



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

Nutrición orgánica y mineral de plantas de café (*Coffea* sp.)

SUSANA UC ARGUELLEZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017

La presente tesis titulada: **NUTRICIÓN ORGÁNICA Y MINERAL DE PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea sp.*)** realizada por la alumna: **Susana Uc Arguellez** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
EDAFOLOGIA

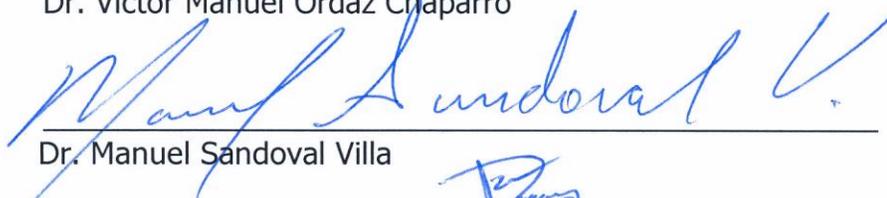
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Víctor Manuel Ordaz Chaparro

ASESOR



Dr. Manuel Sandoval Villa

ASESOR

Dr. Joel Velasco Velasco



Montecillo, Texcoco, Estado de México, Enero de 2017

Nutrición orgánica y mineral de plantas de café (*Coffea* sp.)

Susana Uc Arguellez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

La propagación de plantas de café tradicionalmente se realiza por trasplante de plántulas injertadas, utilizando las especies *Coffea canephora* y *Coffea arabica*, la primera como porta injerto por su resistencia al ataque de nematodos. Esta actividad es generalizada en la mayoría de los viveros y como medio de producción se utiliza suelo, y aplicaciones de fertilizante soluble sin una dosis específica. La obtención de grandes volúmenes de suelo requeridos para este propósito, ocasiona un daño irreversible de las áreas donde se obtiene y consecuentemente, la propagación de patógenos al momento del trasplante. Como alternativa para disminuir el daño ecológico y el reciclaje de materiales generados por actividades agroindustriales y forestales, se han producido sustratos que sustituyen al suelo. En el presente trabajo se realizó la caracterización física y química de una mezcla de aserrín con tezontle (3:1) y vermicompost - tezontle (1:1), para usarse como sustrato en la producción en vivero de plantas de café, injertadas con *Coffea arabica*, variedad Colombia sobre *Coffea canephora* y de siembra directa usando semilla de la variedad Colombia. Se establecieron 8 tratamientos para evaluar la respuesta de las plantas a las dosis de nutrición mineral de 7, 9 y 11 g L⁻¹ de Multicote[®] (18-6-12 +MN) y vermicompost. Las evaluaciones fueron basadas en mediciones morfológicas de las plantas y contenido nutrimental a través de un análisis foliar. Los resultados mostraron que la altura y diámetro del tallo de plantas desarrolladas en el sustrato vermicompost-tezontle (VC-T), presentaron valores bajos de 17.3 cm en plantas injertadas y 23.4 cm en plantas con siembra directa, en diámetro se obtuvieron 3.2 mm en plantas injertadas y 3.9 mm en plantas con siembra directa, que las desarrolladas en aserrín tezontle fertilizadas con Multicote[®], no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la producción de materia seca total entre las diferentes dosis de Multicote[®], la materia seca aérea de plantas injertadas desarrolladas en vermicompost - tezontle fue de 45.6 %, mayor que en plantas de siembra directa nutridas con fertilizante y vermicompost.

Palabras clave: Vermicompost, plantas de café, liberación controlada de nutrimentos.

Coffee plants organic and mineral nutrition (*Coffea sp.*)

Susana Uc Arguellez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

Coffee plants propagation is traditionally carried out by grafted seedlings transplantation, using the species *Coffea canephora* and *Coffea arabica*, the first as a rootstock for its resistance to nematodes attack. This activity is widespread in most of the nurseries. Soil and non-specific dose applications of soluble fertilizer are used as a means of production. Obtaining large volumes of soil required for this purpose causes an irreversible damage to the areas where it is obtained and consequently the pathogens spread at the time of transplantation. As an alternative to reduce the ecological damage and the recycling materials generated by agro-industrial and forestry activities, substrates for replacing soil have been produced. Herein, the physical and chemical characterization of a mixture of sawdust with tezontle (3: 1) and vermicompost - tezontle (1: 1) was carried out to be used as a substrate in the nursery production of coffee plants grafted with *Coffea arabica*, Colombia coffee variety on *Coffea canephora*, and direct seeding using Colombian coffee variety seed. 8 treatments were established to evaluate the plants response to the doses of mineral nutrition of 7, 9 and 11 g L⁻¹ to Multicote ® (18-6-12 + MN) and vermicompost. The evaluations were based on morphological measurements of plants and nutritional content through a foliar analysis. The results showed that the height and diameter of the plants stem grown in the vermicompost substrate-tezontle (VC-T), presented lower values than of 17.3 cm in grafted plants; and 23.4 cm in plants with direct seeding, in diameter 3.2 mm in grafted plants; and 3.9 mm in plants with direct seeding, than those developed in tezontle sawdust fertilized with Multicote ®, no significant differences were found in the total dry matter production between the different doses to Multicote ®, aerial dry matter of grafted plants grown in vermicompost - tezontle was 45.6%, higher than in direct seeding plants fed with fertilizer and vermicompost.

Key words: Vermicompost, coffee plants, controlled-release nutrients.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado durante estos dos años de estudio en la maestría y en la investigación.

Al Consejo Quintanarroense de Ciencia y Tecnología por todo el apoyo brindado

Al Dr. Víctor Ordaz, por el apoyo en la dirección de esta investigación, por su tiempo, dedicación y paciencia., Así como por las aportaciones hechas a esta investigación.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa por su disponibilidad y aportaciones hechas a esta investigación.

Al Dr. Joel Velasco por su disponibilidad y recomendaciones hechas a esta investigación.

Al M.C Patricio Sánchez Guzmán por las facilidades otorgadas en el Laboratorio de Génesis de Suelos, por el apoyo brindado durante el análisis de muestras e interpretación de los resultados.

Al Dr. Javier Suarez por su apoyo en el análisis estadístico para esta investigación.

Al personal de laboratorio de física de suelos, por la ayuda brindada en la determinación de los análisis físico y químico de los sustratos.

DEDICATORIA

A mis padres Amalio y Ernestina por sus consejos, educación y amor
A mis hermanos Higinia, Faby, Eusy, Mary†, Martín, Karina, y Benjamín
A mi esposo Ulises Gutiérrez Torres.
A mis sobrinos.

CONTENIDO

RESUMEN.....	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE CUADROS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	2
General.....	2
Específicos	2
Hipótesis.....	2
Producción de café en México	3
Generalidades del café	3
Sustrato	4
Sustratos utilizados en viveros.....	5
Materiales utilizados para sustratos	6
Corteza de pino	6
Cascarilla de arroz	7
Fibra de coco	8
Vermiculita	9
Perlita	9
Tezontle	10
Aserrín	10
Vermicompost	12
Funciones de los sustratos	14

Características físicas de los sustratos.....	15
Densidad aparente	16
Porosidad.....	16
Espacio poroso total.....	16
Granulometría	16
Relación carbono/ nitrógeno	17
Características químicas de los sustratos	18
pH.....	18
Conductividad eléctrica.....	19
Capacidad de Intercambio de Catiónico (CIC)	19
Contenedor.....	20
Injerto.....	22
Fertilización en vivero	23
Fertilizantes de liberación controlada	25
Multicote	26
Uso de los fertilizantes de liberación controlada	27
Calidad de la planta	28
Altura de la planta	29
MATERIALES Y MÉTODOS	29
Caracterización física y química de materiales	31
Porosidad.....	32
Densidad aparente	32
Granulometría	32
Curva de liberación de agua.....	33
Carbono	33
pH y CE.....	34
Contenido de nitrógeno total	34
Digestión de la muestra.	34
Destilación.....	34

Titulación	34
Fósforo (P)	34
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	35
Procedimiento	36
Establecimiento en vivero.....	36
RESULTADOS	38
Granulometría	38
Índice de grosor	39
Variables morfológicas	40
Evaluación de estabilidad en el sustrato después de plantación	45
DISCUSIÓN.....	46
CONCLUSIONES.....	50
LITERATURA CITADA.....	51
ANEXO 1	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Materiales y proporciones establecidos para sustratos, para la producción de plántulas de <i>Coffea</i> sp.	32
Cuadro 2. Tratamientos y dosis de fertilización en café (<i>Coffea arábica</i>).	37
Cuadro 3. Propiedades físicas de dos sustratos utilizados en la producción de café (<i>Coffea arábica</i>). Densidad aparente (Da), porosidad total (Pt), porcentaje de aireación (pai) y porcentaje de retención de humedad (prh).	38
Cuadro 4. Caracterización química de las mezclas de sustratos, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno, relación carbono/nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno, fósforo y potasio de los sustratos A-T y VC-T.....	40
Cuadro 5. Análisis químico foliar de plantas de café (<i>C. arábica</i>) injertadas y en siembra directa en condiciones de vivero.....	43
Cuadro 6. Interpretación de análisis foliar en café (<i>C. arábica</i>) propuestos por Benton <i>et al.</i> (1991).	43
Cuadro 7. Análisis foliar de plantas de café (<i>C. arábica</i>) injertadas y siembra directa en condiciones de vivero. .	44
Cuadro 8. Interpretación de análisis foliar en café (<i>C. arábica</i>) propuestos por Benton <i>et al.</i> (1991).	45
Cuadro 9. Da, %PT, %Pai y %Prh antes y después de la siembra de plantas de café (<i>Coffea arábica</i>).	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva granulométrica en sustrato, aserrín-tezontle y vermicompost-tezontle	39
Figura 2. Efecto de la dosis de fertilización en el crecimiento promedio en altura y diámetro de las plantas de café (<i>Coffea arabica</i>) en vivero. Medias con distinta letra son diferentes estadísticamente (DMS $p < 0.05$). 41	41
Figura 3. Efecto de la dosis de fertilización en la distribución de materia seca aérea y radical en plantas de <i>Coffea arabica</i> en vivero. Medias con distinta letra son diferentes estadísticamente (DMS $p < 0.05$).	42
Figura 4. Efecto de las dosis de fertilizante y vermicompost en la distribución de la materia seca total en plantas de café (<i>Coffea canephora</i>). Las medias con distinta letra son diferentes estadísticamente. La comparación fue entre las modalidades de siembra directa e injertos y las dosis de fertilización como tratamientos (DMS $p < 0.05$).	42

Introducción

Tradicionalmente la propagación de plantas de café se realiza por medio de trasplante de plantas injertadas, la germinación se realiza en semilleros utilizando dos especies, una de *Coffea arabica* y otra de *Coffea canephora*, ésta última la utilizan como porta injerto por ser resistente al ataque de nematodos. Esta actividad generalmente se realiza en viveros rústicos y se usa como medio de producción al suelo. En éste proceso la obtención de grandes volúmenes de suelo requeridos para este propósito, ocasiona daños ecológicos por saqueo de áreas donde es obtenido. Otros inconvenientes de usar suelo son debido a la infestación de nematodos (conocidos localmente como “nigua”). Además de su alta densidad y la cantidad necesaria para el llenado de bolsas (contenedores tradicionales), las plantas producidas en bolsas de plástico alcanzan un peso tal que dificultan su distribución y manejo. En contraste con el uso de sustratos y reducción de volumen de los contenedores el peso por planta producida disminuye.

Como alternativa al uso de suelo se han empleado diversos materiales generados como sub productos de las industrias agrícolas y forestales, así como de origen natural, tal es el caso del aserrín y cortezas de pino, fibra de coco, bagazo de caña, cascarilla de café, toba volcánica, entre otros.

La producción de plantas sanas y resistentes a condiciones de campo son un reto para el productor, que ha implementado el uso de fertilizantes minerales como medio de nutrición, sin embargo, cabe destacar que no existe una dosis de fertilización específica para el cultivo de café en vivero actividad que en la mayoría de los casos se realizan de manera empírica, con poca o nula asesoría técnica.

En el presente trabajo de investigación se emplean materiales de origen orgánico y mineral como sustratos con la finalidad de sustituir el uso del suelo, generar una dosis de fertilización y comparar el empleo de compost en etapa de vivero en la producción de plantas de café.

Objetivos

General

- Generar un sistema de producción de plantas de café en vivero sin la utilización de suelo y con un nivel de nutrición óptima.

Específicos

- Evaluar el efecto de tres dosis de fertilizante de liberación controlada, en plantas de café injertadas y de siembra directa bajo condiciones de vivero.
- Evaluar la dosis de abono orgánico en plantas de café injertadas y de siembra directa bajo condiciones de vivero.
- Establecer la comparación de respuesta entre fertilizante de lenta liberación y abono orgánico en plantas de café injertadas y de siembra directa.

Hipótesis

- A mayor dosis de fertilizante y vermicompost mejor desarrollo de las plantas.
- El desarrollo óptimo de las plantas de café se logra con la dosis alta de fertilizante.
- Las plantas de café propagadas en vermicompost presentan semejanza a las propagadas con fertilizantes de lenta liberación.

Producción de café en México

El café ocupa la segunda posición en el mercado internacional después del petróleo y su importancia económica es principalmente por la bebida en forma de infusión obtenida de los granos tostados del café (Esquivel y Jiménez, 2012).

En México, el café ha sido el principal producto agrícola de exportación durante los últimos 25 años y cuenta con 282 mil productores en 4, 572 comunidades en 12 estados (Manson *et al.*, 2008).

En los últimos años se ha observado un incremento significativo en la industria del café, debido a que se ha convertido en la bebida más popular y consumida por millones de personas a nivel mundial (Mussatto *et al.*, 2011).

En México existen doce estados productores de café: Puebla, Querétaro, Hidalgo, Nayarit, Jalisco, Colima, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, San Luis Potosí, Veracruz y Tabasco siendo los principales Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca, los cuales abarcan alrededor de 4,572 comunidades de país (Hernández, 2011). El estado de Chiapas es el primer productor del aromático con una participación de 34.8%, Veracruz con un 25%, Oaxaca y Puebla con un 28%, por lo que los cuatro estados aportan el 88% del total nacional (Moguel y Toledo, 1996; SAGARPA, 2013).

Generalidades del café

El café forma parte de la familia de las rubiáceas, del género *Coffea*. De los que se tienen identificados alrededor de 70 especies; de las cuales se cultivan en todo el mundo en mayores proporciones solamente dos especies *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (Antonio, 2008). De estos dos el café *arábica* es el más producido y de mayor precio a nivel mundial (Mussatto *et al.*, 2011a).

Coffea arabica es la especie más conocida y extendida por el mundo, es un arbusto de hoja perenne de 1 a 3 metros de altura, con ramas opuestas, largas, flexibles y muy delgadas con aspecto semi erecto cuando son jóvenes, ensanchado y decaído en la

edad adulta. *Coffea arabica*, no es originario de Arabia, como podrá suponerse su origen es Etiopia (Coste, 1969).

La variedad Colombia es un cultivar compuesto o formado de una mezcla de las mejores progenies en experimentación con el híbrido Timor como portador de la resistencia genética a la roya anaranjada (*H. vastatrix*) y la variedad Caturra, portadora de los genes que confieren el porte bajo (Zamarripa y Escamilla, 2002).

Coffea canephora ocupa el segundo lugar en el mundo, es un arbusto de hoja perenne que alcanza de ocho a doce metros de altura, sus ramas son largas y tortuosas, las hojas grandes, comparada con la variedad *arabica*, *Coffea canephora* tiene un crecimiento más vigoroso y mayor productividad; la especie es también más robusta y menos sensible a las enfermedades, especialmente a la producida por *Hemileia* (Coste, 1969).

Coffea canephora ha sido empleada en cruzamientos con *C. arabica*, principalmente por su resistencia a la roya anaranjada presenta genes de resistencia a nematodos y es muy vigorosa (Zamarripa y Escamilla, 2002).

Sustrato

El término sustrato, se aplica en la producción viverística, refiriéndose a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y colocado en contenedor, de forma pura o en mezcla permite, el anclaje de la planta a través de su sistema radical el sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta ahí ubicada. Se clasifican en químicamente inertes y químicamente activos, los primeros actúan únicamente como soporte de la planta, mientras que los últimos intervienen en el proceso de adsorción y fijación de nutrimentos (Pastor, 1999).

Volke *et al.* (2010) lo definen como material sólido simple o en mezcla, de síntesis natural, residual, mineral u orgánico utilizados para producir plantas o cultivos en contenedor, el o los cuales cumplen funciones de soporte, aireación, y retención de agua.

Por otra parte, Abad (1991) y Abad *et al.* (1996) mencionan que el sustrato es un factor importante dentro de los insumos que se utilizan en el vivero.

Sustratos utilizados en viveros

Los viveros son áreas con instalaciones que se utilizan para la producción de plantas en cantidad y calidad deseadas, mediante prácticas adecuadas adquieren el desarrollo y vigor requerido para trasladarlas al sitio definitivo (Alarcón *et al.*, 2002).

En viveros la base fundamental en el desarrollo de plantas es el sustrato, debido a que afecta de forma directa el desarrollo de la raíz. Al mejorar la calidad del sustrato, ya sea en sus propiedades químicas, físicas o en ambas, se mejora la calidad de las plantas (Wightman, 2000), por lo tanto, el sustrato es un factor importante dentro de los insumos que se utilizan en el vivero (Abad, 1991; Abad *et al.*, 1996).

Es importante recalcar que no existe un sustrato ideal, al realizar mezclas con otros materiales se adecuan las características físicas y químicas de acuerdo a las necesidades que las plantas requieren.

En México se ha generalizado el uso de la turba (*Sphagnum* sp) y suelo de monte como materiales principales, para el cultivo de especies ornamentales y hortícolas (García *et al.*, 2001).

La turba es el material más usado como sustrato, sin embargo, la producción de plantas en países no productores de turba ha tenido como consecuencia elevados costos en la producción y por lo tanto ha llevado a la búsqueda de nuevos materiales alternativos que pueden utilizarse como sustratos de cultivo (Terés, 2001).

El desarrollo de la industria y el auge de los cultivos sin suelo han generado una creciente necesidad de investigación en sustratos, que buscan satisfacer la demanda por plantas más precoces y productivas (Calderón, 2004).

El mercado actual ofrece una diversidad de materiales, los cuales presentan propiedades físicas, químicas y biológicas propias para un buen desarrollo de las plantas; sin embargo, aspectos como el precio, el manejo, finalidad, productividad, y disponibilidad de los sustratos, son factores decisivos en el éxito o fracaso en la utilización de los mismos (Calderón, 2004).

Materiales utilizados para sustratos

El sustrato de cultivo está constituido por un material poroso, en el que se desarrolla el sistema radicular de la planta, y del que esta toma el agua y los nutrientes que necesita para su desarrollo y el oxígeno necesario para el funcionamiento correcto del sistema radicular (Terés, 2001).

Comúnmente son empleados como sustratos de cultivo diversos materiales orgánicos, minerales o de síntesis. Dentro de los sustratos orgánicos se encuentran materiales generados como subproducto de las actividades agroforestales como el aserrín y cortezas de pino y como materiales minerales las tobas volcánicas, la perlita y vermiculita, entre otros, como una alternativa al uso de la turba (Baixauli *et al.*, 2002).

Los desperdicios de los aprovechamientos forestales tales como aserrín y corteza de pino, se han ido utilizando, porque mantienen una estructura adecuada del cepellón, mejoran la porosidad, relación agua/aire, favorecen el control de malezas, enfermedades y plagas (Parr *et al.*, 1980).

Altamirano y Aparicio (2002) indican que al sustituir la tierra de monte por residuos de la actividad forestal se reducen los costos de producción.

En México se han ido realizando investigaciones usando sustratos, con la finalidad de disminuir el uso del suelo de monte, sin embargo, son enfocadas hacia el área hortícola y en la producción de plantas de ornato y área forestal (Santiago, 2002).

Corteza de pino

Es un sub producto de la industria aserradora y descortezadora de la madera, que puede ser obtenida a un bajo costo, este material es considerado como desecho (Burés, 1997). La utilización para sustrato, ha sido ampliamente estudiada, determinándose que da buenos resultados (Ortiz, 1997, Reyes *et al.*, 2005; Sánchez-Córdoba *et al.*, 2008). Burés (1997) menciona que la corteza de pino suele tener un pH ligeramente ácido a neutro, que depende de la especie y del suelo donde se desarrolla el árbol y que tiene una conductividad eléctrica baja (0.1-0.6 dS/m), requiere de un proceso de compostaje previo a su uso como sustrato.

La corteza de pino puede ser empleada en proporciones de 25 hasta un 100% en la mezcla para la producción de plantas ornamentales en maceta debido a sus características físico-químicas (Reis, 1995). Una de las características es que no se reduzca su volumen con el transcurso del tiempo, no obstante, la corteza presenta una baja capacidad de retención de humedad (Burés, 1997).

Reyes *et al.* en 2005 reportaron en una mezcla compuesta por 80% de aserrín y 20% de corteza de pino (partículas menores de 5 mm) ambos materiales sin compostar. Las plantas de *Pinus pseudostrobus* presentaron valores menores en altura, diámetro de tallo, y peso seco de raíz.

En 2014 Zarate *et al.* reportaron resultados obtenidos en 9 mezclas de sustratos a base de aserrín, corteza de pino compostada, turba, perlita y vermiculita, reportando que las plantas de *Pinus montezumae* Lamb. producidas en mayor cantidad de corteza de pino presentaron un diámetro menor.

Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz un subproducto económico de la industria arrocera, puede utilizarse como sustrato de manera directa o tras sufrir un proceso de descomposición mediante el compostaje, en Japón es denominado *Kutan* que consiste en cascarilla de arroz tostado en un horno entre 300 a 600 °C, proceso que se aplica con la finalidad de mejorar las características físicas y químicas e incrementar la estabilidad biológica (Burés, 1997). Es un material que presenta una baja tasa de descomposición y baja densidad aparente (0.9 g mL^{-1}), presenta alto contenido en sílice, alta porosidad, es un material rico en fósforo, pero pobre en nitrógeno, lo que crea la necesidad de aplicar el elemento en estadios iniciales del cultivo (Calderón, 2001).

Arguello *et al.* (2010) evaluaron 3 sustratos a base de cascarilla de arroz quemada, en proporciones 100% cascarilla, 65% cascarilla y 35% fibra de coco, 35% cascarilla y 65% fibra de coco, y como testigo usaron suelo franco en plantas de clavel, midiendo las variables longitud de tallo, número de hojas, número de nudos, número de pétalos, diámetro de tallo, longitud y diámetro del botón floral. Concluyeron que las plantas establecidas en cascarilla de arroz al 100% presentaron un mayor número de pétalos por

flor, plantas establecidas en sustratos presentaron tallos de mayor valor económico en comparación del testigo.

Rodríguez *et al.* (2015) reportaron que la cascarilla de arroz semi carbonizada combinada con otros materiales orgánicos, genera resultados positivos en crecimiento y calidad en *Schizolobium amazonicum*.

Fibra de coco

La fibra de coco (*Cocos nucifera*) es un material de lenta descomposición, que resulta como subproducto del empleo del coco en la industria alimenticia y cosmética. Los países donde abunda este sub producto destacan Sri Lanka, India, Filipinas, Costa de Marfil y México, entre otros. Los sub productos resultantes del desfibrado de la nuez del coco que proceden del mesocarpio son fibras largas, que se suelen utilizar para diversas actividades de manufactura (Burés, 1997).

La utilización de fibra de coco incrementa la retención de agua, mejora la disponibilidad de nutrientes, aumenta la tasa de infiltración y la porosidad total. En países como Holanda, Inglaterra y Australia, la fibra de coco se usa para la horticultura como remplazo de la turaba (*Sphagnum* sp) (Abad *et al.*, 2005a).

López *et al.* (2005) reportaron el efecto de cuatro mezclas de fibra de coco y tezontle en dos variedades de fresa. A los 125 días evaluaron materia fresca y materia seca, altura de la planta y área foliar, la mezcla compuesta de 75% tezontle y 25% fibra de coco favoreció la altura y área foliar de la planta en las dos variedades. Se observó una tendencia negativa en el crecimiento de las plantas con el incremento de las proporciones de fibra de coco.

Alvarado *et al.* (2013) reportaron el efecto de diferentes sustratos en el enraizamiento de estacas en ruda y romero concluyeron que el uso de fibra de coco mostró mejores resultados de supervivencia y presencia de raíces con un 93% en comparación al sustrato 50% humus 50% zeolita, con un 73%.

Vermiculita

Es un mineral de silicato de aluminio-hierro-magnesio, su estructura consiste en una serie de placas delgadas paralelas las cuales son sometidas a altas temperaturas lo que provoca la expansión de las partículas (Bunt, 1988). Es un material ligero en peso, presenta una alta capacidad de intercambio catiónico, las plantas desarrolladas sobre vermiculita mezclada con materiales orgánicos presentan buenos resultados en diámetro y altura, peso seco de raíz, tanto primarias como secundarias y calidad en la planta en *Pinus ponderosa* producidas en contenedor (Di Benedetto *et al.*, 2002; Olivo y Baduba, 2006).

Jerez (2007) evaluó 4 sustratos compuestos por 100% fibra de coco, 100% corteza de pino compostada, 50% vermiculita-50% corteza de pino compostada y 50% perlita- 50% corteza en el enraizamiento de *Eucalyptus globulus*, reportaron que el tratamiento compuesto vermiculita y corteza presentó mejores resultados en altura, biomasa área, radical y total además de retención de cepellón, indicando que los tratamientos 100% fibra de coco y 100% corteza compostada son los que presentaron una entereza de cepellón al momento de ser retirados del contenedor.

Perlita

Es un mineral de origen volcánico, procesado a altas temperaturas, originando partículas blancas y ligeras en peso (Landis *et al.*, 1989). La perlita es comúnmente agregada a materiales orgánicos, como turba o corteza de pino con la finalidad de incrementar la porosidad.

Tiene una estructura celular cerrada, por lo que el porcentaje de poros cerrados al exterior es elevado; sus características de retención de agua y de aireación dependen de la granulometría. Esta suele tener cantidades variables de polvo fino que aumenta con el grado de manipulación, favoreciendo la retención de agua, pero dificulta la aireación. No contiene microorganismos, y es completamente estéril (Burés, 1997).

Rodríguez (2015) menciona que el uso de perlita en proporción 75% y 25% fibra de coco, proporcionan mejores resultados: alto rendimiento en peso fresco en plantas de fresa,

longitud y mejor calidad de frutos, sin embargo, la mezcla de perlita al 50% y fibra de coco 50% indicó mayor firmeza y sólidos solubles totales en frutos.

Tezontle

Es un material considerado inerte, buena aireación y con capacidad de retención de humedad que es dependiente del tamaño de las partículas; adicionalmente no contiene sustancias tóxicas y tiene estabilidad física (Bastida, 1999).

Es uno de los sustratos más utilizados en México en los cultivos sin suelo, en la producción de hortalizas y flores (Vargas *et al.*, 2008).

Posee alta capacidad de aireación, y poca capacidad de retención de agua, por lo que es utilizado en mezcla con materiales orgánicos dando excelentes resultados (Abad *et al.*, 1993).

San Martín *et al* (2012) Evaluaron la calidad física y química del fruto de tomate producido en hidroponía, en el que utilizaron tezontle como sustrato, con cuatro diferentes tamaños de partículas 3-5, 5-10, 10-20, 20-30 mm de diámetro, mezclado con polvo y fibra de coco en proporción 3:1, reportaron que los sustratos evaluados no influyeron en un cambio significativo, en los valores para los parámetros de calidad del fruto: sólidos solubles totales, acidez titulable y color, lo anterior según los autores se debió al suministro de agua fácilmente disponible, ninguno de los tratamientos afecto la disponibilidad de agua de riego al no contener partículas finas menores a 3 mm, las pérdidas de humedad y de fertilizante fueron menores.

Aserrín

El cultivo en aserrín es especialmente popular en las zonas que poseen una gran industria forestal, tales como la costa oeste de Canadá y de los Estados Unidos. El aserrín fue adoptado como sustrato en la región costera de la Columbia Británica como medio de cultivo a causa de su bajo costo, ligereza y disponibilidad, cerca del 80% de todos los invernaderos, utilizan alguna de las formas del cultivo sin suelo, tanto para hortalizas como para flores (Resh, 2001).

La calidad del aserrín depende del tipo de la madera, este se descompone lentamente debido al elevado contenido de ligninas y compuestos lignocelulósicos (Burés 1997).

Las características químicas del aserrín varían según la especie, posee baja capacidad amortiguadora, contenido de sales variable, pH ácido, por lo que liberan pocos nutrientes, su CIC y aporte de nutrientes aumenta a medida que se descompone (Burés, 1997).

Mora (1999) indica que el aserrín, sin compostar, ofrece mejores condiciones y estabilidad para los cultivos de ciclo largo.

La estabilidad de un material es la propiedad de un material orgánico de perderse poco y conservar sus propiedades físicas originales durante varios meses (Riviere y Caron, 2001).

Al ser utilizado como sustrato, puede tener un efecto favorable sobre la dinámica de los elementos nutritivos, puede permitir que se tenga mayor posibilidad de ser absorbidos por las plantas (Grez y Gerding, 1995). El aserrín tiene una gran capacidad de humedecimiento por tener partículas finas; entre los tipos de aserrín probados con buen éxito destaca el de pino (Mora, 1999).

Andrade (2008) menciona que el aserrín utilizado puro como sustrato puede presentar problemas de exceso de humedad y provocar la aparición de hongos, reducir el nivel de oxígeno de las plantas por lo que se recomienda hacer mezclas con materiales más gruesos con el fin de proporcionarle porosidad.

En 2013 Ordaz y Ávila evaluaron 11 sustratos con diferentes proporciones de tezontle, aserrín y composta que fueron optimizadas con el diseño "San Cristóbal". La respuesta de *Cedrela odorata* se vio favorecida en altura con altas proporciones de aserrín con respecto a otros materiales.

Reyes *et al.* (2005) evaluaron la producción de *Pinus pseudostrobus* var. *Apulcesis* utilizando 4 mezclas: 80% de aserrín y el 20% de turba, tierra de monte, corteza de pino y agrolita. Encontraron que la mayor altura y diámetro se favoreció con la mezcla compuesta de aserrín y turba.

Mateo (2011) evaluó el efecto de diferentes mezclas a base de aserrín sobre crecimiento de plantas de *Cedrela odorata*. L. en donde utilizó 0% a 100% aserrín y una mezcla compuesta de turba, perlita y vermiculita, reportando que el mayor diámetro se obtuvo con un 70% de aserrín y 30% de la mezcla turba, perlita y vermiculita, la mayor altura fue obtenida con un 80% de aserrín y 20% de la mezcla, el mayor peso de follaje fue obtenido con 90% de aserrín y 10% de mezcla, en tanto que el mayor peso de raíces y peso seco total de la planta se obtuvo con 60% de aserrín y 40% de mezcla.

Mastelerz (1977) afirma que el aserrín es el sustrato más común y ampliamente utilizado por que tienen muchas características que lo hacen deseable para la preparación de los medios de crecimiento, todos los tipos de aserrín mejoran las características físicas de los medios de crecimiento, además el tamaño de partículas es fácilmente manejable con otros componentes del medio.

D`Angelo *et al.* (1993) encontraron que en plantas ornamentales el aserrín puede sustituir a la turba hasta en un 66% en mezclas de sustratos para la producción de plantas de calidad.

De acuerdo con lo anterior el aserrín es un material apto para ser empleado como sustrato para la producción de diversas especies y en combinación de este con otro material de partículas gruesas mejora las características físicas del sustrato resultante.

Vermicompost

El vermicompost es un abono orgánico, que resulta de la transformación digestiva y metabólica de los residuos orgánicos, originados por la acción combinada de lombrices (*Eisenia foetida* S.) y microorganismos que los transforman en un material mineralizado, humificado y rico en flora bacteriana (NMX-FF-109-SCFI-2008, Hernández *et al.*, 2008; Moreno *et al.*, 2008).

Requiere de un proceso de fermentación bajo condiciones controladas que tienen por finalidad transformar la materia orgánica en compuestos estables (Burés, 1997).

Como sustrato puede satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos y reducir significativamente el uso de fertilizantes sintéticos, contiene sustancias activas que

actúan como reguladores de crecimiento, elevan la capacidad de intercambio catiónico, aumenta la capacidad de retención de humedad y porosidad, facilita la aireación y drenaje (Rodríguez *et al.*, 2008; Guerrero y Guerrero, 2006).

El vermicompost tiene un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, y es un producto con gran potencial comercial (Atiyeh *et al.*, 2002). Está formada por una mezcla química de sustancias minerales compuestas por bajas cantidades de sales que tienen una gran capacidad de intercambio iónico (Albanell *et al.*, 1988).

Desde el punto de vista ecológico y económico es un método para el tratamiento de los desperdicios orgánicos, pues se trata de un método efectivo de reducir el volumen de los desperdicios, el producto final sirve como mejorador de suelo (Raviv, 1998).

Uno de los principales subproductos que se obtiene del café es la pulpa, que representa aproximadamente el 41% del fruto (café cereza), la pulpa junto al mucilago adherido a los granos recién despulpados, representan el 61% de la materia fresca de las cerezas y son la principal fuente de materiales contaminantes, pues se trata de un material abundante, se estima que un beneficio de café con un procesamiento de 23 toneladas de café cereza, cinco toneladas corresponden al grano y 14 toneladas corresponden a pulpa y mucilago fresco (Aguilar *et al.*, 2014).

Wong *et al.* (2013) menciona que la producción mundial de café produjo al menos 1 millón de toneladas de residuos, en el año 2009 y que específicamente en México 8,000 toneladas de residuos fueron producidos en ese mismo año. De acuerdo con lo anterior los residuos de la producción de café son una alternativa para la elaboración de sustratos que se podrían aprovechar para la producción de plántulas, debido a los nutrientes que contiene, de esta forma se aprovecharían los residuos de cosecha otorgándoles un valor agregado y un aprovechamiento que reduce su acumulación y riesgos de contaminación.

Adequando las características físicas del vermicompost es factible su uso como sustrato ya que por sí sola no reúne las condiciones deseables para ser utilizado como sustrato, este material al ser catalogado un material químicamente activo, presenta un gran potencial para ser empleado como una alternativa al uso de fertilizantes minerales.

Mota y Flores (2013) reportaron que el uso de vermicompost a base de pulpa de café, complementado con tierra de monte en proporción 1:1, tiene efectos favorables en altura, área foliar, peso seco y extracción de N en plantas de albahaca (*Ocimum Selloi* Benth).

De la Cruz *et al.* (2009) registraron contenidos adecuados de elementos nutritivos en vermicompost elaborada con estiércol bovino, pasto bahía y tierra negra, altos valores de CIC de 39.07 cmol kg⁻¹, los cuales consideraron suficientes para la producción del híbrido SUN-7705 de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) en invernadero, en proporción 100 y 50%.

Sánchez y Vázquez (2000) evaluaron en invernadero cuatro mezclas de sustrato en la producción de semilla de papa variedad Rosita, 1) 50% de turba 50% de agrolita como testigo, 2) 50% vermicompost de pulpa de café 50% de fibra de coco, 3) 40% de compost de jardinería 30% de agrolita +30 de fibra de coco, 4) 50% de compost de estiércol 50% fibra de coco, las variables de respuesta evaluadas fueron número y peso de mini tubérculos concluyendo que el tratamiento dos fue el que presentó los mejores resultados con tubérculos > 1.5 cm, como medida de interés comercial.

Ramírez *et al.* (2014) valoraron vermicompost de estiércol vacuno y desechos orgánicos de cocina, con seis meses de maduración, en diferentes dosis 0, 500, 1000, 1600, 2000 y 4000 kg ha⁻¹ en el cultivo de tomate variedad Missouri, a cada uno de los tratamientos se les agregó 600 kg ha⁻¹ de urea, el vermicompost se aplicó en dos proporciones, la primera a los tres días antes de la siembra y la segunda 45 días después de la siembra, las evaluaciones se realizaron a los 100 días de realizar el trasplante donde contaron número y tamaño de frutos, concluyeron que el tratamiento en donde se aplicó 4000 kg ha⁻¹, fue el que tuvo mayor rendimiento de frutos.

Funciones de los sustratos

Los sustratos tienen cuatro funciones principales, proveer de agua suficiente a la semilla y posteriormente a la plántula, suministrar los nutrimentos necesarios para el buen desarrollo y crecimiento de la plántula, permitir el buen intercambio gaseoso entre la atmósfera y el sustrato, anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz (Rodríguez *et al.*, 2010, Calderón y Cevallos, 2003).

De preferencia emplearse materiales regionales, disponible y de bajo costo, tener un alto grado de uniformidad y ser reproducible, baja densidad, estabilidad, facilidad de mezclado y llenado de contenedores, facilidad de humedecerse y una buena formación del cepellón (Landis *et al.*, 1990, Garza, 1995; Prieto *et al.*, 1999).

Desde el punto de vista hortícola, la finalidad del sustrato de cultivo es producir una planta o cosecha abundante y de buena calidad, en un periodo corto, con los menores costos de producción. Además, el sustrato utilizado no debe provocar un impacto ambiental de importancia (Abad *et al.*, 2005b).

Características físicas de los sustratos

Las propiedades físicas de los sustratos son de vital importancia, una vez que el cultivo en contenedor sea establecido, no es posible modificar las características físicas básicas de un sustrato (Burés, 1997).

Las propiedades físicas de un sustrato están ligadas al tipo de material que lo integran, es decir, a su composición granulométrica, densidad, volúmenes de sólidos, proporción y tamaño de poros (Abad, 1991). La caracterización física considera la distribución volumétrica del material sólido, agua y aire, así como su variación en función del potencial matricial (Abad y Noguera, 1998).

Los sustratos para la producción de cultivos deben cumplir con ciertos requerimientos en las propiedades físicas y químicas, con el fin de encontrar las propiedades idóneas se ha recurrido a la mezcla de materiales simples (inorgánicos y orgánicos) o compuestos procedimiento que se ha llevado mediante propuestas aisladas no sistematizadas (Cruz, 2010).

No existe un sustrato que pueda ser empleado en todos los casos y en todas las especies. Raramente se utilizan para crecimiento definitivo de las plantas sustratos de un solo material, puesto que es difícil que reúnan las características físicas y químicas deseadas para un cultivo (Burés, 1997).

Bunt en 1988 menciona que es importante conocer las propiedades físicas y químicas de los sustratos o las mezclas porque de ellas depende el buen desarrollo de las

plántulas; las propiedades físicas y químicas que debe de poseer un sustrato son: pH ligeramente ácido entre 5.5 y 6.5, alta capacidad de intercambio catiónico, baja fertilidad inherente, porosidad adecuada (60%-80% de porosidad total, 25%-35% de porosidad de aireación, 25%-55% de porosidad de retención de humedad) y que estén libres de plagas y enfermedades.

La estructura física de un sustrato está formada básicamente por un esqueleto sólido que conforma un espacio de poros, los cuales pueden estar llenos de agua; el esqueleto sólido depende del tipo de material y de su distribución granulométrica (tamaño de partículas) y mezclado (Burés, 1997).

Densidad aparente

La densidad de un sustrato es definida como la masa de un material sólido por unidad de volumen del sustrato, incluido el espacio poroso de las partículas (Fernández *al et.*, 2006).

Porosidad

La porosidad de un medio de cultivo es definida como la proporción de su volumen que no se encuentra ocupado por la fase sólida (Ansorena, 1994).

Espacio poroso total

También denominado porosidad total, es el volumen total no ocupado por la fase sólida, es decir, la parte no conformada por partículas orgánicas ni minerales (Martínez, 1993).

Granulometría

Se refiere a la proporción del tamaño de las partículas que conforman un sustrato, puede caracterizarse utilizando una muestra seca colocada en la superficie de una columna de tamices, recolectando cada una de las fracciones retenidas en cada tamiz y cuantificando su peso, cada una de las fracciones se expresa con base en su proporción en relación con el peso inicial (Díaz, 2004).

Relación carbono/ nitrógeno

Se ha tomado tradicionalmente como un indicador en la evolución del proceso de compostaje. Los microorganismos requieren carbono para su crecimiento y nitrógeno (N) para la síntesis de proteínas, se recomienda 30 partes de carbono por una de (N) (30/1), es un valor que indica el favorecimiento de la descomposición. Relaciones más bajas conducen a una pérdida de N en forma de NH_3 y valores más altos alargan el tiempo de compostaje. Materiales que tienen carbono formando parte de compuestos resistentes como las ligninas permiten relaciones C/N más elevadas (Burés, 1997).

Abad *et al.* (1993) consideran óptima una relación C/N inferior a 20 para cultivos en sustrato, es un índice de material orgánico maduro y estable.

Lo anterior permite brindarle al cultivo la disposición de nutrientes esenciales para su óptimo crecimiento.

Los compuestos fenólicos en el aserrín pueden ejercer una acción protectora, frente a la descomposición vegetal, a través de diversos mecanismos, como la formación de complejos entre taninos, sustancias orgánicas (proteínas, celulosa y hemicelulosa) resistentes a la descomposición causada por la acción de enzimas microbianas (Tiarks *et al.*, 1989).

El aserrín puede resultar apropiado cuando se requiere una gran estabilidad del medio, como lo es el cultivo en contenedor, debido a su larga duración como sustrato (Masaguer *et al.*, 1993).

La relación C/N del aserrín varía entre 250 a 800 a medida que el material se descompone el contenido de C disminuye (Pineda, 2010).

Se han reportado relaciones C/N de 300 a 500 para el aserrín del género *Pinus*, considerando que estos valores se encuentran relacionados con la estabilidad del aserrín, y la capacidad de inmovilización biológica del nitrógeno Handreck y Black (1991).

Aguilera *et al.* (2016) reportaron una relación C/N de 261, en la caracterización de una mezcla de aserrín de pino, corteza compostada y vermiculita (70:15:15 v:v).

Wightman (2000) menciona que una ventaja de la alta relación carbono/nitrógeno del aserrín sin compostar, es que ofrece mejores condiciones y más estabilidad para cultivos de ciclo largo y para su posterior reutilización.

Tiarks *et al.* (1989) mencionan que los compuestos fenólicos presentes en el aserrín pueden ejercer una acción protectora frente a la descomposición vegetal, a través de diversos mecanismos como la formación de complejos entre taninos, sustancias orgánicas (proteínas, celulosa y hemicelulosa) además de minerales resistentes a la descomposición causada por la actividad de enzimas microbianas, por ello el aserrín puede resultar apropiado, cuando se requiere una gran estabilidad del medio, como en el cultivo de plantas de ciclos largos en contenedor, debido a su tardía descomposición como sustrato (Masaguer *et al.*, 1993).

Durante cinco años de investigación en la utilización de desechos de madera en Polonia, Pudelski (1978) demostró que estos materiales conservaban sus propiedades físicas por más tiempo que un sustrato preparado con mayor cantidad de turba.

Características químicas de los sustratos

pH

Es una propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad de las soluciones acuosas, por definición se considera pH como el logaritmo negativo del ion hidrógeno en una solución acuosa, es una propiedad química de importancia, porque indica que tan ácida o alcalina es la solución que es donde las raíces toman los nutrientes (Osorio, 2012).

Los materiales utilizados en los medios de cultivo varían en pH de un material a otro. El pH que se tiene al final del sustrato, depende del manejo de la fertilización y riego que se realice en el vivero. Ansorena (1994) menciona que el sustrato debe de tener un pH óptimo entre 5.2 a 6.3 para que las plantas crezcan sin deficiencias nutrimentales, siempre y cuando las concentraciones de nutrientes disponibles se mantengan en niveles suficientes, lo que no excluye que puedan crecer fuera de este intervalo.

Cao y Tibbitts (1994) mencionan que se han encontrado en varias especies de cultivos que los incrementos en pH promuevan la absorción de amonio (NH_4^+) en tanto que una reducción favorece la absorción de nitratos (NO_3^-).

El control del pH en vivero es menos crítico debido al uso de contenedores, donde todos los nutrientes esenciales pueden ser proporcionados a través de la fertilización. Muchas de las plantas pueden crecer dentro de un intervalo de valores de pH relativamente amplios si los micronutrientes son provistos en la forma y proporción adecuados (Bunt, 1988).

Husted (1988) reportó en un estudio que realizó sobre enfermedades en plántulas de *Pseudotsuga menziesii* cultivadas en contenedores, que las pérdidas por hongos fueron más severas en pH de 4.0 con un 94% en comparación a pH entre 5.0 y 6.0 con un 10%, debido a lo anterior los viveristas deben mantener de los medios de crecimientos en los rangos establecidos anteriormente.

Conductividad eléctrica

Es el valor recíproco de la resistencia eléctrica de una columna de solución. Se expresa en dS/m, el cual está relacionado con la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato (Burés, 1997). Lemaire (1993) indica que las sales solubles pueden afectar a las plantas de distintas formas, como en la absorción de nutrientes y el balance nutricional que es necesario para el óptimo crecimiento.

Capacidad de Intercambio de Catiónico (CIC)

Se define como la suma de los cationes intercambiables que un material puede absorber por unidad de peso o volumen del sustrato. Los cationes quedan así retenidos frente al efecto lixivante del agua y están disponibles para la planta, se expresa en miliequivalentes por 100 gramos de sustrato o por litros de sustrato. Una elevada CIC, permite mayor flexibilidad en el manejo de nutrientes, y una cierta capacidad para contrarrestar posibles excesos de sales al sustrato (Burés, 1997, Abad *et al.*, 2004).

Los materiales utilizados para sustratos presentan distinta CIC, los orgánicos contienen valores elevados, que presentan un depósito de reserva para los nutrimentos, en tanto

que los minerales presentan una baja CIC, por lo tanto, se requiere de una aplicación más frecuente de fertilizantes (Lax *et al.*, 1986). La CIC es un factor que afecta la fertilidad del medio de crecimiento en las plantas producidas en contenedor en los viveros (Bunt, 1988).

Burés (1997) menciona que la CIC aumenta a medida que se degradan los materiales, dado que se forman sustancias húmicas con una CIC elevada, a medida que se estabiliza la MO aumenta la CIC, indicando este un buen parámetro en su evolución.

Contenedor

En el ámbito de vivero, el contenedor puede ser referido a una sola celda o a un bloque entero, el termino deriva del inglés *container* que significa envase o recipiente, que contiene al sustrato o medio de crecimiento para el sistema radical de la planta e influye en el desarrollo de la parte aérea (Landis, 1990).

Existen muchos tipos de contenedores que son usados en la producción de plántulas en la actividad agrícola. El uso de un tipo particular de envase es determinado por varios factores entre los principales el costo, disponibilidad de la materia prima, durabilidad, facilidad de manejo, espacio disponible en el vivero y el tamaño de la planta (Musálen y Fierros, 1979; Venator y Liegel, 1985).

En vivero el contenedor tiene la ventaja de producir altas densidades de plantas en pequeñas extensiones donde los terrenos pueden ser de baja calidad (Landis *et al.*, 2014).

La producción en contenedor se cultiva en sustrato, natural o artificial, de forma tradicional se utiliza bolsas de polietileno, actualmente se han incorporado contenedores o bandejas de producción, lo que permite un manejo más controlado en cuanto a la homogeneización del sustrato, facilidad de riego, control de malezas y aplicación del fertilizante (Landis *et al.*, 2014).

Una de las técnicas utilizadas actualmente son los tubetes o contenedores a base de polipropileno, este sistema es considerado como una tecnología moderna que consiste en utilizar un contenedor que se llena con sustrato lo que permite a la planta una buena

nutrición y crecimiento, este a su vez favorece obtener una planta sana con un sistema radical fuerte y desarrollando además condiciones vegetales adecuadas en un periodo corto (Martínez, 2005).

Ortega *et al.* (2006) mencionan que la elección del contenedor es de suma importancia ya que este permite el desarrollo de un sistema radical óptimo y equilibrado.

El principal factor del que depende el éxito de un cultivo en contenedor es la calidad del sustrato utilizado y la finalidad de producir plantas en un menor tiempo y a un bajo costo (García, 2006).

Según Martínez (2005) entre las ventajas del uso de contenedor destacan: que se disminuyen los costos de transporte del vivero hacia el sitio de trasplante, se generan condiciones asépticas pues la planta queda suspendida sin contacto con el suelo, se reduce la contaminación en campo ya que no se generan residuos de bolsas plásticas, aumenta la eficiencia de la mano de obra en las labores de llenado, siembra y riego por estar concentrado en poco espacio dentro del vivero.

Domínguez *et al.* (2006) reportaron en *Pinus pinea* una relación positiva entre el tamaño del contenedor y el crecimiento de las plantas, los contenedores de mayor volumen produjeron plántulas con mayor altura y diámetro, mayor contenido de nutrientes y mejor rendimiento en campo, después de una evaluación de un ciclo de producción en vivero y tres años después de la plantación en campo.

Chirino *et al.* (2008) sostienen que el cultivo en recipientes profundos (altura) mejora las características morfo-funcionales y la calidad de plántulas en *Quercus suber* L. Observaron que los contenedores profundos produjeron plántulas con una raíz pivotante, misma que rápidamente puede llegar a los horizontes más profundos del suelo y generar un mayor crecimiento en el número y biomasa de las raíces nuevas.

Rodríguez (2013) evaluó dos tamaños de contenedores 137 y 220 cm³ en *Pinus patula*. El autor reportó que mayor volumen en el contenedor refleja una mayor altura y características morfológicas superiores en comparación a contenedores de menor tamaño.

Injerto

El injerto es una práctica que permite cultivar una planta con la raíz de otra; consiste en la unión de dos porciones de tejido vegetal vivo de modo que crezcan y se desarrollen como una sola planta (Hartmann *et al.*, 1991).

La variedad a cultivar se injerta sobre una planta resistente a la enfermedad que se desea prevenir y que pertenece a otra variedad, el sistema radical que se utiliza es porta injertos, que posee el carácter de resistencia a algún patógeno presente en el suelo, razón por la cual permanece sano y asegura una alimentación normal de la planta (Rodríguez, 2006).

Los cafetos son afectados severamente por plagas como nematodos principalmente, con el fin de combatirlos, se ha empleado la técnica del injerto entre *C. canephora* y *C. arabica* (Zamarripa y Escamilla, 2002).

El injerto en café por lo general se realiza a los 60 días de haberse iniciado el semillero, teniendo cuidado de realizarlo en periodo de “soldadito” debido a que el tejido del tallo aún no se ha lignificado y con ello se evita la transpiración de la planta, esta actividad consiste en injertar cafetos de la especie *Coffea arábica* sobre el patrón de la variedad *Coffea canephora* variedad robusta, el cual ha demostrado ser un recurso práctico y económico para el control de nematodos en la plantación (Martínez, 2005).

Reyna en 1968 determinó que la variedad robusta (*Coffea canephora*) posee genes de resistencia al ataque de nematodos y otras enfermedades de la raíz, sin embargo, debido a las características de polinización cruzada, las progenies presentan gran variabilidad genética en su resistencia (Castillo, 1986).

La técnica del injerto es aplicada principalmente en cítricos, hortalizas y otras especies de alto valor económico, con la finalidad de buscar patrones tolerantes a sequía, salinidad y resistencia a enfermedades.

En hortalizas el injerto ha sido una de las técnicas más eficaces para reducir los efectos de enfermedades provenientes del suelo y para mejorar el rendimiento y calidad de los frutos (Echeverría *et al.*, 2012).

Báez *et al.*, en 2007 evaluaron el comportamiento de cuatro portainjertos de tomate: Multifort, Aloha, RT-1 160961, y Vigostar 10 injertados con cinco híbridos de tomate bola TL-4500, Imperial, Pilavy, Liberty y Aegean inoculados, con el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *licopersici* raza 3 causante de la fusariosis con base a la resistencia a la enfermedad y productividad. Después de seis meses se evaluó la incidencia de la enfermedad, se observó que Multifort presentó resistencia, no se encontraron plantas con presencia de síntomas de la enfermedad en ninguna de sus combinaciones con los cinco híbridos, Vigostar 10, Aloha y RT-41500 resultaron ser tolerantes, en cuanto a rendimiento las mejores combinaciones fueron los porta injertos Multifort y Vigostar 10 injertados con el híbrido imperial, en los que se obtuvo un mayor incremento en la producción con un 170% respecto al híbrido sin injertar.

Hernández *et al.* (2014) evaluaron en 2009 el crecimiento y productividad del pepino injertado y cultivado en invernadero, utilizaron cuatro tratamientos 1) pepino sin injerto; 2) pepino injertado sobre calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* K. Koch var. *stenosperma*); 3) pepino injertado sobre chilacayote (*Cucurbita ficifolia* Bouché); y 4) pepino injertado sobre estropajo (*Luffa cylindrica* L.); evaluaron altura, diámetro de tallo, área foliar, número y peso de frutos, peso de raíces, tallos y hojas. Reportaron que el patrón estropajo indujo a una menor área foliar, el pepino injertado en calabaza y chilacayote produjeron mayor diámetro de tallo, área foliar y peso de fruto, no encontraron diferencias en altura.

Franquez *et al.* (2016) reportaron resultados obtenidos en la evaluación de dos tipos de injerto en pepino: injerto de cuña y de aproximación, en el que se usó como porta injerto el híbrido de calabaza Ferro R2 F1® y como injerto a la variedad Mondan, además de un testigo sin injertar. Se observó, 70 días después del trasplante, que las plantas injertadas obtuvieron mayor longitud y peso de fruto, mayor desarrollo radical en ambos tipos de injertos, en comparación con el testigo.

Fertilización en vivero

Después del riego, la fertilización es la práctica cultural que más influye directamente en el desarrollo de las plantas, para obtener plantas de calidad, especialmente en las

plántulas producidas en contenedores, en el cual el volumen es limitado obstaculiza seriamente su desarrollo (Burés, 1997; Landis, 1989). El estado nutricional afecta a los procesos fisiológicos de las plantas tales como la regulación del crecimiento, el flujo de energía y la síntesis de los complejos orgánicos moleculares que componen las plantas (Landis *et al.*, 1990).

Asimismo, una buena o mala nutrición puede acelerar o retrasar el desarrollo de las plantas, tanto de su parte aérea como radical; puede alterar la composición nutritiva de los tejidos, con efectos sobre el nivel de reservas, la capacidad de arraigo, la resistencia al estrés hídrico o la resistencia al frío y a enfermedades (Landis, 1985; Malik y Timmer, 1998; Grossnikle, 2000).

La adición de fertilizante a las plantas en vivero se realiza sin un análisis previo de los requerimientos del cultivo, cada productor maneja diferentes dosis y fuentes de fertilizantes. La fertilización es un factor clave que influye en la calidad de la planta, especialmente en las que son producidas en contenedor (Landis *et al.* 1989).

Burnes (1997) menciona que la fertilización es una de las prácticas culturales que más influye en el desarrollo de las plántulas. La adición de fertilizantes a niveles óptimos en etapa de vivero favorece principalmente el crecimiento en altura, diámetro del tallo, peso seco total, lo que permite que la planta en campo resista bien durante los primeros meses de la plantación (Hasse, 2007).

La fertilización se puede realizar con fertilizante soluble y con los de lenta liberación o una combinación de ambos. Para realizar la fertilización de los cafetos en etapa de vivero cada productor maneja diferentes dosis y fuentes de fertilización, de acuerdo a su economía.

INIFAP (2013), en etapa de vivero, recomienda tres aplicaciones en forma diluida de 18-46-00 (N-P) en una solución al 3% y en la última sugiere la incorporación de urea en la misma concentración, en intervalos de dos meses.

El INIFAP (2011) recomienda para un óptimo crecimiento y producción de cafetos la fórmula triple 17 (N-P-K) con una dosis de 100 a 150 g por planta al año de manera

fraccionada, con dos aplicaciones; uno en la siembra y la otra poco antes de que termine en periodo de lluvias.

Fertilizantes de liberación controlada

Un fertilizante es cualquier material inorgánico capaz de proporcionar a las plantas uno o más de los elementos esenciales para su desarrollo normal (IFCD-UNIDO, 1998).

El mercado de fertilizantes de liberación controlada (FLC) surgió de la necesidad para resolver problemas económicos y ecológicos de fertilización aplicada en hortalizas y frutales. Ante los buenos resultados, este mercado se ha expandido al sector forestal (Rose *et al.*, 2004).

El Comité Europeo de Normalización señala que un fertilizante de liberación lenta es aquel que a 25 °C, no más del 15% es liberado en 24 horas, no más del 75% es liberado en 28 días y al menos 75% del total es liberado en el periodo de liberación especificado por el fabricante (Shaviv, 2000).

El término se usa indistintamente para referirse a liberación lenta, liberación controlada y liberación gradual, como su nombre lo indica, liberan gradualmente los nutrientes manteniendo de esta manera un control de pérdidas por lixiviación.

Los fertilizantes de liberación lenta retardan su disponibilidad para absorción y uso por la planta después de su aplicación, además está disponible a la planta por un tiempo significativamente mayor que un fertilizante de disponibilidad rápida, según las normas de American Association of Plant Food Controls Officials en 1995 (Shaviv, 2000; Núñez, 2001).

Las moléculas o gránulos del fertilizante se encuentran recubiertos por barreras físicas de un material muy poco soluble, que impide el acceso masivo del agua disolvente al granulo de la sustancia fertilizante; el agua penetra a través del recubrimiento mediante un proceso de difusión, por los poros o grietas presentes generados en el proceso de fabricación y manipulación del fertilizante o por la acción de los microorganismos hacia las cubiertas que son biodegradables (García, 1992).

También denominados fertilizante ideal, debido a que los nutrientes los libera de manera controlada

Tienen la ventaja de liberar los nutrientes a una tasa que coincida con la demanda de la planta y de esta forma evitar pérdidas, al disminuir la frecuencia en la fertilización y las pérdidas por lixiviación y volatilización principalmente, favoreciendo la calidad de la planta (Jiménez, 1992).

Son considerados de alta tecnología, con un potencial para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes, el crecimiento y la competitividad de las plantas (Rose *et al.*, 2004). Debido a su alto costo se han empleado principalmente en la producción de plantas en contenedor, así como en cultivos en campo de alto valor bajo condiciones de alta lixiviación (Adams *et al.*, 2013).

En México, los fertilizantes de liberación controlada presentan ventajas con respecto a los fertilizantes hidrosolubles de rápida entrega (Rose *et al.*, 2004; Akelah, 2013), pues su habilidad de suministrar nutrientes en forma gradual a las plantas en periodos más prolongados mediante una sola aplicación, reduce la probabilidad de causar toxicidad y disminuye la pérdida por lixiviación (Albano *et al.*, 2006).

La finalidad de los FLC es la entrega de los nutrimentos a una tasa que coincida con la demanda de la planta, sin embargo, el comportamiento de liberación es variable según el producto y depende de los niveles de humedad del suelo, la temperatura o la actividad microbiológica (Rose *et al.*, 2004).

Multicote

Este producto es manufacturado por Haifa Chemicals Ltd. Israel. Estos fertilizantes se encuentran recubiertos por barreras físicas de un material muy poco soluble, que impide el acceso masivo del agua disolvente al granulo, el agua penetra a través del recubrimiento mediante un proceso de difusión o por los poros o grietas presentes; estos son generados en el proceso de fabricación o por medio de la manipulación del fertilizante, en cubiertas que son biodegradables (García, 1992).

Uso de los fertilizantes de liberación controlada

Oliet *et al.* (2004) reportaron la respuesta de *Pinus halepensis* con dos formulaciones de fertilizante de liberación controlada (Osmocote) 9-13-18 y 17-10-10 con tres dosis 3.25, 5 y 7 g L⁻¹; los atributos morfológicos de las plantas mejoraron cuando se evaluaron la dosis independiente de las formulaciones empleadas.

Mateo *et al.* (2011) reportaron los efectos de cuatro dosis de fertilizante de lenta liberación Osmocote plus® 15-9-12+ micro elementos (ME), en plántulas de *Cedrela odorata* producidas en contenedor durante tres meses y medio, las dosis 0-6-9 y 12 kg/m³, las plantas evaluadas con dosis de 9 kg/m³ presentaron valores más altos en peso seco total, relación parte área/raíz, índice de esbeltez e índice de calidad de Dickson, la dosis de 12 kg/m³ ocasionó un ligero efecto de fitotoxicidad que se manifestó en una breve disminución en las variables, altura y diámetro en comparación con el efecto de los 9 kg/m³.

Reyes (2005) reportó el efecto de Multicote 6 (18-6-12 +ME) con tres dosis: 3, 5 y 7 kg/m³ en plántulas de *Pinus patula* desarrolladas en sustrato, a los siete meses evaluó, crecimiento en diámetro y altura, peso seco de raíz, peso seco aéreo, relación parte aérea/raíz, índice de esbeltez e índice de calidad de Dickson, concluyó que la dosis de 5 kg/m³ fue la dosis la que presentó los valores más alto en todas las variables evaluadas, en tanto que las dosis de 3 y 7 kg/m³, generaron un desbalance en el crecimiento altura/diámetro.

Ávila *et al.* (2015) evaluaron el crecimiento de *Cedrela odorata* con tres dosis de fertilización 3, 5 y 7 g/L de las marcas Osmocote ® 15-9-12 y Multicote ® 18-6-12, después de 4 meses en vivero; evaluó altura, diámetro de tallo, peso seco de raíz y parte área, la mayor respuesta en altura de la planta fue determinada con 5 g de ambas marcas de fertilizante.

Aguilera *et al.* (2016) reportaron la respuesta de *Pinus moctezumae* Lamb., con tres dosis de fertilización 4, 6, 8 g L⁻¹ en tres marcas de fertilizante de liberación controlada (Basacote plus 16-8-12+ME, Multicote 18-6-12+2Mg+ME y Osmocote plus 15-9-12+ME), encontrando que las variables diámetro, peso seco aéreo, peso seco de raíz y peso seco

total fueron mayores con Multicote plus con una dosis de 8 g L⁻¹, sin embargo, la dosis de 6 g L⁻¹ presentó valores similares a los encontrados con 8 g L⁻¹.

Isla *et al.* (2013) evaluaron el efecto de fertilizante de liberación controlada (Multicote 4 ®, Haifa Chemicals) 15-7-15 +2MgO mas micronutrientes, en nectarina (*Prunus persica*), aplicando un total de 350 g por árbol, dosificando la cantidad de 196 , 70 y 84 g, en tres meses, y un fertilizante liquido inyectado con el riego (Poly-feed® Drip 20-9-20+2MgO con micronutrientes). Ellos reportaron lecturas SPAD (Soil Plant Analysis Development) mayores que el fertilizante líquido, no observaron alguna diferencia en cuanto al número de frutos en ambos tratamientos, además evaluaron el comportamiento de la conductividad eléctrica para ambos fertilizantes después del experimento. Concluyeron que la conductividad eléctrica fue mayor en el fertilizante líquido.

Calidad de la planta

Una planta de calidad es aquella que reúne las características morfológicas y fisiológicas adecuadas para supervivir y crecer satisfactoriamente en las condiciones ambientales del lugar donde será plantada (Duryea, 1985).

La mejor calidad de la planta se obtiene cuando la parte aérea es relativamente pequeña y la raíz es grande, lo que puede garantizar una mayor supervivencia, ello evita que la transpiración exceda la capacidad de absorción (May, 1984).

Reyes (2005) reportó valores de 2.3 de relación aérea/raíz como una variable en la calidad de planta, desarrolladas en una mezcla de 80% aserrín y 20% de turba en plantas de *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus*, en coníferas una relación aérea/raíz, no debe ser mayor a 2.5 (Thompson, 1985).

Prieto *et al.* (1999) mencionan que la altura de plántula es la característica morfológica más fácil de determinar, aunque tiene poco valor como indicador único, al combinarlo con el diámetro y la arquitectura de la planta adquiere más importancia.

Altura de la planta

Prieto *et al.* (1999) la definen como un indicador de la superficie fotosintética y del área de transpiración. Johnson y Cline (1991) indican que es una de las características más fácil de medir, sin embargo, esta variable no indica por si sola que la planta sea de calidad. Plantas con altura entre 35 a 40 cm son apropiadas para una óptima supervivencia y crecimiento en campo (Dumroese *et al.*, 1998).

Diámetro de tallo

Se asocia con el sistema radical, permite predecir la supervivencia en campo, un mayor diámetro indica mayor transporte de agua y nutrientes, un tallo más lignificado y de mayor grosor es indicador de resistencia a daños por temperaturas altas (Prieto *et al.* ,1999).

Sistema radical

A mayor sistema radical y raíces finas, la planta tiene mayores posibilidades de supervivencia en campo debido a que pueden absorber mayor cantidad de agua y nutrientes. El sistema radical es considerado como un determinante en la calidad de la planta, algunas características que se pueden observar son longitud, peso y morfología de la raíz principal (Ritchie, 1985; Haase, 2007; Drexhage *et al.*, 1999).

Relación parte área-raíz

Se refiere a la proporción de la biomasa aérea con respecto a la raíz. Una proporción mayor a tres incrementa las posibilidades de desequilibrio hídrico y pone en peligro la supervivencia de la planta (Capó, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en el mes de marzo de 2015 en condiciones de vivero, en la comunidad de Zacamitla, Municipio de Ixhuatlan del Café, Veracruz, a una latitud de 19°03' 05'' Norte, longitud 96° 58' 16'' Oeste y una elevación de 1180 m.

La evaluación comprendió tres etapas: caracterización física y química de materiales, empleados como sustrato, establecimiento en vivero, evaluación morfológica de las plántulas, y análisis foliar.

El experimento se evaluó después de ocho meses en vivero cuando las plantas presentaban de 4 a 5 pares de hojas, a través de variables morfológicas como altura de plantas, diámetro de la base del tallo, peso fresco de las hojas con tallos y por separado el de raíces.

La altura se midió, utilizando una regla milimétrica desde la base del tallo hasta la yema terminal, el diámetro se midió en el cuello de la raíz utilizando un vernier digital, la biomasa aérea y radical se obtuvo separando la parte aérea de la raíz.

Se obtuvieron los pesos de cada una de las plantas, posteriormente se lavaron con agua potable, y después con agua destilada, se drenó el exceso de agua, posteriormente fueron colocadas en bolsas de papel y se metieron en una estufa de circulación forzada a 70 °C durante 72 horas. Después de transcurrido el tiempo se pesaron en una balanza analítica con precisión de 0.0001 g.

La relación parte aérea/raíz se calculó como el cociente entre el peso seco aéreo (g) y el peso seco radical (g) (Thompson, 1985).

El análisis de los datos se realizó, a través del programa estadístico SAS versión 9.3, en el que se ejecutó un análisis de varianza mediante el procedimiento proc GLM, posteriormente se realizaron comparaciones de medias con la prueba DMS (método de la diferencia mínima significativa) ($p < 0.05$) para las variables de altura, diámetro de tallo, materia seca aérea, radical y materia seca total.

Se aplicó un diseño en bloques generalizado con sub muestreo

Modelo

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \tau_i + Bt_{ij} + \epsilon_{ij \text{ exp}} + \epsilon_{ijks}$$

Donde:

μ = Media general

β_j = Efecto de siembra directa e injerto

τ_i = Efecto de las dosis de fertilización

β_{tij} = Efecto de interacción de siembra directa, injerto y dosis de fertilización

ϵ_{ijexp} = Error experimental correspondiente al tratamiento

ϵ_{ijks} = Error de muestro

El análisis químico nutrimental se realizó, con el programa estadístico SAS versión 9.3, por medio de un análisis de varianza a través del procedimiento proc GLM, y la comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$).

El modelo estadístico utilizado para el análisis nutrimental en plantas de café fue el de un diseño de bloques al azar.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde

Y_{ij} = Valor de la variable de respuesta

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento

β_j = Efecto del injerto y siembra directa

ϵ_{ij} = Error experimental.

Caracterización física y química de materiales

La primera etapa correspondió a la caracterización física y química de los materiales, realizado de acuerdo al protocolo del laboratorio de Física de suelos del Programa de Edafología del Colegio de Postgraduados, se determinaron, en Aserrín de pino-tezontle (3:1) y vermicompost-tezontle (1:1): porosidad total (PT), porosidad de aireación (Pai), porosidad de retención de humedad (Prh), densidad aparente (Da), granulometría, relación C/N para los análisis químicos se determinaron: pH y CE, CIC, nitrógeno total, fósforo y bases intercambiables (calcio, magnesio, sodio y potasio).

En el Cuadro 1 se describen las proporciones de materiales usados para la elaboración de los dos sustratos empleados para la propagación de plantas de café en contenedores.

Cuadro 1. Materiales y proporciones establecidos para sustratos, para la producción de plántulas de *Coffea* sp.

Sustrato	Material (%)		
	Aserrín de pino	Vermicompost*	Tezontle
1	75		25
2		50	50

*Vermicompost a base de cachaza (40%), pulpa de café (30%) y estiércol bovino (30%).

Porosidad

A cada una de las mezclas se determinó la porosidad total (PT), porosidad de aireación (Pai) y la porosidad de retención de humedad (Prh), siguiendo el protocolo del laboratorio de Física de suelos, basado en la metodología descrita por Landis *et al.* (1990), el sustrato se hidrató por 24 horas, transcurrido el tiempo, se procedió a llenar los permeámetros con la mezcla hidratada e inmediatamente se tomó cada uno de los pesos con la mezcla; se dejó drenar y se obtuvo el peso drenado, después se vaciaron las mezclas del permeámetro y se colocaron en una estufa con circulación de aire a una temperatura de 70 °C durante 78 horas, finalmente se obtuvo el peso seco de cada muestra.

Densidad aparente

Se utilizaron permeámetros con capacidad de 500 mL, se llenaron con sustrato saturado hasta el volumen conocido, se dejó drenar, posteriormente se procedió a secar el sustrato a temperatura de 70 °C durante 78 horas, con la finalidad de obtener el peso seco que junto con el volumen se obtuvo la densidad aparente expresada en g cm⁻³.

Granulometría

La distribución del tamaño de partículas que componen un material se expresa en una curva granulométrica que se generara mediante las proporciones de material atrapado en cada malla de una columna de tamices (Burés, 1997). Para este trabajo se realizó por medio de 7 tamices con los siguientes diámetros 6.36, 4.76, 3.36, 2.00, 1.00, 0.5, 0.25

mm y receptor. Se utilizó una muestra de 500 g de cada mezcla con 4 repeticiones, se tomó el peso de cada uno de los tamices posteriormente fue colocada en el primer tamiz de la columna que se sometió a una vibración durante tres minutos en un agitador mecánico transcurrido el tiempo se pesó cada uno de los tamices con el sustrato contenido, el mismo procedimiento fue aplicado para cada una de las muestras.

Curva de liberación de agua

Determinado por el método de embudos, descrito por De Boodt *et al.* en 1974, con la finalidad de estimar los datos de la curva se obtuvieron los datos de agua fácilmente disponible (AFD), agua difícilmente disponible (ADD), agua de reserva (AR), material sólido (MS) y capacidad de aire (CA).

Para la determinación se utilizaron embudos de succión, con una placa filtrante conectados a una manguera, se colocó la muestra de los sustratos previamente saturado y se sometió a una succión de 10 cm de columna de agua, hasta estabilizarse, se tomó una muestra obteniendo el peso húmedo y peso seco a 70 °C, el mismo procedimiento se realizó para 50 y 100 cm de columna de agua, con cada una de las mezclas.

Carbono

Se determinó por calcinación total, sometiendo los sustratos a una temperatura de 480 °C, usando una mufla (Ansorena, 1994), este método implica la calcinación de toda la materia orgánica, en donde un peso conocido del sustrato es colocado en un crisol de cerámica, que es sometido a temperatura de 480 480 °C, la muestra se enfría y se pesa, calculando con la siguiente fórmula.

Fórmula: $C_o = (\%MO * 0.58)$

Donde C_o = Carbono orgánico expresado en porcentaje

MO = Materia orgánica expresada en porcentaje

$$\text{Fórmula : \%Mo} = \left[\frac{(P_m - P_c) * 100}{P_c} \right]$$

Dónde: P_c = Peso de ceniza

P_m = Peso de muestra secada a 70 °C sin incinerar

pH y CE

Se determinó mediante extracto de una relación 1:4 (1 volumen de sustrato y 4 volúmenes de agua) el pH se midió mediante potenciómetro y la CE mediante el conductímetro.

Contenido de nitrógeno total

Se realizó con el método micro Kjeldahl (modificado por Bremner en 1965, citado por Fernández, 2006), que consiste en la digestión de la muestra con ácido sulfúrico, en el cual se produce amonio que es cuantificado por destilación y posterior titulación (Walinga *et al.*, 1995).

Digestión de la muestra. La muestra se sometió a digestión por calentamiento con ácido sulfúrico y una mezcla de sales que aceleran y facilitan la oxidación de la materia orgánica

Destilación. Para la titulación se usó hidróxido de sodio, para formar hidróxido de amonio, que por la acción del calor este se descompuso en amoniaco (NH_3) y agua.

Titulación. El amoniaco desprendido por la reacción se recolectó en un volumen conocido de solución valorada con ácido bórico y por comparación de un blanco, se determinó la cantidad de ácido que reacciono con el NH_3 .

Fósforo (P). Se determinó por colorimetría mediante el método Bray en la mezcla de aserrín de pino y tezontle, y mediante el método Olsen para la mezcla de compost-tezontle.

El método Olsen es empleado donde la pasta de saturación de las muestras de sustrato resultase con $\text{pH} > 7$ y Bray para $\text{pH} < 7$ (Fernández, 2006).

Método Bray

Procedimiento:

- Consistió en pesar 2.5 g de la muestra tamizada a malla 2 mm
- Adición de 25 mL de fluoruro de amonio (NH_4F)
- Carbón activado (0.2 g) y se agitó durante 5 min. Posteriormente la mezcla fue filtrada a través de papel whatman.

Método Olsen

Procedimiento

- Se pesan 2.5 g de la muestra tamizada a malla 2 mm
- Se agregan 50 mL de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) y 0.2 g de carbón activado, y se agita por un periodo de media hora, posteriormente la muestra se filtra en papel whatman
- La determinación y lectura para ambos métodos consistió en tomar 2 mL de la muestra, y 5 mL de agua destilada, adicionar 2 mL de molibdato de amonio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$) y 1 ml de cloruro estanoso ($\text{SnCl}_2 \cdot \text{SnCl}_2$); posteriormente las muestras se leyeron por medio de un espectrómetro marca Spectronic 20 Baush & Lomb

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Se determinó por el método del acetato de amonio (NH_4OAc) pH 7 0.1 N. El método consistió en saturar la muestra con un catión que normalmente no forma parte de los iones, como el NH_4OAc , el proceso se realiza con un pH de 7 y con una solución 0.1 N, con el que se logra obtener la capacidad total del cambio de cationes en la muestra y el lavado del exceso de la solución con alcohol (NOM-021-SEMARNAT-2000, Fassbender, 1987).

Procedimiento

Se pesaron 5 g de sustrato tamizado a malla 5 mm, depositando sobre una toalla circular de algodón previamente depositada en los tubos de percolado, se sobrepuso otra toalla a manera de sello.

Se adicionaron 100 mL de acetato de amonio y se dejó saturar durante 24 horas, se drenó y recolectó el acetato a modo de goteo, para la determinación de Ca^{2+} , Mg^{2+} por titulación, Na^+ y K^+ por flamometría (NOM-021-SEMARNAT-2000, Fassbender, 1987).

Establecimiento en vivero

La segunda etapa comprendió el establecimiento en vivero en el cual se establecieron los tratamientos durante un periodo de ocho meses.

El experimento se estableció en el mes de marzo de 2015 en condiciones de vivero, en la comunidad de Zacamitla, con ubicación (latitud 19°03' 05'' Norte, longitud 96° 58' 16'' Oeste, con una elevación de 1180 m en el Municipio de Ixhuatlán del Café, estado de Veracruz.

Se usaron dos especies de plantas de café, una *Coffea arabica* variedad Colombia y *Coffea canephora*, variedad Robusta, obtenidas en la misma región; el almácigo y la siembra directa se llevó a cabo durante los meses de diciembre de 2014, posteriormente se realizaron los injertos y el trasplante de éstos en el mes de marzo de 2015, usando contenedores de polietileno de capacidad de 1 litro y como sustrato se empleó aserrín de pino y tezontle en una proporción 3:1, aplicando tres dosis de fertilización 7, 9 y 11 g/L, agregando el 50% de Multicote® 18-6-12 +ME de cuatro meses y 50% de Multicote® 18-6-12+ 2MgO + ME de 8 meses, un cuarto tratamiento que consistió en vermicompost (elaborada con estiércol bovino y pulpa de café, en proporciones iguales) y tezontle en una relación 1:1, la relación de tratamientos se muestra en el Cuadro 2. Los mismos tratamientos fueron asignados a plantas injertadas y de siembra directa obteniendo un total de 8 tratamientos.

Los tratamientos correspondientes a siembra directa se emplearon 20 plantas como unidad experimental con 4 repeticiones en siembra directa con un total de 320 y para los

tratamientos de plantas injertadas se emplearon tres repeticiones, con 240 plantas, la aleatorización se realizó mediante el programa estadístico R.

El programa R consiste en un conjunto de programas estadísticos, que permite realizar el manejo de datos, cálculos, gráficos y pruebas estadísticas, bajo la modalidad de software libre, el cual puede ser instalado en distintos sistemas operativos (García *et al.*, 2010).

Al realizar la mezcla de aserrín tezontle(A-T) antes de ser empleado ésta fue desinfectada con el producto comercial Aníbac 580 sanitizante y desinfectante al 0.5 L / 25-50 L de agua, con la finalidad de evitar hongos.

Cuadro 2. Tratamientos y dosis de fertilización en café (*Coffea arábica*).

Tratamiento	Sustrato	Fertilización g L ⁻¹	Multicote® 4 meses (g)	Multicote® 8 meses (g)	Modalidad
T1	A-T*	7	3.5	3.5	Sd*
T2	A-T*	9	4.5	4.5	Sd*
T3	A-T*	11	5.5	5.5	Sd*
T4	VC-T**	VC*	0	0	Sd*
T5	A-T*	7	3.5	3.5	Pi*
T6	A-T*	9	4.5	4.5	Pi*
T7	A-T*	11	5.5	5.5	Pi*
T8	VC-T**	VC*	0	0	Pi*

*A-T Aserrín-Tezontle en proporción 3:1, ** Vermicompost-Tezontle en proporción (1:1)
 Vermicompost elaborada a partir de estiércol bovino (25%) cachaza (50%) y pulpa de café (25%), Sd plantas de siembra directa, Pi* plantas injertadas.

Después de ocho meses de establecido el experimento se evaluaron, variables de altura, diámetro de tallo, peso fresco y seco de la parte aérea y de las raíces, para obtener la proporción de materia seca de cada una de ellas y la materia seca total. Para este proceso las plantas después de ser medidas se separó la parte aérea y radical, se secaron en una estufa con circulación de aire a 70 °C durante 72 horas.

Con 10 plantas como unidad experimental, cuatro tratamientos y cuatro repeticiones en siembra directa (*Coffea canephora* variedad robusta) y cuatro tratamientos con tres

repeticiones en plantas injertadas de café (*Coffea canephora* var. Robusta) como patrón y *Coffea arabica* var. Colombia como injerto.

Una vez secas las plántulas, fueron molidas para ser un análisis foliar. Cada uno de los tratamientos fue analizado por separado con la finalidad de evaluar la concentración de macro y micro nutrientes de los siguientes elementos: N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, B, y Cu.

La determinación de P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, B, y Cu en el análisis foliar, se realizó con espectrometría de plasma acoplada e inducida (EICP) mediante el protocolo usado en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Programa de Edafología, excepto para N, que fue analizado por el método Micro-Kjendahl.

RESULTADOS

El valor más bajo de Da se presentó en el sustrato A-T con 0.3 g cm^{-3} , los valores más altos de % Pt, %Pai, % Prh fueron en A-T (Cuadro 3) en comparación al sustrato VC, en el que se presentó el valor más alto en Da.

Cuadro 3. Propiedades físicas de dos sustratos utilizados en la producción de café (*Coffea arabica*). Densidad aparente (Da), porosidad total (Pt), porcentaje de aireación (pai) y porcentaje de retención de humedad (prh).

Sustrato	Da (g cm^{-3})	%Pt	%Pai	%Prh
A-T (3: 1) *	0.3	87	31	56
VC-T (1-1) **	0.6	53	21	32

* Aserrín tezontle (3:1) **Vermicompost-tezontle (1:1).

Granulometría

En la Figura 1 se presenta la distribución granulométrica y el índice de grosor de las partículas de los sustratos A-T y VC-T.

En relación al tamaño de partículas el diámetro medio para el sustrato compuesto de aserrín-tezontle fue de 2.1 mm y de 2.9 mm en vermicompost-tezontle.

Índice de grosor

Las partículas para el sustrato A-T resultaron con un 43% en tanto que para VC-T fue de 67%, lo que indica que el sustrato VC-T presentó un mayor porcentaje de partículas mayores a 1 mm en comparación con A-T que presentó un porcentaje mayor en partículas < 1 mm. Lo que nos indica que A-T retiene mayor cantidad de agua Figura 1.

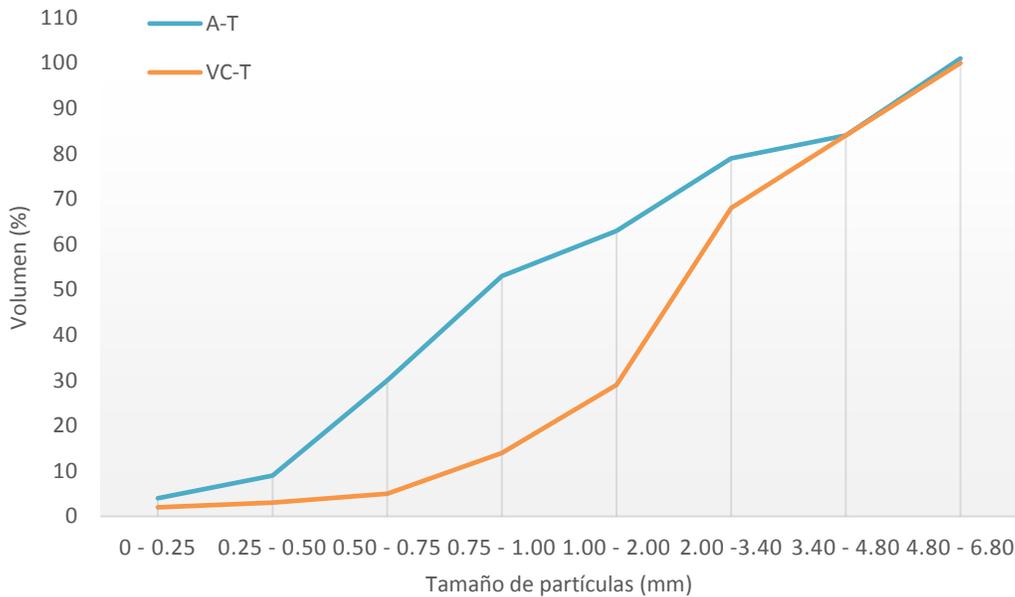


Figura 1. Curva granulométrica en sustrato, aserrín-tezontle y vermicompost-tezontle

En el Cuadro 4 se presentan los resultados obtenidos en la caracterización química de los sustratos. La conductividad eléctrica (CE) en VC, VC-T y A-T fue de 1.1, 0.5, 0.2 dS m⁻¹, respectivamente.

El sustrato con mayor acidez fue A-T con un pH de 5.7, en tanto que VC y VC-T presentaron valores ligeramente alcalinos.

El valor más alto de CIC lo presentó el vermicompost, seguido de VC-T y el valor más bajo correspondió la mezcla A-T.

Cuadro 4. Caracterización química de las mezclas de sustratos, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno, relación carbono/nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno, fósforo y potasio de los sustratos A-T y VC-T.

Sustrato	CE(dS m ⁻¹) *	pH*	C/N	CIC [cmol (+) kg ⁻¹]	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
VC	1.1	7.2	14	48.36	2.03	4 905	63
VC-T	0.5	7.2	9	27.48	0.92	2 968	44
A-T	0.2	5.7	458	5.2	0.05	117	2

* Relación 1:4 (20 g de sustrato, 80 mL de agua).

Variables morfológicas

El análisis de varianza no indico diferencias significativas (DMS p <0.05) en altura entre plantas injertadas y de siembra directa, con las dosis de fertilizante mineral. Los

tratamientos con 7,9 y 11 g L⁻¹, de fertilización mineral no presentaron diferencias en altura entre plantas injertadas y en siembra directa el tratamiento que presentó valores más bajos, fue el tratamiento 4 con fertilización orgánica VC-T con 17.3 cm en plantas injertadas y 23.4 cm, con siembra directa (Figura 2 A).

El diámetro de tallo no fue influenciado por la fertilización mineral en plantas injertadas y con siembra directa, el tratamiento que presento el menor valor fue la fertilización con VC en plantas injertadas (Figura 2 B).

La MSA con siembra directa no tuvo diferencias estadísticas significativas, con las diferentes dosis de fertilización mineral, ni con la fertilización orgánica. En plantas injertadas los mejores tratamientos se obtuvieron con la dosis de 7 g L⁻¹ de fertilización mineral y con vermicompost, la dosis de 11 g L⁻¹ de fertilización mineral presentó los valores más bajos en plantas injertadas (Figura 3 A).

Con relación a MSR el mejor tratamiento se obtuvo con la fertilización orgánica VC en plantas injertadas con 21.34%, en plantas con siembra directa no se encontraron diferencias en las dosis de fertilización mineral y orgánica (Figura 3 B).

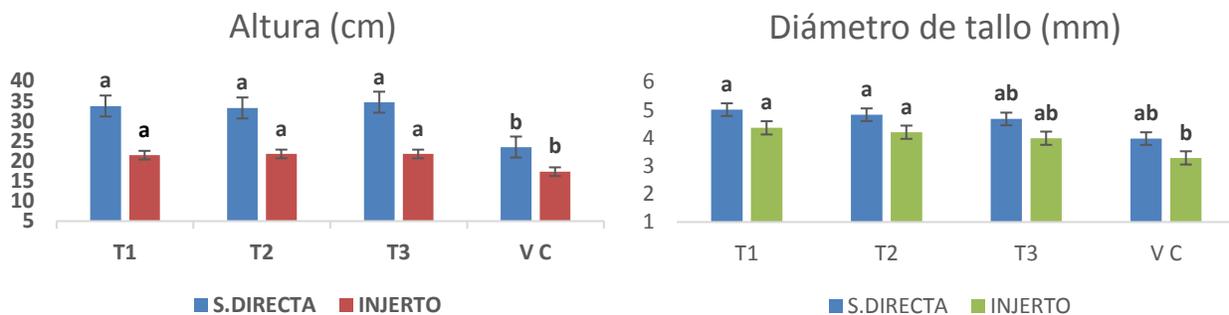
En MST en plantas con siembra directa no se encontró diferencias estadísticas, con las dosis de fertilización mineral, y con vermicompost, en plantas injertadas el mejor

tratamiento se obtuvo con vermicompost, con un 45.61%, los tratamientos menos favorables lo presentaron las dosis de 9 y 11 g L⁻¹ con fertilización mineral con 36.7% y 34.1% (Figura 4 A).

En la relación aérea/raíz los mejores resultados se obtuvieron con VC-T en plantas de siembra directa, y fertilización orgánica VC-T con un 85% de plantas, seguido del Tratamiento 1 con fertilización mineral de 7 g L⁻¹ con 80% de plantas donde ambos tratamientos cumplen con los parámetros recomendados y establecidos por (Thompson, 1985).

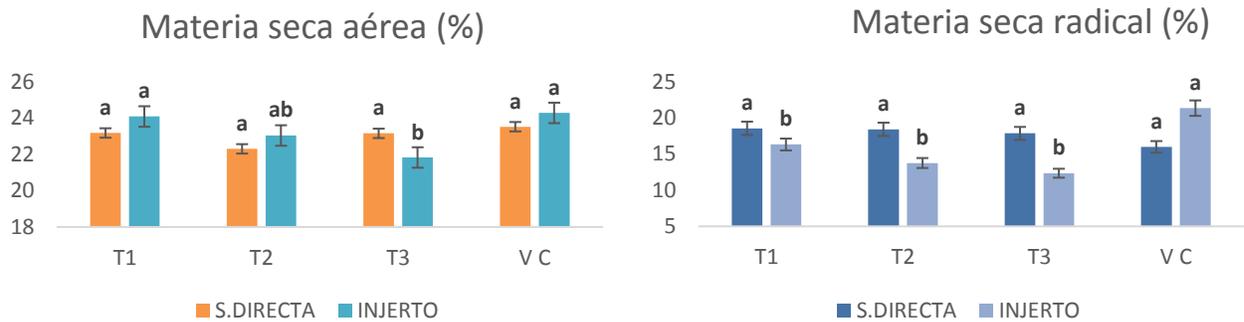
Con respecto a los tratamientos con plantas injertadas, el mejor resultado fue el de Tratamiento 1 con una dosis de 7 g L⁻¹ en sustrato A-T con un 86% de plantas con una relación aérea/raíz, seguido del Tratamiento 4 con fertilización orgánica VC-T con un 80%, de plantas que cumplen con los parámetros recomendados y establecidos por (Thompson, 1985).

En los tratamientos con 9 g L⁻¹ de fertilizante mineral se obtuvieron valores de 70% en ambas modalidades de siembra (siembra directa e injertos), el tratamiento en el que obtuvo los valores más bajos fue con 11 g L⁻¹ con 55% en plantas de siembra directa y 43% en plantas injertadas



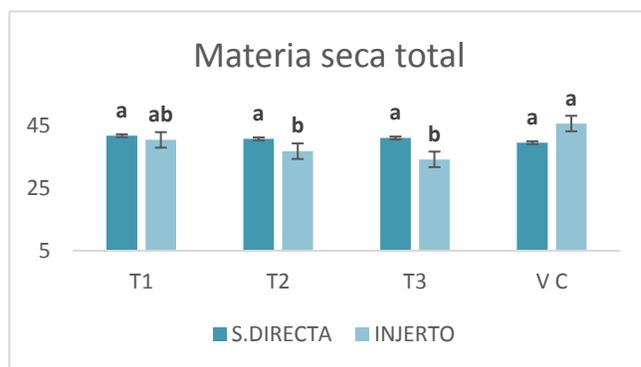
A) Dosis de fertilizante y vermicompost B) Dosis de fertilizante y vermicompost

Figura 2. Efecto de la dosis de fertilización en el crecimiento promedio en altura y diámetro de las plantas de café (*Coffea arabica*) en vivero. Medias con distinta letra son diferentes estadísticamente (DMS $p < 0.05$).



A) Dosis de fertilizante y vermicompost B) Dosis de fertilizante y vermicompost

Figura 3. Efecto de la dosis de fertilización en la distribución de materia seca aérea y radical en plantas de *Coffea arábica* en vivero. Medias con distinta letra son diferentes estadísticamente (DMS $p < 0.05$).



A) Dosis de fertilizante y vermicompost

Figura 4. Efecto de las dosis de fertilizante y vermicompost en la distribución de la materia seca total en plantas de café (*Coffea canephora*). Las medias con distinta letra son diferentes estadísticamente. La comparación fue entre las modalidades de siembra directa e injertos y las dosis de fertilización como tratamientos (DMS $p < 0.05$).

La mayor concentración de N (Cuadro 5) se obtuvo con la fertilización orgánica C-T, en siembra directa e injertos de *Coffea arábica*, en P no se encontraron diferencias en las concentraciones en ninguna de las dosis de fertilización. Para K y Ca las mayores concentraciones se presentaron en los tratamientos con fertilización orgánica, las concentraciones de Mg fueron igual para todos los tratamientos (Tukey $p < 0.05$).

Cuadro 5. Análisis químico foliar de plantas de café (*C. arábica*) injertadas y en siembra directa en condiciones de vivero.

Trata- mientos	Dosis de Fertili- zación	N	P	K	Ca	Mg
		(%)				
T1	7 g- Sd*	2.27±0.18ab	0.28 ± 0.01a	0.74±0.03ab	0.34 ± 0.02b	0.39 ±0.01 ^a
T2	9 g -Sd*	2.40±0.32b	0.28 ± 0.01a	0.75 ±0.03b	0.34 ± 0.03b	0.40 ± 0.01 ^a
T3	11 g-Sd*	2.45±0.09ab	0.28 ± 0.01a	0.76 ±0.38b	0.32 ± 0.02b	0.39 ± 0.01 ^a
T4	VC-Sd**	3.29± 0.01a	1.12 ±0.01a	1.12 ±0.35a	1.01 ± 0.03a	0.36 ± 0.01 ^a
T5	7 g-I***	1.80±0.23ab	0.27±0.007a	1.11±0.48ab	0.36 ± 0.02b	0.23 ± 0.01 ^a
T6	9 g-I***	1.54 ± 0.12b	0.29±0.009a	0.88±0.43b	0.39 ± 0.007b	0.26 ± 0.01 ^a
T7	11g- I***	2.26 ± 0.17ab	0.27±0.009a	0.90 ±0.32b	0.37 ± 0.02b	0.27 ± 0.01 ^a
T8	VC-I****	2.88 ± 0.007a	0.36±0.009a	1.53±0.046a	1.00 ± 0.03a	0.29±0.005 ^a

*Sd= siembra directa en sustrato A-T; **VC-Sd siembra directa en sustrato VC-T; *** plantas injertadas en sustrato A-T; ****Plantas injertadas en sustrato VC-T, ± error estándar calculado (p=0.05).

Efecto de la dosis de fertilización en la concentración de macro elementos totales en plantas de *Coffea arábica canhepora*, en vivero. Medias con distinta letra son diferentes estadísticamente (Tukey p<0.05).

Cuadro 6. Interpretación de análisis foliar en café (*C. arábica*) propuestos por Benton *et al.* (1991).

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg
T1	Bajo	Suficiente	Muy bajo	Muy bajo	Suficiente
T2	Bajo	Suficiente	Muy bajo	Muy bajo	Suficiente
T3	Bajo	Suficiente	Muy bajo	Muy bajo	Suficiente
T4	Suficiente	Alto	Bajo	Suficiente	Suficiente
T5	Bajo	Suficiente	Muy bajo	Muy bajo	Bajo
T6	Muy bajo	Suficiente	Muy bajo	Muy bajo	Bajo
T7	Bajo	Suficiente	Muy bajo	Muy bajo	Bajo
T8	Suficiente	Alto	Bajo	Suficiente	Bajo

* Sd= siembra directa en sustrato A-T; **VC-Sd siembra directa en sustrato VC-T; *** plantas injertadas en sustrato A-T; ****Plantas injertadas en sustrato VC-T.

En el Cuadro 7 se presentan los resultados de micro elementos en B, Fe, Zn no se encontraron diferencias entre las dosis de fertilización y la modalidad de siembra, en tanto que para Cu la mayor concentración se obtuvo con la dosis de 7 g L⁻¹ de fertilización mineral Multicote®, en plantas de siembra directa. La fertilización orgánica C-T presentó valores más bajos de Mn en plantas de siembra directa e injertos; no se observaron diferencias entre las dosis de fertilización mineral 7, 9, 11 g L⁻¹ Multicote®, para este elemento en plantas de siembra directa e injertos (Tukey p<0.05).

Cuadro 7. Análisis foliar de plantas de café (*C. arábica*) injertadas y siembra directa en condiciones de vivero.

Tratamientos	Dosis de fertilización	B	Cu	Fe	Mn	Zn
				(Ppm)		
T1	7 g- Sd*	34.59±3.0a	3.25±1.07 ^a	145.72±13.5a	126.40±2.6a	27.08±3.3 ^a
T2	9 g -Sd*	35.31±1.a	2.11±0.59 ^b	147.76±10.2a	132.64±2.9a	21.01±3.29 ^a
T3	11 g-Sd*	34.01±1.a	2.12±0.30 ^b	141.60±11.3a	130.29±2.57a	19.46±4.8 ^a
T4	VC-Sd**	35.83±1.a	17.25±0.9 ^b	144.73±12.0a	55.65±2.04 ^b	28.73±3.0a
T5	7 g-I***	39.51±1.a	1.55±0.46 ^b	144.29±12.9a	52.42±2.38a	37.52±3.0a
T6	9 g-I***	41.99±6.a	2.13±0.42 ^b	166.53±12.3a	65.05±2.36a	29.10±2.7 ^a
T7	11g- I***	33.64±2.a	1.88±0.06 ^b	148.61±10.5a	65.91±2.58a	28.08±2.0a
T8	vC-I****	36.38±3.a	21.47±0.58 ^b	138.92±12.95a	25.56±2.16 ^b	30.98±3.0a

* Sd= siembra directa en sustrato A-T; **VC-Sd siembra directa en sustrato VC-T; *** plantas injertadas en sustrato A-T; ****Plantas injertadas en sustrato VC-T, ^a error estándar calculado (p=0.05).

Efecto de la dosis de fertilización en la concentración de micro elementos totales en plantas de *Coffea arábica canhepora*, en vivero. Medias con distinta letra son diferentes estadísticamente (Tukey p<0.05).

Cuadro 8. Interpretación de análisis foliar en café (*C. arábica*) propuestos por Benton *et al.* (1991).

Tratamientos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
T1 7 g- Sd*	Suficiente	Muy bajo	Suficiente	Suficiente	Suficiente
T2 9 g -Sd	Suficiente	Muy bajo	Suficiente	Suficiente	Suficiente
T3 11 g-Sd	Suficiente	Muy bajo	Suficiente	Suficiente	Suficiente
T4 VC-Sd**	Suficiente	Suficiente	Suficiente	Suficiente	Suficiente
T1 7 g-I***	Suficiente	Muy bajo	Suficiente	Suficiente	Suficiente
T2 9 g-I	Suficiente	Muy bajo	Suficiente	Suficiente	Suficiente
T3 11g- I	Suficiente	Muy bajo	Suficiente	Suficiente	Suficiente
T4 C-I****	Suficiente	Suficiente	Suficiente	Muy bajo	Suficiente

* Sd= siembra directa en sustrato A-T; **VC-Sd siembra directa en sustrato VC-T; *** plantas injertadas en sustrato A-T; ****Plantas injertadas en sustrato VC-T.

Evaluación de estabilidad en el sustrato después de plantación

La estimación de la estabilidad de la mezcla A-T y VC-T, demostró que la pérdida de volumen que sufrió el sustrato fue mínima en el transcurso de ocho meses, la densidad aparente incrementó en el sustrato A-T, en las plantas injertadas, la porosidad total disminuyó en un 18% en el Tratamiento 1 con siembra directa, y un 25% en plantas injertadas, en sustrato VC-T la disminución fue de 9 y 6%,(Cuadro 9) lo anterior se atribuye a que el sustrato A-T posee mayor cantidad de partículas finas y actividades como el riego ocasionaron una compactación de las partículas.

La porosidad de un sustrato, cambia a través del tiempo a causa de la degradación de partículas, y el reacomodo de partículas hacia el fondo del contenedor a causa del riego.

Cuadro 9. Da, %PT, %Pai y %Prh antes y después de la siembra de plantas de café (*Coffea arábica*).

Sustrato inicial				
Sustrato	Da (g cm ⁻³)	%PT	%Pai	%Prh
A-t (3:1)	0.3	87	31	56
C-T (1:1)	0.6	53	21	32
Sustrato en siembra directa después de la plantación				
T1	0.4	69	27	42
t2	0.4	72	28	44
t3	0.4	71	24	47
t4	0.6	47	18	29
Sustrato en plantas injertadas después de la plantación				
t1	0.4	62	25	37
t2	0.5	64	28	37
t3	0.6	58	27	32
t4	0.6	44	14	30
Evaluación de la estabilidad en sustrato después de la plantación				
	%P	%Pai	%Prh	Promedio de raíz (g)
T1*	18	15	16	7.1
T2	4	3	7	4.4
T3	14	12	9	6.6
T4	9	7	2	5.6
T1**	25	23	29	9.3
T2	6	3	4	4.6
T3	19	19	24	7.52
T4	6	3	4	4.6

DISCUSIÓN

Los valores obtenidos en Da en la presente investigación se encuentran dentro de los valores recomendados por Ansorena (1994) y Blanck (1994), estos autores recomiendan valores menores a 0.6 g cm⁻³.

Da en VC-T y A-T son similares a los reportados por Hernández (2009), quien caracterizó seis mezclas: fibra de coco y piedra pómez, fibra de coco y tezontle en proporciones 25:75, 50:50, 75:25 v/v. Él observó que, al aumentar las proporciones de fibra de coco con respecto al material inorgánico, la Da disminuyó en cada mezcla, y al aumentar la cantidad de material inorgánico, la densidad aparente fue mayor.

De Boodt y Verdonck (1974) mencionan que Pai, es la propiedad física más importante para valorar la calidad de un sustrato, recomendando valores de 10 a 30%, los sustratos A-T y VC-T presentaron valores similares.

Los resultados obtenidos en Prh son similares a los reportados por Sánchez (2008), al caracterizar 12 mezclas de sustratos, en el que obtuvieron valores de 57.27 en tezontle-compost (1:3 v/v), 57.77 agrolita-compost (1:3v/v), 54.79 tezontle-bagazo de caña-suelo (1:2:1 v/v) y 33.78 tezontle-compost (1:3 v/v), de Prh, estos valores son similares a los obtenidos en los sustratos A-T y VC-T.

Cabrera (1999) y Abad (1995) reportan que el valor ideal de PT es entre 70 y 85%, con base a lo anterior el sustrato A-T se encuentra en el intervalo adecuado. Los resultados obtenidos en los sustratos A-T y VC-T se mantienen dentro de los valores ideales para favorecer el intercambio gaseoso con las raíces de las plantas.

Abad *et al.* (1993) sugiere que el tamaño de partículas en un sustrato sea de 0.25 a 2.5 mm lo que permite que se tenga agua fácilmente disponible y una adecuada aireación. Las partículas inferiores a 0.25 mm conllevan a una excesiva retención de humedad creando problemas de aireación (Valdivia, 1989).

El pH del vermicompost (VC) y en mezcla presentaron valores ligeramente alcalinos; valores que coinciden con los reportados por Rodríguez *et al.* (2010). En la caracterización de compost de bagazo de agave encontraron pH de 7.40 hasta 8.5. Soliba (1998) encontró que lo anterior se debe a que los residuos orgánicos sufren un proceso de degradación, donde el pH se eleva por efecto del desprendimiento de amoníaco, como resultado de la descomposición de proteínas.

Méndez *et al.* (2013) reportaron valores en pH de 7.36 en bagazo de agave mezcalero y de 7.77 en mezcla de vermicompost más bagazo de agave mezcalero, aunque los valores estuvieron arriba de lo recomendado; no afectó el crecimiento de plántulas de chile onza (*Capsicum annuum*).

La mezcla A-T fue la única del sustrato que presentó un valor aceptable. Abad *et al.* (1993) propusieron que los sustratos presenten valores de pH de 5.2 a 6.3 para un buen crecimiento de plantas. El valor de pH en A-T fue similar a lo reportado por Mateo (2002), quien caracterizó diferentes mezclas de aserrín de pino, tierra de monte y arena en proporciones de 10 y 100% aserrín. Este autor encontró que las mezclas con más del 50% de aserrín tuvieron un pH menor a 6.0, con valores de 4.7 y 4.5 en 100% de aserrín, en comparación con mezclas de menor contenido.

La Conductividad eléctrica se encontró dentro de los recomendados por Bunt (1988), quien consideró valores <0.75 como muy bajos y 3.5 como valores satisfactorios para la mayoría de las plantas.

Castellanos (2004) menciona que en materiales orgánicos la CIC puede ir de 50 a 100 cmol kg^{-1} valores que se asemejan a los obtenidos en vermicompost.

La norma de lombricomposts (NMX-FF-109-SCFI-2008) indica que los vermicomposts deben de tener valores de > 40 cmol kg^{-1} , lo que indica que la VC se encuentra dentro de los valores establecidos.

Contreras *et al.* (2014), en la caracterización química de vermicompost de pergamino de café y estiércol bovino, encontraron valores de 74.38 cmol kg^{-1} , determinado por el método de acetato de amonio.

Asimismo, Conteras *et al.* (2008) reportaron una CIC de 53 a 57 cmol kg^{-1} en vermicompost de estiércol bovino como material estabilizado.

Sin embargo, el aserrín presentó una baja CIC, lo que podría deberse a la cantidad de lignina y alta relación C/N, lo que impide su degradación.

La relación carbono/nitrógeno en aserrín presentó un valor alto, contrario a la mezcla de vermicompost/ tezontle. Una relación C/N baja en vermicompost es indicador de la disponibilidad de nutrientes aprovechables para la planta producida en contenedor, relaciones más altas son indicadores de sustratos aptos para ciclos de cultivos largos, estos requieren adición de fertilización, la elección del sustrato dependerá de la finalidad del productor.

Para las variables más importantes como el diámetro y la altura, las plántulas que se desarrollaron en el sustrato a base de A-T (3:1) presentaron valores más altos. Estos resultados coinciden con Reyes (2005) respecto al uso de aserrín de pino como medio de cultivo quien señala que puede usarse en un 80% complementado con un 20% de turba, como componente de mezcla para la producción de plántulas en contenedores.

Las plantas con mayor altura se obtuvieron con el fertilizante de lenta liberación en sus distintas dosis, lo que concuerda con Mateo (2002) este autor encontró que las mezclas que contenían entre 70 y 80% de aserrín con fertilizante de lenta liberación Multicote ® (18-9-18) con dosis de 4 kg/m³, produjeron plántulas con mayor altura y diámetro de tallo en *Pinus patula* y *P. teocote*, al comparar mezclas de 10 a 100% de aserrín complementado con tierra de monte; lo que demuestra que el aserrín fresco en combinación con otros materiales es una alternativa como medio de crecimiento.

Los resultados obtenidos en el análisis foliar son similares a los reportados por López (2004), al analizar tejido foliar de plantas de *Coffea arabica*, con diferentes dosis de fertilizante de lenta liberación reportó niveles de N, P, K, Ca, Mg de 3.0%, 0.18%, 2.5%, 1.4% , 0.2% con la fórmula 13-13-13, clasificó estos valores como altos, y valores de N, P, K, Ca, Mg, 2.5%, 0.10%, 2.0 %,0.6 %, 0.2% como valores bajos, de acuerdo al boletín de la estación experimental agrícola y su aplicación al cultivo intensivo de café en Puerto Rico (Chandler *et al.*, 1984).

Valores similares a los obtenidos fueron reportados por Schroeder y Burgos en (2013) donde evaluaron *muestras* foliares de *Lippia alba*, con más de dos años de plantación, analizando concentraciones foliares de N, P. También reportaron valores de 2.39 y

2.33% para N, 0.2% en el caso de P, atribuyendo que las concentraciones mayores de N y P, se presentaron en el periodo de primavera.

Valores similares a los obtenidos en Zn reportaron Macías *et al.* (2011) en el que evaluaron el estado nutrimental de árboles de olivo (*Olea europaea* L.) mediante un análisis foliar, en el que tomaron 100 hojas por muestra, en 25 árboles, en sus resultados reportados no hallaron diferencias estadísticas significativas en ningún nutriente, reportaron valores de 30.6 hasta 34.3 ppm en Zn, y de 28.3 ppm en Mn.

Nappi y Barberis (1993) indicaron que valores altos de densidad aparente implican un incremento en el peso del sustrato, disminución de la porosidad y volumen de aire; mientras que bajas densidades son causa excesiva de aireación y disminución de la cantidad de agua disponible para las plantas, lo que concuerda con los resultados obtenidos en el sustrato A-T con plantas injertadas.

CONCLUSIONES

El vermicompost es una fuente adecuada para fertilización orgánica. Se recomienda realizar una caracterización química de este material con la finalidad de calcular el aporte de nutrientes al cultivo necesarios para su óptimo crecimiento.

En la presente investigación se demostró que con la fertilización orgánica con vermicompost se obtienen resultados equivalentes en materia seca aérea, materia seca radical, materia seca total, a una fuente de fertilización mineral Multicote®.

El aserrín puede ser utilizado como sustrato en la producción de plantas de café, este presenta una baja velocidad de descomposición y no causa efectos fitotóxicos en las plantas.

El análisis estadístico demostró que la altura y diámetro de tallo en plantas de café producidas en contenedor, son similares empleando dosis de 7, 9 u 11 g L⁻¹ de fertilizante mineral Multicote®.

Una sola dosis de 7 g de fertilizante de lenta liberación Multicote® al inicio de la siembra es suficiente para obtener plantas de calidad.

LITERATURA CITADA

Abad B., M., Noguera M., P. y Carrión B., C. 2005b. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. *In*: Cadahía L., C. (Ed.) Fertirrigación, cultivos hortícolas frutales y ornamentales, 3ª ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. pp. 299-354.

Abad, M y P. Noguera 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. *In* : Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. C. Cadahia (coord.). Mundi-Prensa. Madrid, España. pp:287-342.

Abad, M., B. Noguera, M. P., Carrión, B. C. 2004 Los sustratos en los cultivos sin suelo en Urrestarrazu G., M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 22 p.

Abad, M., Fornes, F., Carrión, C., Noguera, V., Noguera, P., Maquieira, A., and Puchades, R. 2005a. Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *HortScience* 40:2138-2144.

Abad, M., P. F. Martínez, M. D. Martínez y J. Martínez. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11:141-154.

Abad, M.1991. Los sustratos hortícolas y las técnicas de cultivo sin suelo. *In*: La Horticultura Española en la C.E.L. Rallo y F. Nuez (eds). Ediciones de Horticultura S.L. Reus. Madrid, España. pp: 271-280.

Abad,M., P. Noguera y V. Noguera. 1996. Turbas para semillero. *In*: II Jornadas sobre semillas y semilleros Hortícolas. Congresos y Jornadas, 35/96. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y pesca, Sevilla, España. pp:79.101.

Adams, C., J. Frantz y B. Bugbee. 2013. Macro-and micronutrient-release characteristics of three polymer-coated fertilizers: Theory and measurements. *Journal of Plant Nutrition and Science* 176: 76-88

Aguilar, R., N. Houbroun, E., Rustrian, E., Reyes, A., L. 2014. Papel amate de pulpa de café (*Coffea arabica*) Residuo de beneficio húmedo. *Ra Ximhai* 10:103-114.

Aguilera, R., M. Aldrete, A., Martinez, T., Órdaz, V. 2016. Producción de *Pinus moctezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50: 107-118.

Akelah A. 2013 *Functionalized Polymeric Materials in Agriculture and the Food Industry*. Springer. New York, USA. 367 p.

Albanell, E.; Plaixats, J. and Cabrero, T. 1988. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biol. Fertility Soil*. 6:266-269.

Albano J. P., D. J. Merhaut, E. K. Blythe and J. P. Newman. 2006. Nutrient release from controlled-release fertilizers in a neutral pH substrate in an outdoor environment: II. Leachate calcium, magnesium, iron, manganese, zinc, copper, and molybdenum concentrations. *HortScience* 41:1683-1689.

Altamirano Q., M.T. y A. Aparicio R. 2002. Efecto de la lombricomposta como sustrato alternativo en la germinación y crecimiento inicial de *Pinus oaxacana* Mirov. Y *Pinus rudis* Endl. *Foresta Veracruzana* 4: 35-40.

Alvarado-Ruffo, K., Blanco-Imbert, A., & Rodríguez-Montoya, L. 2013. Fibra de coco: una alternativa ecológica como sustrato para especies con bajo porcentaje de enraizamiento. *Hombre, Ciencia y Tecnología* 12:1-8.

Andrade S., G. 2008. Resíduos regionais usados como substratos na região sul da Bahia. *Anais do VI Encontro Nacional sobre Substratos para Plantas (ENSub)*. Materiais regionais como substrato. 9 a 12 de setembro de 2008, Fortaleza, CE. Brasil.

Ansorena Miner J. 1994. *Sustratos. Propiedades y caracterización*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid España. pp. 11-168-169.

Antonio, G., J. 2008. Evaluación de la cascarilla de café para utilizarse como sustrato en cultivo sin suelo de hortalizas. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca de Juárez, México. 6 p.

Atiyeh, R. M.; Arancon, N. Q.; Edwards, C. A. and Metzger, J. D. 2002. The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Biores. Technol.* 81:103-108.

Ávila, A., R. 2015. Producción de planta forestal con sustrato alternativo y fertilizantes de liberación controlada. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. pp 30-38.

Báez-Valdez, Emma Paulina, Carrillo-Fasio, José Armando, Báez-Sañudo, Manuel Alonzo, García-Estrada, Raymundo Saúl, Valdez-Torres, José Benigno, & Contreras-Martínez, Rosalba. (2010). Uso de Portainjertos Resistentes para el Control de la Fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder & Hansen raza 3) del Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones de malla sombra. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28(2): 111-123.

Baixauli S., C. Aguilar O.,J.M. 2002. *Cultivo sin suelo de hortalizas*. Aspectos prácticos y experiencias. Serie de divulgación técnica. Genetalitat Valencia. Valencia, España. pp. 15-26.

Bastida, A. 1999. El medio de cultivo de las plantas. Sustratos para hidroponía y producción de plantas ornamentales. Serie de publicaciones AGRIBOT Núm. 4 Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Preparatoria Agrícola. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 72 p.

Bremner, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. pp. 1179-1232 *In*: C.A. Black *et al.* (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 2. Agron. Monogr.9.ASA, Madison, WI.

Bunt, A. C. 1988. *Media and mixes for container-Grown Plants* (2nd ed.), Unwin Hyman. London, UK. 309 p.

Burés, S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. p 342.

Calderón S., F. 2001. El cultivo hidropónico de flores en Colombia. Disponible en: http://www.drcalderonlabs.com/Hidroponicos/Hidroponia_Colombia.htm. Consultado en enero de 2016.

Calderón S., F. y Cevallos, F. 2003. Los sustratos. Disponible en: http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm. Consultado en enero 2016.

Calderón, A. 2004. Propiedades Físicas de los Sustratos. Proyecto Fondef. Universidad de Chile, Fac. Cs. Agronómicas. 3 p.

Cao, W. and Tibbitts, T. W. 1994. Responses of potatoes to solution pH levels with different form of nitrogen. *J. Plant Nutr.* 17:109-126.

Capó A., M.A. 2001. Establecimiento de plantaciones forestales: Los ingredientes del éxito. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento Forestal. Pp 91-101.

Carrillo, J. L. Puente-Manríquez y N. Rodríguez-Dimas. 2008. Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost: arena en invernadero. *Terra Latinoamericana* 26(2): 103-109.

Castellanos, Z.J. 2004. Manual de producción hortícola en invernadero. INTAGRI. S.C. Celaya, Gto, México. pp 103-123.

Castillo-Sánchez, J. L. 1986. Evaluación de líneas de *C. Canephora* para determinar su grado de tolerancia a nematodos. Universidad de San Carlos, Guatemala 115 p.

Chandler, V., Abruña, J. F., Servando, F. 1984. Experimentación y su aplicación al cultivo intensivo de café en Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico, R.U.M. Estación Experimental Agrícola de Río Piedras, Puerto Rico. (Boletín 273).

Chirino E., A. Vilagrosa, E.I Hernandez, A. Matos, y V.R. Vallejo. 2008. Effects of a deep container on morpho- functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. Seedlings for reforestation in mediterranean climate. *Forest Ecology and Management* 256:779-785.

Contreras, F.,J. Paolini y C. Rivero. 2008. Caracterización de enmiendas orgánicas usadas en suelos de los andes venezolanos. *Venesuelos* 16 :16-22.

Contreras, J. L., Rojas, J., Acevedo, I., & Adams, M. (2014). Caracterización de las propiedades físicas y bioquímicas del vermicompost de pergamino de café y estiércol de bovino. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 1(Supl 1): 489-501.

Costè R.,1968 El café Eitorial Blume, Barcelona, España. 12-16 p.

Cruz C., E. 2010 Mezclas de vermicompost y tezontle, diseñadas mediante un programa de optimización en SAS, para el cultivo de tomate bajo invernadero e hidroponía. Tesis doctoral. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. 15 p.

De la Cruz-Lázaro, E, Estrada-Botello, M. A, Robledo-Torres, V, Osorio-Osorio, R, Márquez-Hernández, C, & Sánchez-Hernández, R. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicompost como sustrato. *Universidad y Ciencia* 25: 59-67.

Di Benedetto, A., R. Klasman y C. Boschi. 2002. Evaluación de la formulación de tres sustratos en base al uso de turba flegina para *Impatiens walleriana*. *Agro Sur* 30 (2): 35-42.

Díaz S., F. R. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Memorias del IV simposio Nacional de Horticultura, Invernaderos diseño, manejo y producción. Torreón, Coahuila, México.

Domínguez L., S., N. Herrero S., I. Carrasco M., L. Ocaña B., J. L. Peñuela R. y J.G. Mexal. 2006. Container characteristics influence *pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management* 221: 63-71.

Drexhage, M., M. Chauviere, F. Colin, and C. N. Nielsen. 1999. Development of structural root architecture and allometry of *Quercus petrae*. *Can. J. For. Res.* 29:600-608.

Dumroese, R.K., T.D. Landis and D.L. Wenny. 1998. Raising forest tree seedling at home: Simple methods for growing conifers of the pacific Northwest from seed. Contribution Number 860. Idaho Forest Wildlife and Range Experiment Station. USA. 54 p.

Duryea, M. L. 1985. Evaluating Seedling Quality: principles, procedures and predictive of major tests. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis. Oregon. USA. Pp.1-4.

Echeverría, P. H., G. Martínez R., and B. Rodríguez G. 2012. Influence of grafting on the yield and quality of tomato cultivars grown in greenhouse in central Spain. *Acta Hortic.* 927:449-454.

Esquivel, P. y Jiménez, V. M. 2012. Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International* 46:488-495.

Fassbender, H. E. 1987 *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. San José, Costa Rica.

Fernández C., J., E. Cora y L. T. Braz. 2006. Desempenho de substratos no cultivo do tomateiro do grupo cereja. *Horticultura Brasileira* 24: 42-46.

Fernández, L.M. 2006. *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Franquez Franquez, Misael., Cabrera de la Fuente M. D. A., Sandoval Rangel, A. D., y Robledo Torres, V. D. 2016. Efecto de dos tipos de injerto en la calidad comercial y producción de pepino en condiciones de malla sombra. Tesis de ingeniería. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. Pp. 28-36.

García C., O. Alcántar G., G., Cabrera, R.I.;Gavi R.,F.;Volke H.,V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana* 19:249-258.

García, J. M. C., Portillo, E. M., y Cezón, P. A. 2010. *Introducción a la programación estadística con R para Profesores*. Grupo de Educación estadística. Universidad de Granada. España.

García, M. 2006. *Sustratos para la producción de plantines hortícolas (en línea)* Uruguay, Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía, Departamento Producción Vegetal Centro Regional Sur. 6 p. Consultado 15 may. 2016. Disponible en [http. 2006. Tesis Doctoral. tesis de Sustratos% 20organicos% 20horticultura. pdf](http://2006. Tesis Doctoral. tesis de Sustratos% 20organicos% 20horticultura. pdf).

Garza, L., M. P. 1995. Viveros Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Publicación Especial Número 3. 179 p.

Grossnikle, S. C. 2000. Ecophysiology of Northern Spruce Species: The Performance of Planted Seedlings. Ottawa, Ontario, Canada.

Haase, D. L. 2007. Morphological and Physiological Evaluations of Seedling Quality. USDA Forest Service Proceedings RMRS 50: 1-8.

Handreck, K., Black, N. 1991. Growing media for ornamental plant and turfs. New South Walles University Press, Australia. 401 p.

Hernández Escobar, J. L. 2009. Propiedades hídricas de mezclas de sustratos con diferentes proporciones y tamaños de partícula. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. pp 35-76.

Hernández, J.A., L.F. Guerrero, C.L. Mármol, B. Bárcenas y E. Salas. 2008. Caracterización física según granulometría de dos vermicompuestos derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de palma aceitera. Interciencia 33(9): 668-671.

Hernández-González, Zamny, Sahagún-Castellanos, Jaime, Espinosa-Robles, Policarpo, Colinas-León, M. Teresa, & Rodríguez-Pérez, J. Enrique. 2014. Efecto del patrón en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado. Revista fitotecnia mexicana 37: 41-47.

Hernández-Zarate, Lisbeth, Aldrete, Arnulfo, Ordaz-Chaparro, Víctor M., López-Upton, Javier, & López-López, Miguel Á. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. Agrociencia 48: 627-637.

Husted, L. D. 1988. Douglas-fir dieback. *In*: Landis, T.D.(tech coord). Proceedings Combined Meeting of the Western Forest Nursey Associations: 1988 August 8-11;

Vernon, BC. Gen Tech. Rep. RM-167. USDA Forest Service, Rocky Mount in Forest and Range Experiment Station. Ft. Collins, CO. pp 161-163.

INIFAP. 2013. Paquete tecnológico para la producción de planta de café sierra Huasteca potosina. San Luis Potosí, México.

INIFAP. 2011. Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur-sureste de México: Trópico húmedo. Paquete tecnológico café (*Coffea canephora*). Establecimiento y mantenimiento.

Isla, R., Medina, E., Espada-Carbó, J. L., Andréu, J., & Alonso, J. M .2013. Uso de fertilizantes sólidos de liberación controlada en una plantación de nectarina (*Prunus persica*). Efectos productivos y medioambientales. Fruticultura 47: 6-12.

Jerez, Z. D. P. M. 2007. Comparación del sustrato de fibra de coco con los sustratos de corteza de pino compostada, perlita y vermiculita en la producción de plantas de *Eucalyptus globulus* (Labill). Tesis de ingeniería. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. pp 28-33

Jiménez, G. S. 1992. Fertilizantes de liberación lenta. Tipos, evaluación y aplicaciones. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 146 p.

Johnson, J. D. and M.L. Cline. 1991. Seedling quality of southern pines. *In: Forest Regeneration Manual*. M. L. Duryea and P.M. Dougherty (eds.). Kluwer Academic Publishers. Dordrech/Boston/London. pp: 117-141.

Landis, T. D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. *In: Duryea, M. (ed). Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests*. Workshop held October 16-18. Forest Research Laboratory, Oregon State University

Landis, T. D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. *In: Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., Barnett, J. P. (eds). The container tree nursery Manual, vol 4. Agriculture Handbook no. 674. USDA Forest Service. 1 -7.119 p.*

Landis, T.D., R.W. Tunus, S.E. McDonald, and J.P. Barnett. 1990. The Container Tree Nursery Manual. Containers and Growing Media. Vol. 2. Agric. Handbook. 674. Washington: USDA. Forest Service. 88 p.

Lax, A., A. Roig and F. Costa. 1986. A method for determining the cation- Exchange capacity of organic materials. Plant and Soil 94:349-355.

Lemaire, F. 1993. Emploi des matieres organiques comme substrat dans les cultures hors sol. PHM Revue Horticoles 336:10-17.

López H., J. R. 2004. Efectos de fertilizantes de liberación controlada en el crecimiento de cafetos (*Coffea arabica*) en el vivero. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. Puerto Rico. Pp. 29-38.

López-Pérez, L., Cárdenas-Navarro, R., Lobit, P., Martínez-Castro, O., & Escalante-Linares, O. (2005). Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. Revista Fitotecnia Mexicana 28: 171-174.

Macías-Duarte, R., Grijalva-Contreras, R. L., & Robles-Contreras, F. 2011. Diagnostico Nutricional en huertos comerciales de olivo (*Olea europaea* L.) en función a su productividad en Caborca, Sonora, BIOTecnia 13: 17-22.

Malik, V. and V. R. Timmer. 1998. Biomass partitioning and nitrogen retranslocation in black spruce seedlings on competitive mixedwood sites: a bioassay study. Canadian Journal of Forest Research 28: 206-215.

Martínez F., X. 1993. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. Actas de Horticultura 11:55-66.

Martínez, S. A. 2005. Evaluación de diferentes sustratos empleando la técnica del tubete para producir plántulas de café (*Coffea arabica* L.) Var. Catuai, en etapa de vivero, finca monte María, San Juan Atolenango, Sacatepequez. Tesis de ingeniería. Universidad de San Carlos Guatemala, Guatemala. 12 p.

Masaguer, A., Guerrero, F. y Moliner A. 1993. Modificación de las propiedades de distintos sustratos en condiciones de cultivo. Actas de Horticulture. II Congreso Ibérico de ciencias hortícolas. Zaragoza España. pp. 1197-1201.

Mastelerz, J. W. 1977. The greenhouse environment. John Wiley and Sons New York. USA. 629 p.

Mateo S., J. 2002 Potencial del aserrín como alimento para rumiantes y sustratos para plantas. Tesis doctoral. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. pp. 21-83.

Mateo S., J. J., R. Bonifacio V., S. R. Pérez R., J. Capulín G. y L. Mohedano C. 2011. Producción de (*Cedrela odorata* L.) en aserrín crudo con diferentes dosis de fertilización, en Tecpan de Galeana, Guerrero. Ra Ximhai 7: 195 – 204.

May, J.T.1984. Lifting and field packing. In: J. T. May, E.W. Belcher, jr., C.E. Cordell, T.H. Filer, Jr., D. South, and C.W.Lantz (eds.). Southern pine Nursery Handbook. USDA Forest Service. Southern Region. pp:81-82.

Méndez-Matías, Artemio; Pliego-Marín, Lina; Robles-Martínez, María Lourdes; López-Baltazar, Javier; Aragón-Robles, Edilberto.2013. Evaluación agronómica de sustratos en plántulas de chile 'onza' (*Capsicum annum*) en invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1139-1150.

Mora, L. 1999. Sustratos para el cultivo sin suelo o hidroponía. In: Bertsch H.C.,G. Garcia J.,C. Rivera J., B. Mujica F., y A. Badillo N. (Edit). XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. III Congreso Nacional del Suelo. San José, Costa Rica. Pp. 95-100.

Moreno-Reséndez, A., L. Gómez-Fuentes, P. Cano-Ríos, V. Martínez-Cueto, J. L. Reyes-Carrillo, J. L. Puente-Manríquez y N. Rodríguez-Dimas. 2008. Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost: arena en invernadero. Terra latinoamericana 26:103-109

Mota, L. C., & Sánchez, D. F. 2016. Sustratos orgánicos como alternativa para la producción de albahaca (*Ocimum selloi* Benth). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1055-1061.

Musálen S., M. A y A.M. Fierros G. 1979. Viveros y Plantaciones Forestales. Departamento de Bosques, Universidad Autónoma Chapingo. México 249 p.

Mussatto, S. I., Ballesteros, L. F., Martins, S., y Teixeira, J. A. 2011. Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and Purification Technology* 83: 173–179.

Nappi, P. y Barberis, R. 1993. Compost as growing medium: Chemical, physical and biological aspects. *Acta Hort. (ISHS)* 342:249-257.

NMX-FF-109-SCFI-2008. Norma Mexicana Humus de lombriz (lombricomposta), especificaciones y métodos de prueba. Fecha de consulta: 28 de septiembre de 2016.

NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. *Diario Oficial*, 31 de diciembre, 2002.

Núñez E.,R. 2001. Tecnología y uso de fertilizantes. Área de fertilidad de suelos. Especialidad de Edafología. IRENAT-CP. Montecillo, México. 120 p.

Oliet, J., R. Planelles, M.L. Segura, F. Artero and D. F. Jacobs.2004. Mineral Nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedlings under controlled-release fertilizer. *Scientia Horticulturae* 103:113-129.

Olivo, V. y C. Baduba. 2006. Influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. *Bosques* 27: 267-271.

Ordaz C., V. M. y R. Ávila A. 2013. Producción de cedro rojo en vivero con diferentes mezclas de tezontle, aserrín y composta en el estado de Veracruz. *In: Memorias VIII Reunión de Innovación Forestal. Del 10 al 13 de septiembre de 2013. Veracruz, Veracruz. p. 42.*

Ortega,U., J.Majada, A.Mena-Petite, J.Sánchez Z.,N.Rodríguez-Iturrizar, K.Txarterina,J.Azpitarte and M.Duñabeitia.2006. Field performance of *Pinus radiata*D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests* 31:97–112.

Ortiz, O. 1997. Producción de brotes en plantas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) en sustratos de corteza de pino. Tesis de Licenciatura. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 51p.

Osorio, N. W. 2012. pH del Suelo y Disponibilidad de Nutrientes. Revista Manejo integral del suelo y Nutrición Vegetal 1: 1-4

Parr, J.F., G. B. Willson, L. Sikora y J. M. Taylor. 1980. Utilización de residuos orgánicos como un recurso para mejorar la productividad del suelo. *In*: Informe de la Reunión-taller Latinoamericana sobre Reciclaje de Materias Orgánicas en la Agricultura. FAO. Turrialba, Costa Rica. pp 15-28.

Pastor Sáez J.,N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. Terra Latinoamericana 17:231-235.

Pineda P., J. 2010. Caracterización del aserrín de pino como sustrato hidropónico durante cinco ciclos de cultivo con jitomate. Universidad Autónoma Chapingo, México.

Prieto R., J. A., G. Vera C. y E. Merlin B. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico No. 12. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, Méx. 23 p.

Pudelski, T. 1978. Using waste products of wood industry and paper mills as substrates and organic fertilizers in growing vegetables under protection. Acta Horticulturae 82:67-74.

Ramírez, H. R. R., Pérez, E. N., Quiñónez, W. V., Báez, J. R. C., & Rodríguez-Quiroz, G. 2014. Evaluación de cinco dosis de vermicomposta en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en Sinaloa, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1495-1500.

Raviv, M., A. Krasnovsky., R. Reuveni., and L. Freiman. 1998. Compost as a controlling agent against *Fusarium* wilt of sweet basil. Acta horticulture 469: 375-383.

Reis, M. 1995. Evaluation of composted pine bark and carob pods as components for horticultural substrates. Acta Horticulturae 401: 243-249.

- Resh, H.M. 2001. Cultivos Hidropónicos. Mundi Prensa. Madrid, España. 285 p.
- Reyes R., J., A. Aldrete, V. M. Cetina A. y J. López U. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *Apulcesis* en sustratos a base de aserrín. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11: 105 – 110.
- Reyes, R., J. 2005 prácticas culturales para mejorar la calidad de plantas de *Pinus patula* y *P. pseudostrobus* var. *Alpucensis* en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. pp. 55-82.
- Reyna, E.H. 1968. Nuevo método para injertas cafetos. Agricultura de las Américas 17:3-4.
- Ritchie, G. A. 1985. Root growth potential: principles, procedure and predictive ability. *In: Evaluating seedling quality: principles, procedure, and predictive abilities of major tests* M.L. Duryea (ed.). Proceedings of a workshop held October 16-18, 1984. Corvallis (OR): Oregon State University, Forest Research Laboratory. Pp: 93-106.
- Riviere L.M., and J. Caron. 2001. Research on substrates: state of the art and need for the coming 10 years. Acta Horticulturae 548: 29-41.
- Rodríguez M.,C. 2013. Efecto de la fecha de siembra y tamaño de contenedor en el crecimiento de dos especies de pino en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. pp 18-45.
- Rodríguez, C. A., Ramirez, L. S., Chagas, E. A., Sakazaki, R. T., & Quiliano, A. C. 2015. Influencia de cuatro tipos de sustratos orgánicos en el crecimiento y calidad de plantones de “Pashaco” en tubetes, Pucallpa-Ucayali. Cuadernos de Agroecología 10: 1-6.
- Rodríguez, Z. V., Gonzales, F.J., Bañuelos, H. L., Rascón, A. E. 2015. Evaluación de sustratos en la producción del cultivo de fresa establecido en el sistema NGS® (New Growing System). Tesis de ingeniería. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. Pp. 40-57.
- Rodríguez-Macías, R.; Alcantar-Gonzales, E. G.; Iñiguez-Covarrubias, G.; Zamora-Natera, J. F.; García-López, P. M.; Ruiz-López, M. A.; Salcedo-Pérez E. 2010.

Caracterización física y química de sus-tratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia* 35: 515-520.

Rose R., D. Haase y E. Arellano .2004. Fertilizantes de entrega controlada: Potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque (Valdivia)* 25:89-100.

San Martin H., C., V.M. Ordaz C., P- Sánchez G., M.T. Beryl C. L.y L. Borges G. 2010. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46: 243-254.

Sánchez Bolón, J. 2008. A climatización de plantas de paulownia (*Paulownia tomentosa*) en 13 sustratos. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. Pp 28-63.

Sánchez, V. J. L. y Vázquez, H. M. L. 2000. Impacto de la Radiación Gamma en las propiedades químicas y las poblaciones de microorganismos en cuatro sustratos orgánicos en el cultivo de papa. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Química. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Pue. 124 p.

Sánchez-Córdova, T., A. Aldrete, V.M. Cetina-Alcalá y J. López-Upton. 2008. Caracterización de medio de crecimiento compuesto por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques* 14: 41-49.

Santiago T., O. 2002. Evaluación del crecimiento en vivero de plántulas de cinco especies de coníferas producidas en tres mezclas de sustratos y tres tamaños de contenedores. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 241 p.

Schroeder, M., & Burgos, Á. 2013. Bioconcentraciones foliares de elementos minerales en *Lippia alba* (salvia morada). *Revista Cubana De Plantas Medicinales* 18: 555-566.

Shaviv, A. 2000. Advances in controlled release fertilizers. *Advances in Agronomy* 71:1-49.

Tères, T.,V. 2001. Relaciones aire-agua en sustratos de cultivo como base para el control del riego. Metodología de laboratorio y modelización. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, España. Pp. 49-76.

Thompson, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking. *In*: Duryea, M. L. (ed.). Evaluating seedling quality: Principles, procedures and predictive abilities of major test. Forest research laboratory. Oregon State University pp.59-71.

Tiarks A.E.,J. Bridges R., R. Hemingway W., and Shoulders E. 1989. Condensed tannins in southern pines and their interaction with the ecosystem. *In*: Heminway R.W. Karches J.J:(Edit). Chemistry and significance of condensed tannis. Plenum Press. New York. Pp-369-390.

Valdivia V., M. A. 1989. Prueba de diferentes sustratos para la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mil.) en hidroponía bajo invernadero rústico. Universidad Autónoma. Chapingo. Chapingo, México, 105 p.

Vargas, T. P., J. R. Castellanos, R. J. Muñoz, P. G. Sánchez, L. C. Tijerina, R.R. López, C.M. Sánchez, J. A. Ojodeagua, 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato. México. Agricultura Técnica en México 34:323-331.

Venator, C. R. y L. H. Liegel. 1985. Manual de Viveros mecanizados para plantas a raíz desnuda, y sistema semi mecanizado con recipientes de volúmenes menores a 130 c.c. Ecuador.142 p.

Volke, H. V. H., Cruz, C.E., Sandoval, V. M. 2010. Mezcla de materiales para la obtención de sustratos mediante la programación. *In*: 1er curso Nacional de sustratos. Colegio de Postgraduados. 1-5 septiembre.

Walinga, I; JJ Van Der Lee; VJG Houba; W Van Vark & I Novozamsky. 1995. Plant analysis manual. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp. 0-133.

Wightman, K. 2000. Practicas adecuadas para los viveros forestales. Guía práctica para los viveros comunitarios. ICRAF. Nairobi, Kenya. 101 p.

Zamarripa, C. A.,Escamilla P. E.2002. Variedades de café en México: Origen, características y perspectivas. Universidad Autónoma Chapingo. Huatusco, Veracruz, México.pp 19,22,31.

ANEXO 1

CROP	Coffee (Coffee arabica)		
NUMBER	25		
PLANT PART	Most recent fully developed leaf		
TIME	None specified		
ELEMENT	LOW	SUFFICIENT	HIGH
N	1.60-2.49	2.50-3.50	>3.5
P	0.11-0.14	0.15-0.35	>0.35
K	1.50-1.99	2.00-3.00	>3.0
Ca	0.40-0.79	0.80-1.60	>1.6
Mg	0.16-0.29	0.30-0.50	>0.5
S	0.16-0.24	0.25-0.50	>0.5
		ppm	
B	20-24	25-75	>75
Cu	6-9	10-50	>50
Fe	70-89	90-300	>300
Mn	35-49	50-300	>300
Zn	11-14	15-200	>200