidos solubles totales en frutos de melón, utilizando materiales orgánicos puros (sin mezclas), como medios de cultivo.

El concepto de calidad Sánchez (1993) la define como el grado en que un producto satisface las necesidades y exigencias de un comprador y por extensión de un consumidor. Al respecto, los resultados obtenidos al comparar el contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) (SST) en frutos de melón utilizando materiales puros, como sustratos de cultivo, se muestran en la figura 5.7. No existieron diferencias significativas para SST, entre los frutos producidos en fibra de coco y bagazo de maguey mezcalero. Sin embargo, la diferencia fue altamente significativa con los frutos producidos con vermiculita, quien alcanzó los valores más bajos de los tres tratamientos (6.3° Brix). De manera general los resultados obtenidos para este parámetro de calidad son bajos, ya que el rango de valores aceptables para los consumidores, dependiendo de la variedad cultivada y del gusto de estos últimos, fluctúa entre $8-12^{\circ}$ Brix.



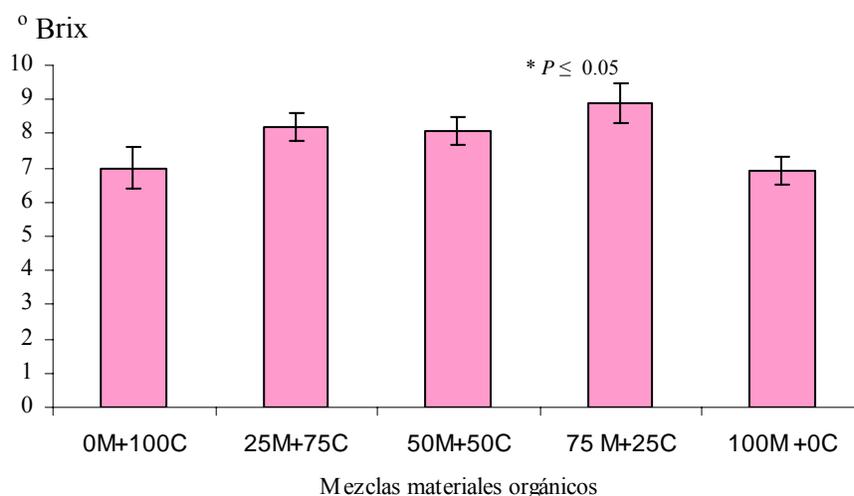
*: Significancia $P \leq 0.05$ fue determinado por el test de la DSM; n. s.: No significativo

Figura 5.7. Comportamiento del contenido de sólidos solubles totales en frutos de melón, utilizando materiales orgánicos e inorgánicos en forma pura.

5.4.5. Contenido de sólidos solubles totales en frutos de melón utilizando diferentes mezclas de bagazo de maguey mezcalero y polvo de coco, como sustratos

Al evaluar únicamente el uso de materiales orgánicos: bagazo de maguey mezcalero y polvo de coco y su efecto en el contenido de SST en frutos de melón, se puede observar (figura 5.8), que el máximo valor (8.9 °Brix) se alcanzó utilizando el tratamiento que contenía, como sustrato 75 % de bagazo de maguey + 25 % de polvo de coco. Con esta mezcla, el valor de SST, se ubicó en el intervalo de referencia o comercial, que es de 8 hasta 12° Brix, para frutos de melón. Resultados que son reforzados por Castilla (2005), quien indica que las características genéticas son el principal determinante del sabor y

aroma de los productos hortícolas frescos, aunque también influyen, pero en menor grado, las prácticas culturales y las condiciones pre-cosecha, así como la madurez al cosechar y su manipulación posterior. También habría que continuar trabajando en este aumento de azúcares al utilizar bagazo de maguey mezcalero ya que en la mayoría de los cultivares de melón el principal azúcar es la sacarosa y los ácidos más usuales son el cítrico y málico, el primero muy abundante en las mieles del maguey (*agave spp*).



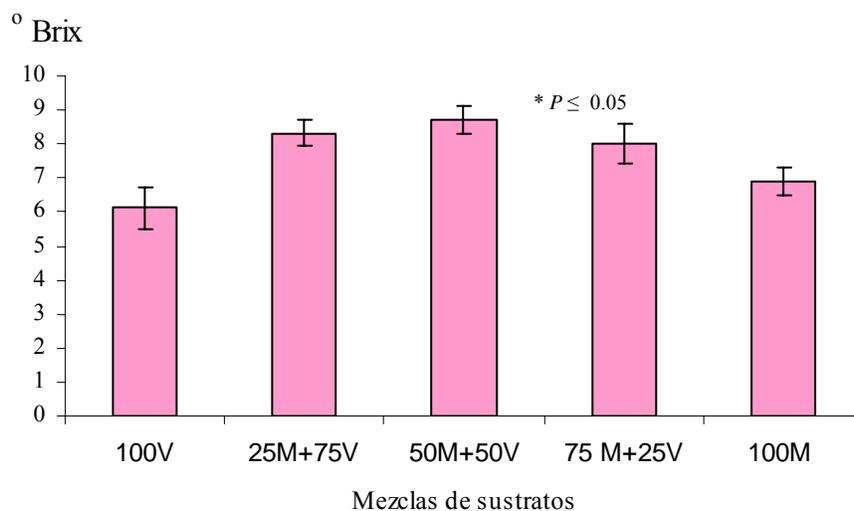
*: Significancia $P \leq 0.05$ fue determinado por el test de la DSM

Figura 5.8. Comportamiento del contenido de sólidos solubles totales en frutos de melón, utilizando mezclas de bagazo de maguey mezcalero (M) y polvo de coco (C) como sustratos.

5.4.6. Contenido de sólidos solubles totales en frutos de melón, utilizando diferentes mezclas de bagazo de maguey mezcalero y vermiculita

La respuesta al contenido de sólidos solubles totales expresados en °Brix, en frutos de melón producidos en cultivo sin suelo utilizando como sustratos mezclas de bagazo de

maguey mezcalero y vermiculita en proporciones ascendentes para el primero y descendentes para el segundo, se muestran en la figura 5.9. Se observan diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las mezclas, con una clara tendencia a mejorar los valores de SST a medida que se aumentan las proporciones de maguey mezcalero y disminuyen las de vermiculita, comparativamente con la vermiculita pura (100 % v/v) y el bagazo puro (100 % v/v) (figura 5.9). Este comportamiento de la calidad del fruto, no debe estar sujeto únicamente al tipo de sustrato; si bien, este parámetro ha influido en el contenido de SST, diversos autores como: Namesny, 1997; Martínez, 2004; Castilla, 2005; coinciden que aparte de la variedad, el factor que más provoca un aumento en el contenido de sólidos solubles es la salinidad o conductividad eléctrica. Así en los ensayos de Botella y Costa (1993) con una conductividad en el agua de 8 dS m^{-1} observaron un aumento medio del 12 % en los grados Brix de los melones de 10 cultivares, no detectándose en ninguno de los casos mal sabor de los mismos. Tomando como base estos resultados, encontramos una posible relación entre la conductividad eléctrica (CE) del extracto de la pasta saturada de cada uno de los materiales evaluados, así como la CE, del drenaje de los mismos, los cuales fueron bajos para los obtenidos en vermiculita e intermedios para fibra bagazo de maguey mezcalero y fibra de coco (tabla 5.2.). En términos generales la calidad de las hortalizas, casi siempre es inversamente proporcional a la producción.



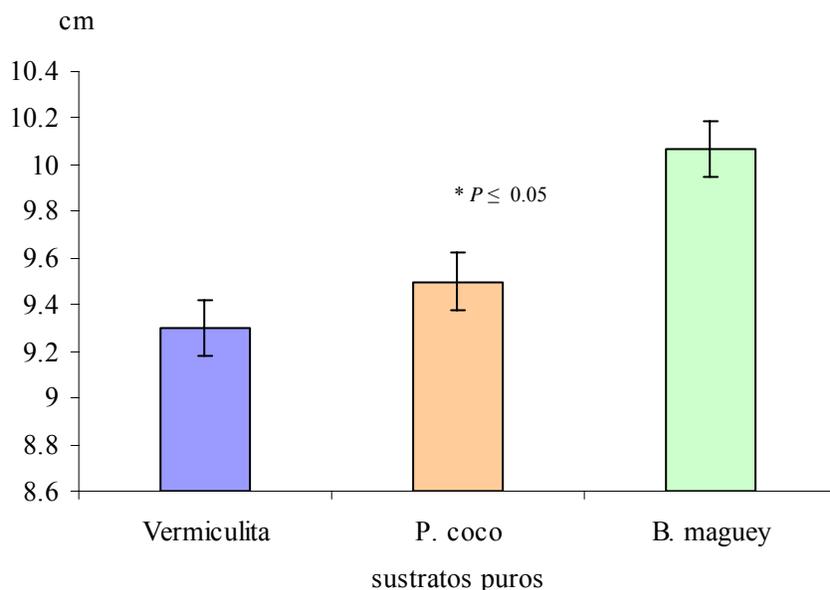
*: Significancia $P \leq 0.05$ fue determinado por el test de la DSM

Figura 5.9. Comportamiento del contenido de sólidos solubles totales en frutos de melón, utilizando mezclas de bagazo de maguey mezcalero (M) y vermiculita (V)

5.4.7. Efecto en el diámetro ecuatorial del fruto de melón, utilizando materiales orgánicos puros (sin mezclas), como medios de cultivo.

Al utilizar el bagazo de maguey mezcalero puro, como sustrato en el cultivo de melón y compararlo con los materiales polvo de coco y vermiculita, se encontraron diferencias significativas (figura 5.10). El uso de bagazo de maguey ocasionó la presencia de frutos más redondos que alargados en comparación a los obtenidos con los otros dos materiales. Al igual que en el contenido de sólidos solubles totales, los materiales evaluados como medios de cultivo influyeron en la forma del melón, pero los factores que determinan a este aspecto de calidad son: el material genético (variedad) y la conductividad eléctrica o salinidad de la solución nutritiva, al respecto Namesny (1997), indica que el mantenimiento de la anchura y la disminución de la longitud del fruto de melón, conlleva implícitamente a

una modificación de la forma debida a la salinidad, tornándose los frutos más redondeados, por lo que se ha sugerido la existencia de un gradiente de difusión de fitorreguladores que polarizaría el crecimiento del fruto en sentido ecuatorial con prioridad sobre el longitudinal. En tomate, el tamaño final del fruto está influido por el número de semillas. La existencia de un control parecido a este en melón donde la mayor cantidad de semillas se encuentra en el centro, podría explicar la importancia del mantenimiento de la anchura y de la cavidad central para asegurar esta producción. La salinidad probablemente interferirá en la difusión de los fitorreguladores lo que explicará la menor longitud del fruto



*: Significancia $P \leq 0.05$ fue determinado por el test de la DSM

Figura 5.10 Comportamiento del diámetro ecuatorial de frutos de melón (*C. melo* L.) utilizando materiales orgánicos e inorgánicos en forma pura.

VI. CONCLUSIONES

Tanto el bagazo de maguey como el polvo de coco, mostraron mayor amplitud del tamaño de partícula en comparación a la vermiculita. Sin embargo las mezclas de los dos materiales orgánicos mejoraron aun más esta distribución.

Todos los valores de los parámetros físicos y químicos, del bagazo residual de la industria del mezcal, se encontraron en el nivel de referencia, con excepción del pH, el cual fue superior.

Las características químicas del bagazo de maguey y del polvo de la fibra de coco se encontraron dentro de los valores de referencia, para utilizarse como sustratos en cultivo sin suelo de melón.

Los valores obtenidos en la caracterización biológica (bioensayos de germinación) estuvieron en los niveles de referencia, sin mostrar efectos negativos de fototoxicidad.

La producción y sólidos solubles de melón (*C. melo* L) obtenidos en los sustratos bagazo de maguey y polvo de fibra de coco, en forma pura fueron superiores al obtenido en la vermiculita, sin embargo estos mismos parámetros (producción y los sólidos solubles totales (° Brix)) de los frutos obtenidos en la mezcla de 75 % (v/v) de maguey mezcalero + 25 % (v/v) de polvo de fibra de coco fueron superior a lo obtenido en los sustratos puros de ambos materiales

Por lo cual se concluye que el bagazo de maguey en forma pura o en mezclas con fibra de coco, principalmente la 75 % + 25 % (v/v) respectivamente, pueden ser utilizados como sustratos de cultivo sin suelo de melón (*C. meló* L).

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M., 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo. En: El Cultivo del Tomate. f Nuez (coord.). Cap. 4. pp. 131 -166. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Abad, M., Noguera, P., 2000. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu, M. (Ed.), Manual del cultivo sin suelo. Mundi-Prensa, España. pp. 137-152.
- Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maqueira, A., Noguera, V., 2002. Physical-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology* 82, 241-245.
- André, J.P., 1987. Propriétés chimiques des substrates. En; Blanc, D. (Ed.), Les cultures hors sol. 2^{ème}. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris. pp. 127-152.
- Ansermino, S.D., Holcroft, D.M. y Levin, J.B. 1995. A comparison of peat and pine bark as a medium for bedding plant pack production. *International Symposium on Growing Media & plant Nutrition in Horticulture. Acta Horticulturae*. 401, 151-160 Naaldwijk Netherlands.
- Ansorena M. 1999. Sustratos propiedades y caracterización. Ediciones MundiPrensa. Madrid, España.
- Arenas, M., Vavrina, C.S., Cornell, J.A., Hanlon, E.A., Hochmuth, G.J., 2002. Coir as an Alternative to Peat in Media for Tomato Transplant Production. *HortScience* 37(2), 309-312.
- Arredondo V. C., Cano, G.M., Espinoza, P.H., Bravo, M.E., Contreras, H. R., Canseco L. M., 2003. Fertilización en plantaciones comerciales de maguey mezcalero en Oaxaca (avances). INIFAP- Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. En: Foro regional para el aprovechamiento y mejoramiento del agave y del mezcal. CIIDIR-IPN OAXACA.
- Aviña, R. M. 1999 Manejo del bagazo de agave en la compañía Tequila Sauza. Foro de vinculación: Retos y oportunidades para el Aprovechamiento del bagazo de Agave. *Memorias*. Pp8-11. Guadalajara, Jalisco.
- Ayala S., A.1999. Evaluación de polvo de coco como sustrato para la germinación y desarrollo inicial de seis especies ornamentales. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México 68 p.
- Black, B.L., Zimmerman, R.H., 2002. Mixtures of Coal Ash and Compost as Substrates for Highbush Blueberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127(5), 869-877.
- Bunt, A.C., 1988. Media and mixes for container-grown plants. 2nd Ed. Unwind Hyman Ltd., London, 309 pp.
- Burés, S., 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. S.L., España. 342 pp.

- Bures, S., Martínez F.X.; Llorca M. 1988. Preliminary study of the application of Parametric linear programming formulation of substrate mixes. *Acta Horticulturae*.221:141-152.
- Caraveo, F. 1994. Relaciones nutrimentales en el cultivo hidropónico de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mil) empleando el bonote de coco como sustrato. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, México.
- Castilla, N. 2005. Invernaderos de plástico, Tecnología y Manejo. Fundación Caja Rural de Granada- Mundi Prensa.
- Cantón, J.M., 1999. El cultivo del melón en el poniente almeriense. En: Camacho, F., (Ed.), Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos. Instituto caja rural de Almería, España. pp. 115-176.
- Cedeño, C. M. Tequila production *Critical Reviews Biotechnology* 15:1, 1-11
- De Boodt, M., Verdonck, O., Cappaert, I., 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37, 2054-2062.
- Drzal, M.S., Fonteno, W.C., Cassel D.K., 1999. Pore fraction analysis. A new tool for substrate testing. *Acta Hort.* 481, 43-53.
- Dasoju, S., M. R. Evans y B. E. Whipker. 1998. Paclobutrazol Drench Activity In coir And Peat Based Root Substrates. *hortTechnology* (4): 595-598ç
- Deulofeu, C., 1997. Situación y perspectivas del melón en el mundo. En: Namesny, A., (Ed.), Melones. Ediciones de Horticultura, S.L., España. pp. 21-24.
- Evans, M.R. and S. Konduru. 1996. Source variation in physical and chemical Properties of coconut coir dust. *HortScience* 31(6)965-967
- Florián M, P., 1997 Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) Valencia, España. Conferencia internacional en Hidroponía Comercial. al 8 de Agosto de 1997. UNA LA.MOLINA. Lima, Perú.
- Fonteno, W.C. 1996. Growing media: Types and Physical /Chemical Properties. In: Reed, D.W. (Ed). 1996 Water, Media, And Nutrition For Greenhouse Crops: A Grower's Guide. Ball Publishing. Batavia Illinois, USA. Pp. 93-122.
- Freeman, T.M. Y Cawton, D.L. 1999. Use of composted dairy cattle solid biomass, poultry litter and municipal biosolids as a greenhouse growt media. *Compost Science & Utilization.* 7:3, 66-71
- García. C. O.1999 Materiales orgánicos como sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* Cultivadas en maceta. Tesis profesional. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Edo. de Mexico, Mexico.
- García, O.C., Alcantar, G.G., Cabrera, R.I., Gavi, R.F., Volke, V.H., 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra* 19, 249-258.
- García de F., A. A. de Sicilia. 1984. El mercado Mundial de las fibras duras. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

- García, M., Escobar, I., 2003. Alternativas a los sacos en cultivos sin suelo. *Actas de Horticultura* 32, 51-58.
- Garibaldi, E.A., Deambrogio, F. 1989 alternative substrates for the culture of marguerites. *Informatore Agrario*. 45:15,97-102
- Garibaldi, E.A., Deambrogio, F. y Accat, garibaldi, E. 1990. Use of alternative substrates in the cultivation of begonia semperflorens. *Informatore Agrario*. 46.24,69-71
- Gómez, M.L., Camero, R., González, J.J., 1997. El melón en invernadero. En: Namesny A., (Ed.), *Melones*. Ediciones de Horticultura, S. L., España. pp. 67-75.
- Granados S. D., 1999. Los agaves en México. Universidad Autónoma de Chapíngo
- Gruda, N., Sippel, CH., Schnitzler, H. W., 2001. Investigation of physical properties of wood fiber substrates under press pot conditions. *Acta Hort*. 554, 51-57.
- Hanan, J., W.D. Holley and K.L. Goldsberry. 1978. *Greenhouse Management*. New York: Springer-Verlang BerlinHeidelberg. NY., USA.
- Handreck, K.A. 1993. Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. *Commun soil Science Plant anal*. 24 (3&4), 349- 363
- Handreck, K.A. and N. Black. 1994. *Growing media for ornamental plants and turf*. Revised edition. New South Wales University Press. Kensington, Australia.
- Islam, S., Khan, S., Ito, T., Maruo, T., Shinohara, Y., 2002. Characterization of the physical-chemical properties of environmentally friendly organic substrates in relation to rockwool. *J. Hort. Sci. Biotechnol*. 77(2), 143-148.
- Idarraga, G., Ramos, J., Zúñiga, V., Sahin, T., Young, R.A., 1999. Pulp and Paper from Blue Agave Waste from Tequila Production. *J. Agric. Food Chem*. 47, 4450-4455.
- Infante y Zárate, 1984. *Métodos Estadísticos*. Primera edición Editorial Trillas
- INEGI. 1997. *Cuaderno Estadístico Municipal de Santa Cruz, Xoxocotlán*. Estado de Oaxaca. Gobierno del Estado de Oaxaca. pp. 3-16
- Kithome, M., J.W. Paul y T.Kannangara. 1999. Adsorption Isotherms of ammonium On Coir. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 30(1&2):83-95
- Kreij, C., Elderen Van, C.W., 1995. Extraction methods for chemical quality control of mineral substrates. *Acta Hort*. 401, 61-70.
- Konduru, S., Evans, M., Stamps, R., 1999. Coconut Husk and Processing Effects on Chemical and Physical Properties of Coconut Coir Dust. *HortScience* 34 (1), 88-90.
- Kreij, C. de y G.J.L. Van Leeuwen. 2001. Growth Of Pot Plants In Treated Coir Dust As Compared To Peat. *Commun. Soil Sci. Plant anal.*, 32(13&14):2255-2265
- Lax, A., Roing, A., Costa, F., 1986. A method for determining the cation-exchange capacity of organic materials. *Plant and Soil* 94, 349-355.
- Lemaire, F., 1997. The problem of the biostability in organic substrates. *Acta Hort*. 450, 63-69.

- Little, T.M., Hills, F.J., 1976. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Trillas, México. 250 pp.
- McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology. 1997. McGraw-Hill, Inc New York.
- Manios, T., 2003. The composting potential of different organic solid wastes: experience from the island of Crete. *Environment International* (en prensa).
- Martínez, F.X., 1992. Propuesta de la metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Acta Hort.* 11, 55-66.
- Martínez, G. 2004. Caracterización de la cáscara de almendra como sustrato orgánico alternativo en cultivo sin suelo y su evaluación agronómica en especies hortícolas. Tesis Doctoral. Universidad de Almería. España.
- Meerow, A. W 1994. Growth of two subtropical ornamentals using coir (coconut mesocarp pith) as a peat substitute. *HortScience.* 29(12):1484-1486
- Morisaky, N., Phae, C.G., Nakasaky, K., Shoda, M., Kubota, H., 1989. Nitrogen transformation during thermophilic composting. *J. Ferment Bioeng.* 67, 57-61.
- Münger, H.M., Robinson, R.W., 1991. Nomenclature of *Cucumis melo* L. Cucurbit Genet, Coop. Report. 14, 43-45.
- Namesny, A. 1997. Melones. Compendio de Horticultura No 10. Ediciones de Horticultura. S.L. Reus. España.
- Noguera, P. & Abad M. 1997. Physical and chemical properties of coir waste and their relation to plant growth. *Acta Horticulturae.* ISHS.
- Noguera, P. M. Abad y V. Noguera. 2000. Coconut Coir Waste, A New And Available Ecologically Friendly Peat Substitute. *Acta Horticulturae* No. 517 pp. 279-286
- Orozco, R., Gshwander, S., Marfa, O., 1997. Substrate classification from particle size analysis. *Acta Hort.* 450, 397-403.
- Orozco, R., 1995. Propiedades físicas e hidrológicas de perlitas utilizadas para cultivo sin suelo. Su implicación con las relaciones sustrato-agua-planta y con el riego de cultivos hortícolas. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida, 186 pp.
- Pansu, M., Thuries, L., 2003. Kinetics of C and N mineralization, N immobilisation and N valorisation of organic inputs in soil. *Soil. Biol. Biochem.* 35, 37- 48.
- Passini, C., Termini, A. y D'Aquila, F. 1989. Low-Level peat substrates for diffebachii a cultivation. *Annal, dell' instituto Sperimentale per la Floricultura.* 20:1,45-56
- Petit E., F.2000. Cultivo en fibra de coco Parte I. In: Manual de cultivos sin suelo. Coord. M. Urresterazu G. Universidad de Almería Grupo Mundi Prensa. Almería, España. Pp. 517-536
- Petersen, R.G., 1994. Agricultural Field Experiments. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Pill, W.G. y K.T. Ridley. 1998. Growth of tomato and Coreopsis in response to coir dust in soilless media. *HortTechnology* 8(3): 401-406

- Quiroz, M. J., 2003. El árbol de las maravillas. Fundación del maguey y rescate cultural del mezcal. Pino Suárez, 401- c, Oaxaca, Oaxaca. En: Foro regional para el aprovechamiento y mejoramiento del agave y del mezcal. CIIDIR-IPN-OAXACA.
- Raviv, M., Medina, S., Ben Ner, Z., Shamir, Y., 1993. Very low medium moisture tension -a feasible criterion for irrigation control of container-grown plants. *Acta Hort.* 342, 111-119.
- Real Academia Española. 1970. Diccionario de la Lengua Española. 9ª edición Madrid.
- Reinikainen, O. 1993. Choice of growing media for pot plant. *Acta horticulturae* 342:357-360.
- Riviere, L.M. Charpentier, B., Jeannin, B., Kafka, B., 1993. Oxygen concentration of nutrient solution in mineral wools. *Acta Hort.* 342. 93-101.
- Rodríguez, M.R. 2004. Desarrollo y caracterización de sustratos orgánicos a parti del Bagazo de agave Tequilero. Tesis profesional. Colegio de sgraduados, Montecillo, Edo. de Mexico, Mexico.
- Rodríguez, M. R., Álvarez de la Cuadra, J., Soto, C. 1999. Cultivo del hongo Medicinal *Ganoderma spp* utilizando como sustrato bagazo de agave Tequilero. VIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería y IV Congreso Latinoamericano de Biotecnología y bioingeniería. Memorias. Pp 3-7. Guadalajara, Jalisco.
- Salas, M.C., Urrestarazu, M., 2001. Técnicas de fertirrigación en cultivo sin suelo. Manuales de la Universidad de Almería, España. 277 pp.
- Sawan, O. M., Eissa, A.M. y Abou –Hadid, A.F.1998. Cucumber plant growt and yield as affected by using sawdust and peat moss mixes for seedlings production under protected cultivation. *Egyptian Journal of Horticulture.* 25: 3,321-334
- Sanchez del C., F. y E.J. Ponce O. 1988 Densidades de población y niveles de espunte en jitomate (*Lycopersicum esculatum* Mill) cultivado en hidroponía revista Chapingo serie horticultura Vol. 4 (2) 89-94 UACH Chapingo, Mex.
- Sánchez, S. 1993. Concepto general de la calidad, necesidad de elaborar calidad total y su medición y evaluación en frutos y hortalizas. En Albi, M.A. ; Gutiérrez, F.; Roca, M. (eds.). La calidad en frutos y hortalizas . Maduración y Pos-recolección – 93, Sevilla, pp. 283.298.
- Sanchez del C., F. y E., Corona S. 1996 Evaluación de cuatro variedades de Jitomate (*Lycopersicum esculatum* Mill) bajo un sistema hidropónico de producción a base de despuntes y altas densidades. Revista chapingo. Serie horticultura Vol. (2) 109 114 UASCH Chapingo, Mex.

- Sanchez 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* Vol. 33 (1): 21-29
- Shahidul Islam, Khan, T. Ito, T. Maruo and Y. Shinohara. 2001 Characterization of the physico chemical properties of environmentally friendly organic substrates in relation to rockwool Department of Vegetable Science, Faculty of Horticulture, Chiba University.
- Serrano, L., Orozco, R., Martínez, A., Marfá, O., 1996. The use of fine graded perlites in bag culture II. Yield and water consumption of lettuce. *Acta Hort.* 335, 435-442
- Silva, S.L., Caballero, C.M., Diego, N.F., 2003. Diseño de un equipo de molienda y desgarre el agave mezcalero para el proceso de fabricación del mezcal en el estado de Oaxaca. En: Foro regional para el aprovechamiento y mejoramiento del agave y del mezcal. CIIDIR-IPN- OAXACA
- Statistical Graphics Corp., 2000. STATGRAPHICS Plus for Windows 4.1. Statistical Graphics Corp., Rockville, MD.
- Soffchi, T. L. 1999. Bagazo de agave en la fábrica de Tequila Ciervo la Rojeña. Foro de vinculación: Retos y Oportunidades par el aprovechamiento del bagazo de Agave. *Memorias*. Pp 3-7. Guadalajara, Jalisco.
- Sonneveld, C., 1980. Growing cucumbers and tomatoes in rockwool. *ISOSC Proceeding*. 253-261.
- Soto, V. C., Guzmán, D. L. y Rodríguez O. 1989. Cultivo del hongo comestible *Pleorotus ostratus* sobre bagazo de maguey tequilero fermentado y Mezclado con paja de trigo. *Revista Mexicana de micología*. 5, 97-101
- Urrestarazu, M., 2000. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu, M. (Ed.), *Manual del cultivo sin suelo*. Mundi-Prensa, España. pp. 51-86.
- Yau, P. Y. y R. J. Murphy. 2000. Biodegraded Cocopeat As A Horticultural Substrate. *Acta horticulturae* No. 517. pp. 275-276
- Warncke, D.D., 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *Hort. Sci.* 21(2), 223-225.
- Woods, P. V., O. Peseta y M. J. Webb. 1998. Effectiveness Of Organic Potting media For Raising Mahogany (*Swietenia Macrophylla*) Seedlings In Western Samoa. *Journal Of Tropical Forest Science* 10(4):552-560
- Valenzuela Z.A.G. 1997. El agave Tequilero su cultivo e Industria. 2ª Ed. Editorial Monsanto. p.48
- Verdonck, O., De Vleeschauwer. D. & De Boot, M., 1983. The influence of the substrate to plant growth. In *acta horticulturae*, 126:251-258
- Zamora, M. B. 2005. Formulación de mezclas de sustratos mediante programación lineal Tesis profesional Colegio de Posgraduados, Montecillo, Edo. de Mexico, Mexico.

Zucconi, F., M. de Bertoldi., 1991. Specification for solid waste compost. In: The staff of Biocycle (Eds.), The Biocycle guide to the art and science of composting. JG Press. Inc. Emmaus, Pa.