



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS

AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**ESTRATEGIAS PARA LA
PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE
CAFÉ**

VIRGINIA ORTIZ TIMOTEO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **VIRGINIA ORTIZ TIMOTEO**, alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor **VÍCTOR MANUEL ORDAZ CHAPARRO**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis: **ESTRATEGIAS PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CAFÉ** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 28 de noviembre de 2017

VIRGINIA ORTIZ TIMOTEO

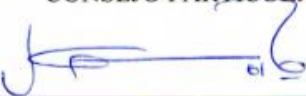



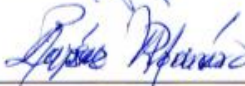
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

VÍCTOR MANUEL ORDAZ CHAPARRO

La presente tesis titulada: **ESTRATEGIAS PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CAFÉ** realizada por la alumna: **VIRGINIA ORTIZ TIMOTEO** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO	 _____
	DR. VÍCTOR MANUEL ORDAZ CHAPARRO
ASESOR	 _____
	DR. ARNULFO ALDRETE
ASESOR	 _____
	DR. ESTEBAN ESCAMILLA PRADO
ASESORA	 _____
	DRA. GABRIELA SÁNCHEZ VIVEROS
ASESORA	 _____
	DRA. ROSA MARÍA LÓPEZ ROMERO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre de 2017

ESTRATEGIAS PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CAFÉ

Virginia Ortiz Timoteo, Dra.
Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar diferentes técnicas de producción en el cultivo de plántulas de café en vivero. Se establecieron tres experimentos, el primero en condiciones de laboratorio para determinar el tratamiento pregerminativo que disminuye el tiempo de germinación de semillas de *Coffea arabica* L. var. Colombia y *Coffea canephora* P. var. Robusta; en el segundo se evaluó la producción de plántulas de café en diferentes tamaños de contenedor y tipos de sustratos, en fase de vivero y en el tercero las características físicas, químicas y cuantificación de la comunidad bacteriana en sustratos para producción de plántulas de café en fase de vivero. Las semillas de *Coffea arabica*, se obtuvieron en el Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) ubicado en Huatusco, Veracruz y *Coffea canephora* con los productores de la región. Los experimentos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Se midieron variables morfológicas, características físicas y químicas de los sustratos, así como contenido nutrimental en las hojas. El análisis de varianza de los datos y la comparación de medias al 95 % se realizaron con el programa SAS. Entre los tratamientos pregerminativos, la inmersión en agua durante 24 horas presentó la mejor respuesta en las variables evaluadas en *C. arabica* y el mejor sustrato fue la arena que redujo el periodo de la germinación de semillas de *C. arabica* y *C. canephora*, a 26 y 23 días. En la evaluación en vivero, con base en el crecimiento y desarrollo de las plántulas de café, el aserrín - tezontle (3:1) y fertilizante de lenta liberación en tubete de 1 L fue el mejor tratamiento. En la porosidad total, porosidad de aireación, porosidad de retención de humedad, contenido nutrimental, crecimiento y desarrollo de las plantas, así como absorción de nutrientes, el aserrín-tezontle con fertilizante de lenta liberación en tubete de 1 L e inoculado con *Pseudomonas putida*, generó la mejor respuesta para la propagación de plántulas de café en vivero.

Palabras clave: tratamientos pregerminativos, contenedores, sustrato, *Pseudomonas putida*

ESTRATEGIES FOR THE PRODUCTION OF COFFEE SEEDLINGS

Virginia Ortiz Timoteo, Dra.
Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

The objective of the present research work was to evaluate different production techniques in the cultivation of coffee seedlings in nursery. Three experiments were established: the first one under laboratory conditions to determine the pre-germination treatment that decreases the germination times of *Coffea arabica* L. Var. Colombia and *Coffea canephora* P. var. Robusta; in the second one, the production of coffee seedlings in different size containers and types of substrates were evaluated in the nursery stage; in the third experiment, the physical and chemical characteristics were evaluated, as well as the quantification of the bacterial community in substrates for the production of coffee seedlings in the nursery stage. The *Coffea arabica* seeds were obtained from the East University Regional Center (Centro Regional Universitario Oriente – CRUO), located in Huatusco, Veracruz, while the *Coffea canephora* seeds were obtained from local producers. The experiments were distributed in a completely randomized design with a factorial arrangement, with the morphological variables, physical and chemical characteristics of the substrates, and the nutrient content in the leaves. The analysis of variance of the data and mean comparison at 95% were one with the SAS software. Among the pre-germination treatments, immersion in water for 24 hours showed the best response in the evaluated variables for *C. arabica*, while the best substrate was sand, which decreased the germination time of *C. arabica* and *C. canephora* seeds to 26 and 23 days. In the nursery evaluation, based on coffee seedling growth and development, the best treatment was sawdust-tezontle (3:1) and slow-release fertilizer in a 1 L tube. With regard to total porosity, airing porosity, water retention porosity, nutrient content, plant growth and development, and nutrient absorption, sawdust-tezontle with slow-release fertilizer in a 1 L tube inoculated with *Pseudomonas putida* generated the best response in coffee seedling propagation in the nursery.

Key words: pre-germination treatments, containers, tube, *Pseudomonas putida*

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por la beca otorgada para la realización del doctorado.

Al **Colegio de Postgraduados** por brindarme la oportunidad de realizar el doctorado en Edafología.

Al **Dr. Víctor Manuel Ordaz Chaparro** por todo el apoyo brindado para la realización del trabajo de investigación así como las correcciones y sugerencias en la redacción de la tesis.

Al **Dr. Arnulfo Aldrete** por su tiempo, sus sugerencias, por las revisiones y correcciones realizadas a la presente tesis.

Al **Dr. Esteban Escamilla Prado** por la sencillez al compartir sus conocimientos y experiencias sobre el café, por las revisiones y correcciones realizadas a este escrito.

A la **Dra. Rosa María López Romero** por la asesoría para la realización del análisis foliar, sus valiosas aportaciones en la tesis y el esmero en la revisión de la misma.

A la **Dra. Gabriela Sánchez Viveros** por su apoyo en la propagación y aplicación de la bacteria utilizada en uno de los experimentos realizados, y por sus valiosas aportaciones para mejorar este documento.

Al **Dr. Juan José Almaraz Suárez** por su confianza al brindarme las facilidades de acceso al laboratorio, por su apoyo incondicional en las actividades de laboratorio y en las sugerencias para mejorar aspectos particulares de mi tesis.

A la **Dra. Irma Díaz Aguilar** por sus palabras, recomendaciones y contribuir en una parte de mi formación en el doctorado.

A los profesores que me alentaron, aunque muchas veces sin saberlo, estaban ahí, diciéndome unas palabras que me motivaban a continuar.

Al **M.C. Adrián Hernández Livera** por el apoyo en la realización de uno de los experimentos en el laboratorio de Semillas y sus sugerencias en un capítulo de esta tesis.

Al **M.C. Patricio Sánchez Guzmán** por el apoyo brindado en la determinación de algunos análisis químicos en el laboratorio de Génesis y Clasificación de Suelos.

A la **PhD. Valérie Pot** y al **PhD. Pierre Benoit** que participaron en mi formación a través de la estancia realizada en el INRA en Francia y por todo el apoyo que me brindaron en este proceso.

Al personal técnico de los laboratorios de Semillas (**Bárbara y Jorge**), Microbiología (**María D.**), Física de Suelos (**Silvia, María D., Oscar**), Fertilidad de Suelos, Génesis y Clasificación de Suelos (**Juanito**) que siempre mostraron su espíritu de apoyo.

A la **M.C. Nayelli Ayatzol Vidal Martínez** y al **M.C. César Josué Chiquito Contreras** que me apoyaron en las actividades de laboratorio realizadas en la Universidad Veracruzana en Xalapa, Veracruz.

A la **M.C. Esmeralda Hernández Andrade** por su amistad y el apoyo brindado en estos últimos meses en el Colegio.

DEDICATORIA

A ti **Dios** “el ser supremo en quien creo”, por los dones que proceden de ti, por estar conmigo cada día y en esta etapa de mi vida, por los momentos más hermosos que me has regalado y por los difíciles que me has ayudado a superar.

A **Jesús y María** que me acompañan en cada instante de mi vida.

A mis padres **Moisés y Emilia**, por todo el amor que he recibido de ustedes, por su ejemplo de vida, por sus oraciones y por sus palabras de aliento para hacer realidad cada uno de mis sueños y anhelos.

A mis hermanas **Guadalupe, Lilia, Antonia, Ricarda, Emilia, Juana y Mónica** y a mi hermano **Moisés**, gracias por su amor, sus palabras de aliento, apoyo, confianza y porque siempre han estado conmigo en todos los momentos de mi vida.

A mis sobrinas y sobrinos por los momentos de alegría que me han compartido.

Gracias a mis amigas y amigos: **Edith, Sonia, Elizabeth, Rocío, Deisy, Claudia, Susana, Teresa, Emma, Alma, Alan, Edgar, Eduardo, Jorge, Santos, Azareel y Valentín** por todos los momentos inolvidables (estudio, canto, deporte, paseos) y a todos aquellos que en momentos especiales compartieron conmigo su amistad, su tiempo, que me ayudaron, me escucharon, me animaron, que rieron conmigo y que caminaron junto a mí de manera incondicional.

“A todos mi mayor gratitud y que Dios les siga concediendo muchas bendiciones”

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE CUADROS.....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos particulares.....	2
1.3 Hipótesis.....	3
1.4 Literatura citada.....	3
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Aspectos generales del género <i>Coffea</i>.....	5
2.1.1 Importancia mundial y nacional del género <i>Coffea</i>	5
2.1.2 Clasificación taxonómica de la especie.....	5
2.1.3 Especies y variedades de café con importancia económica.....	6
2.1.4 Características generales de la especie.....	6
2.1.4.1 Raíz.....	6
2.1.4.2 Tallo.....	6
2.1.4.3 Hojas.....	6
2.1.4.4 Flores.....	6
2.1.4.5 Fruto.....	7
2.2 Germinación.....	7
2.2.1 La germinación.....	7
2.2.1.1 Proceso de la germinación de semillas.....	8
2.2.2 Latencia en las semillas.....	9
2.2.2.1 Hormonas que regulan la latencia de las semillas.....	9
2.2.2.2 Clases de latencia en las semillas.....	11
2.2.3 Tratamientos pregerminativos.....	12

2.3	Producción de plantas en vivero	13
2.3.1	Siembra	13
2.3.2	Trasplante	14
2.3.3	Aplicación de riegos y sombreado	14
2.3.4	Control de plagas y enfermedades.....	14
2.3.5	Deshierbe.....	14
2.4	Sustratos para la producción de plantas en vivero	15
2.4.1	Materiales para la preparación de sustratos	17
2.4.1.1	Aserrín	17
2.4.1.2	Compost.....	18
2.4.1.3	Tezontle	18
2.4.2	Características de los sustratos	18
2.4.2.1	Características físicas.....	18
2.4.2.2	Características químicas	20
2.4.3	Ventajas del uso de los sustratos	21
2.5	Contenedores para la producción de plantas en vivero	21
2.6	El uso de las bacterias promotoras de crecimiento en las plántulas	22
2.6.2	Beneficios de las bacterias promotoras de crecimiento en las plantas	22
2.6.3	Las <i>Pseudomonas</i> en las plantas.....	22
2.7	Evaluación de la calidad de plántulas	23
2.8	Literatura citada	24
CAPÍTULO III. TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE DOS ESPECIES DEL GÉNERO <i>Coffea</i>		32
RESUMEN		32
CHAPTER III. PREGERMINATIVE TREATMENTS IN SEEDS OF TWO SPECIES OF <i>Coffea</i>		33
ABSTRACT		33
3.1	Introducción	34
3.2	Materiales y métodos	34
3.2.1	Localización del experimento.....	34
3.2.2	Material biológico.....	35

3.2.3	Tratamientos a las semillas	35
3.2.4	Diseño experimental.....	36
3.2.5	Variables de respuesta	36
3.2.6	Análisis estadístico	36
3.3	Resultados y discusión.....	37
3.3.1	Efecto de los tratamientos pregerminativos	38
3.3.2	Efecto del sustrato	41
3.3.3	Efecto de la interacción tratamiento pregerminativo y sustrato	43
3.4	Conclusiones.....	45
3.5	Literatura citada.....	46
CAPÍTULO IV. DIFERENCIAS FÍSICAS Y QUÍMICAS EN MATERIALES PARA SUSTRATO.....		49
RESUMEN		49
CHAPTER IV. PHYSICAL AND CHEMICAL DIFFERENCES IN SUBSTRATE MATERIALS		50
ABSTRACT		50
4.1	Introducción.....	51
4.2	Materiales y métodos.....	51
4.2.1	Evaluación de las propiedades físicas y químicas de los materiales para sustrato y sus mezclas	51
4.2.2	Diseño experimental y análisis estadístico	53
4.3	Resultados y discusión.....	53
4.3.1	Propiedades físicas de los materiales de los sustratos y las mezclas.....	53
4.3.2	Propiedades químicas de los materiales de los sustratos y las mezclas	55
4.4	Conclusiones.....	58
4.5	Literatura citada.....	59
CAPÍTULO V. CONTENEDOR Y SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CAFÉ.....		61
RESUMEN		61
CHAPTER V. CONTAINER AND SUBSTRATE IN COFFE SEEDLING PRODUCTION		62

ABSTRACT	62
5.1 Introducción	63
5.2 Materiales y métodos	64
5.2.1 Localización del experimento	64
5.2.2 Material biológico	64
5.2.3 Tratamientos	64
5.2.4 Diseño experimental	65
5.2.5 Caracterización de las propiedades físicas y químicas de los sustratos	65
5.2.6 Variables morfológicas de respuesta	66
5.3 Resultados y discusión	67
5.3.1 Propiedades físicas de los sustratos usados en el experimento	67
5.3.2 Propiedades físicas de los tratamientos al final del experimento	67
5.3.3 Propiedades químicas de los sustratos usados en el experimento	69
5.3.4 Propiedades químicas de los sustratos al final del experimento	70
5.3.5 Efecto de los tratamientos en las variables morfológicas	72
5.3.6 Efecto de los tratamientos en el contenido de nutrientes en hojas de café	74
CAPÍTULO VI. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, CONTENIDO NUTRIMENTAL Y COMUNIDADES BACTERIANAS EN SUSTRATOS PARA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CAFÉ	80
RESUMEN	80
CHAPTER VI. PHYSICAL CHARACTERISTICS, NUTRIENT CONTENT, AND BACTERIAL COMMUNITIES IN SUBSTRATES FOR COFFEE SEEDLING PRODUCTION	81
ABSTRACT	81
6.1 Introducción	82
6.2 Materiales y métodos	82
6.2.1 Localización del experimento	82
6.2.1 Establecimiento del semillero	82
6.2.2 Material vegetal	83
6.2.3 Tratamientos y diseño experimental	83
6.2.4 Establecimiento de los tratamientos	83

6.2.5 Caracterización de las propiedades físicas y químicas de los sustratos	84
6.2.6 Conteo de bacterias	84
6.2.7 Variables morfológicas evaluadas	84
6.2.8 Análisis nutrimental	85
6.2.9 Análisis estadístico	85
6.3 Resultados y discusión.....	85
6.3.1 Características físicas de sustratos para la propagación de plántulas de café	85
6.3.2 Contenido nutrimental en sustrato para la propagación de plántulas de café.....	87
6.3.3 Comunidades bacterianas en sustratos para la propagación de plántulas de café	89
6.3.4 Variables morfológicas en plántulas de café en vivero	90
6.3.5 Contenido de macronutrientes y micronutrientes en hojas de café producidas en vivero.....	91
6.4 Conclusiones.....	94
6.5 Literatura citada.....	94
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	98
7.1 Conclusiones.....	98
7.2 Recomendaciones.....	99

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza (cuadrados medios) de tratamientos pregerminativos, del sustrato, y su interacción en variables de germinación y de emergencia de semillas de <i>Coffea arabica</i>	37
Cuadro 2. Análisis de varianza (cuadrados medios) de tratamientos pregerminativos, del sustrato y su interacción en variables de germinación y de emergencia de semillas de <i>Coffea canephora</i>	38
Cuadro 3. Variables de germinación y emergencia en semillas de café en función de los tratamientos pregerminativos.....	38
Cuadro 4. Variables de germinación y emergencia en semillas de café en dos sustratos.....	41
Cuadro 5. Variables de germinación y emergencia en semillas de <i>Coffea arabica</i> en función de la interacción (tratamiento pregerminativo por sustrato).....	44
Cuadro 6. Variables de germinación y emergencia en semillas de <i>Coffea canephora</i> en función de la interacción (tratamiento pregerminativo por sustrato).....	45
Cuadro 7. Materiales para sustratos y sus mezclas.....	52
Cuadro 8. Propiedades físicas de sustratos.....	54
Cuadro 9. Caracterización química de los materiales y sustratos para producción de plantas de café.....	55
Cuadro 10. Caracterización química (nutrimentos) de los materiales y sustratos para producción de plantas de café.....	57
Cuadro 11. Tratamientos utilizados en la producción de plántulas de <i>Coffea arabica</i> var. Colombia injertadas en <i>Coffea canephora</i> var. Robusta.....	65
Cuadro 12. Características físicas (media \pm desviación estándar) de los sustratos empleados para la producción de plantas de café.....	67
Cuadro 13. Características físicas (media \pm desviación estándar) al final del experimento en los tratamientos para la producción de plantas de café.....	68
Cuadro 14. Composición química (media \pm desviación estándar) de los sustratos usados en el experimento.....	69
Cuadro 15. Composición química (media \pm desviación estándar) en los sustratos usados en el experimento.....	70

Cuadro 16. Propiedades químicas (media \pm desviación estándar) en los tratamientos al final del experimento.....	70
Cuadro 17. Composición química (media \pm desviación estándar) en los tratamientos al final del experimento.....	72
Cuadro 18. Efecto los tratamientos en las variables morfológicas en plántulas de café.	73
Cuadro 19. Efecto de los tratamientos en el contenido de nutrientes de hojas de café.	74
Cuadro 20. Tratamientos (combinación de los factores) aplicados a plántulas de café.	83
Cuadro 21. Características físicas (media \pm desviación estándar) de sustratos para propagación de plántulas de café.....	86
Cuadro 22. Contenido de nutrientes (media \pm desviación estándar) de sustratos para propagación de plántulas de café.	87
Cuadro 23. Contenido de nutrientes (media \pm desviación estándar) de sustratos para propagación de plántulas de café.	88
Cuadro 24. Comunidades bacterianas (media \pm desviación estándar) en sustrato para propagación de plántulas de café.	90
Cuadro 25. Variables morfológicas (media \pm desviación estándar) en los tratamientos para propagación de plántulas de café.	91
Cuadro 26. Contenido de macronutrientes (media \pm desviación estándar) en hojas de plantas de café producidas en vivero.	92
Cuadro 27. Contenido de micronutrientes (media \pm desviación estándar) en hojas de café.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Semillas de <i>Coffea arabica</i> (A) y <i>Coffea canephora</i> (B) de 30 días después de la cosecha, utilizadas para tratamientos pregerminativos.....	35
Figura 2. Emergencia en semillas de café en función de los tratamientos pregerminativos.	40
Figura 3. Emergencia en semillas de café en dos sustratos.	43
Figura 4. Materiales: aserrín (A), tezontle (B), compost evaluados por separado y en mezclas (C).....	52
Figura 5. Plántula de <i>Coffea arabica</i> en etapa de fósforito (A) y <i>Coffea canephora</i> en etapa de mariposa (B).....	64
Figura 6. <i>Pseudomonas putida</i> en medio líquido (A) y aplicación a plántulas de café (B).	84

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El café como cultivo es importante en más de 80 países del mundo (Mishra y Slater, 2012), principalmente en África, América Central y América del Sur (Pierozzi *et al.*, 2012), su producto es popular a nivel mundial (Temis-Pérez *et al.*, 2011) y ocupa el segundo lugar después del petróleo (Mussatto *et al.*, 2011; Murthy y Naidu, 2012), con un mercado dominado por los países del Sur de América, principalmente Brasil y Colombia (Giungato *et al.*, 2008).

México destaca entre los principales productores de café a nivel mundial (Juárez *et al.*, 2010), actualmente ocupa el undécimo lugar (OIC, 2016) y se cultiva en 15 estados, de los cuales destacan Chiapas, Oaxaca y Veracruz con 83 % de la superficie nacional plantada (Hernández *et al.*, 2012). En el país la caficultura es una actividad que permite la integración de cadenas productivas, la generación de divisas y empleos, el modo de subsistencia de muchos pequeños productores y alrededor de 30 grupos indígenas, además de la relevancia ecológica debido a que el 90 % de la superficie cultivada esta establecida en condiciones de sombra diversificada (Escamilla *et al.*, 2005; López y Caamal, 2009).

Aunque el cultivo del café permite la generación de divisas en México, las condiciones a partir de 1989, dieron como resultado la existencia de productores empobrecidos con escasas posibilidades de desarrollo (Delgado y Pérez, 2013). Ante esta situación es importante buscar alternativas para que los costos de producción desde la etapa de vivero sean menores.

Por tal motivo, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar diferentes técnicas de producción en el cultivo de plántulas de café en vivero; para lograrlo se aplicaron tratamientos con la finalidad de disminuir el tiempo de germinación de la semilla, asimismo se evaluaron el crecimiento y desarrollo de plántulas en diferentes contenedores con mezclas de sustratos y diferentes fuentes de nutrición, así como la aplicación de la bacteria *Pseudomonas putida*.

1.1 Planteamiento del problema

La superficie nacional de café establecida en México corresponde a 781 016 ha (Hernández *et al.*, 2012), donde participan 479 116 productores (población indígena y campesina) que habitan en las áreas montañosas del centro y sur del país, debido a que la producción y venta de este grano permite la obtención de ingreso para este segmento de la sociedad (Anta, 2006); sin embargo, el manejo

inapropiado del suelo de las fincas cafetaleras para la propagación de plantas de café, genera problemas de plagas y enfermedades, principalmente de nematodos, por lo cual es necesario contribuir con alternativas para producir plántulas de café. Aunado a lo anterior los productores enfrentan otros problemas en las plantaciones entre ellos destaca la existencia de 14 % de cafetales improductivos debido a la edad de las plantas, variedades antiguas de baja producción y baja resistencia a los ataques de roya. La alternativa es la remoción de las plantas y la sustitución con nuevas variedades (Plan de Innovación en la Cafeticultura de México, 2011).

Otra situación es la presencia de semillas con germinación lenta y asincrónica (Eira *et al.*, 2006; Da Rosa *et al.*, 2010; Hilst *et al.*, 2012; Castanheira *et al.*, 2013). Además, de la baja tolerancia a la desecación, así como la reducción de la longevidad de las semillas (Temis-Pérez *et al.*, 2011) o pérdida de la viabilidad (Da Rosa *et al.*, 2010), por lo tanto, es difícil obtener plántulas con estándar de calidad deseable al momento de la siembra (Castanheira *et al.*, 2013), que son ideales para el establecimiento del cultivo y la producción (Eira *et al.*, 2006). Por ello, es importante evaluar diferentes técnicas de producción en el cultivo de plántulas de café en vivero.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar diferentes técnicas de producción en el cultivo de plántulas de café en vivero.

1.2.2 Objetivos particulares

1. Determinar el tratamiento pregerminativo que disminuye el tiempo de germinación de semillas de café.
2. Caracterizar y comparar las propiedades físicas y químicas de tres materiales regionales (aserrín, tezontle, compost) y sus mezclas para sustrato.
3. Evaluar la producción de plántulas de café en diferentes tamaños de contenedor y tipos de sustratos, en fase de vivero.
4. Evaluar las características físicas, químicas y cuantificar la comunidad bacteriana en sustratos para producción de plántulas de café en fase de vivero.
5. Determinar el efecto de la inoculación de la bacteria *Pseudomonas putida* y las propiedades físicas en el desarrollo de las plántulas de café.

6. Comparar la fertilización orgánica y mineral que fomente el desarrollo de plántulas de café en vivero.

1.3 Hipótesis

Al menos uno de los tratamientos pregerminativos reduce el periodo de la germinación de café.

Las propiedades físicas y químicas de los sustratos mezclados son diferentes a los materiales originales.

Existe un sustrato que influye positivamente en el crecimiento y desarrollo de plántulas de café.

Las plántulas de *Coffea arabica* producidas en vivero, inoculadas con la bacteria *Pseudomona putida* y en el contenedor más grande alcanzan un mayor desarrollo en un menor tiempo.

1.4 Literatura citada

- Anta F. S. (2006)** El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta Ecológica* 80: 19 – 31.
- Castanheira G. G., S. D. Veiga F. R., L. F. Serafim C., A. Delly V., A. C. Sampaio C. (2013)** Minimum period to assess the potential of germination of coffee seeds. *Journal of Seed Science* 35 (3): 347 – 352.
- Da Rosa S. D. V. F., M. B. McDonald, A. D. Veiga, F. L. Villeila de L. and I. A. Ferreira (2010)** Staging coffee seedling growth: a rationale for shortening the coffee seed germination test. *Seed Science and Technology* 38: 421 – 431.
- Delgado J. G. y P. Pérez A (2013)** Evaluación de la conversión a café orgánico usando la metodología de opciones reales. *Contaduría y Administración* 58 (1): 87-115.
- Eira M. T. S., E. A. Amaral S., R. D. de Castro, S. Dussert, C. Walters, D. Bewley and H. W. M. Hilhorts (2006)** Coffee seed physiology. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18(1): 149 -163.
- Escamilla E. P., O. Ruiz R., G. Díaz P., C. Landeros S., D. E. Platas R., A. Zamarripa C. y V. A. González H. (2005)** El agroecosistema café orgánico en México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 76: 5 – 16.
- Giungato P., E. Nardone and L. Notarnicola (2008)** Environmental and socio-economic effects of intensive agriculture: the Vietnam case. *Journal of Commodity Science, Technology and Quality* 47 (I-IV): 135-151.
- Hernández M. F., A. Licona V., E. Pérez P., V. M. Cisneros S. y S. Díaz C. (2012)** Diversificación productiva café-plantas ornamentales en La Sidra, Atzacan, Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola* 48-49: 39 - 50.

- Hilst P. C., D. C. Fernandes de los Santos D., E. Mantovani A. y B. L. de Souza (2012)** Test of exudates color hues for evaluating the physiological potential of coffee (*Coffea arabica* L.) seeds. *Revista Brasileira de Sementes* 34 (2): 212 - 217.
- ICO, International Coffee Organization (2016)** Coffee production to remain stable despite Arabica/Robusta divergence. <http://www.ico.org/> (Diciembre 2016).
- Juárez S. J. P., B. Ramírez V. y M. G. Galindo V. (2010)** Turismo rural y desarrollo territorial en espacios indígenas de México. *Investigaciones geográficas* 48:189 - 208.
- López L. E. C., e I. Caamal C. (2009)** Los costos de producción del café orgánico del estado de Chiapas y el precio justo en el mercado internacional. *Revista Mexicana de Economía Agrícola y de los Recursos Naturales* 2(1): 175 - 198.
- Mishra M. K. and A. Slater (2012)** Recent advances in the genetic transformation. *Biotechnology Research International* 1-17.
- Murthy P. S. and M. Naidu M. (2012)** Sustainable management of coffee industry by-products and value addition-A review. *Resources, Conservation and Recycling* 66: 45-58.
- Mussatto S. I., E. M. S. Machado, S. Martins and J. A. Teixeira (2011)** Production, composition, and application of Coffee and its industrial residues. *Food Bioprocess Technology* 4: 661- 672.
- Pérez A., P., y F. Echánove H. (2006-1)** Cadenas globales y café en México. *Cuadernos Geográficos* 38: 69 - 86.
- Pierozzi N. I., T. C. Borghi, M. B. Silvarolla (2012)** A karyological study in some species of *Coffea* L. and in the closest relative *Psilanthus travancorensis* (Wight & Arn.) J. -F. Leroy. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 40 (2): 39 - 45.
- Plan de Innovación en la Cafecultura de México (2011)** Estrategia de Innovación hacia la Competitividad en la Cafecultura. <http://docplayer.es/12578740-Plan-de-innovacion-en-la-cafecultura-de-mexico.html> (Marzo 2014).
- Sosa H. R. (2006)** Las negociaciones multilaterales y la equidad de género en el sector agropecuario en México: el café, un caso específico. *Economía y Sociedad* XI (17): 95-113.
- Temis-Pérez A. L., A. López-Malo, M. E. Sosa-Morales (2011)** Producción de café (*Coffea arabica* L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. *Temas selectos de Ingeniería de alimentos* 5-2: 54-74.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aspectos generales del género *Coffea*

2.1.1 Importancia mundial y nacional del género *Coffea*

Entre las angiospermas la cuarta familia más grande es la Rubiaceae (Delprete y Gomes, 2012; Pierozzi *et al.*, 2012), abarca más de 600 géneros que van desde herbáceas hasta árboles, entre ellos *Coffea*, destaca por su importancia económica (Pierozzi *et al.*, 2012). Este género comprende 124 especies (Razafinarivo *et al.*, 2013), de las cuales, *Coffea arabica* (conocido comúnmente como café arábica) y *Coffea canephora* (café robusta), se cultivan comercialmente (Mishra y Slater, 2012), y aportan 70 y 30 % de la cosecha mundial, respectivamente (Oliveira *et al.*, 2010). Existen otras especies como *C. congensis*, *C. dewevrei* y *C. racemosa* que tienen algunas características genéticas interesantes como la resistencia a plagas y enfermedades, además se emplean en programas de mejoramiento genético (Eira *et al.*, 2006).

El café es cultivado en más de 80 países (Misra y Slater, 2012; Murthy y Naidu, 2012). Los principales productores son África, América Central y América del Sur (Pierozzi *et al.*, 2012). Se encuentra entre los productos más populares a nivel mundial (Temis-Pérez *et al.*, 2011) e importantes en el comercio internacional (Carvalho *et al.*, 2014); ya que ocupa el segundo lugar después del petróleo (DaMatta *et al.*, 2007; Mussatto *et al.*, 2011; Temis-Pérez *et al.*, 2011; Murthy y Naidu, 2012). México ocupa el undécimo lugar como país productor de café (OIC, 2016), la producción se realiza principalmente en Chiapas, Veracruz y Oaxaca (Pérez y Echánove, 2006-1). En el país el cultivo del café se asocia con importantes beneficios económicos, ecológicos y sociales (Escamilla *et al.*, 2005; López y Caamal, 2009).

2.1.2 Clasificación taxonómica de la especie

El café es una planta dicotiledónea (Gil, 2010), que pertenece a la familia Rubiaceae (Naakubuza *et al.*, 2005; George *et al.*, 2008) y al género *Coffea* (Naakubuza *et al.*, 2005; Razafinarivo *et al.*, 2013), subfamilia Cinchonoidea (George *et al.*, 2008) y a la tribu Coffeae (Davis *et al.*, 2007).

2.1.3 Especies y variedades de café con importancia económica

Aunque el género *Coffea* cuenta con 124 especies (Razafinarivo *et al.*, 2013) se incluyen tres especies con éxito en el cultivo comercial: *C. arabica*, *C. canephora* y *C. liberica* (George *et al.*, 2008). La primera es adecuada para las áreas elevadas por ser vulnerable a las plagas y enfermedades en altitudes bajas, la segunda se produce comúnmente en regiones con baja altitud y *C. liberica* se caracteriza por su desarrollo en los bosques altos y densos (Naakubuza *et al.*, 2005).

Algunas variedades de *C. arabica* son: Catrenic, Catuaí rojo, Catuaí amarillo, Pacas, Caturra (Blanco *et al.*, 2003). En *C. canephora* es muy difícil caracterizar sus variedades (Naakubuza *et al.*, 2005).

2.1.4 Características generales de la especie

2.1.4.1 Raíz

La planta de café puede tener raíces pivotantes, raíces axiales o de sostén, laterales y raicillas. La pivotante se considera la raíz central, cuya longitud máxima va de 50 a 60 cm, en cuanto a las raíces de sostén y las laterales se originan a partir de la pivotante; de las laterales se desarrollan las raicillas, éstas se encuentran de un 80 a 90 % en los primeros 30 cm del suelo y participan en la absorción de agua y nutrimentos (Alvarado y Rojas, 1994).

2.1.4.2 Tallo

Es leñoso, erecto y de longitud variable, dependiendo al clima y tipo de suelo; en las variedades comerciales varía de 2 a 5 m de altura (Alvarado y Rojas, 1994). Por otro lado, Gil (2010), señala que un árbol puede alcanzar 15 m de altura, aunque se poda para que no supere de 2 a 5 m.

2.1.4.3 Hojas

La lámina de la hoja mide de 12 a 24 cm de largo por 5 a 12 cm de ancho, con forma que va de elíptica a lanceolada (Alvarado y Rojas, 1994).

2.1.4.4 Flores

En las axilas de las hojas se encuentran las yemas florales con uno a tres ejes, los que se dividen en dos o seis ramificaciones cortas de 2 a 4 mm, coronando cada una en una flor formada por el cáliz, corola, estambres y pistilo (Alvarado y Rojas, 1994). Al respecto, Barioglio (2006) señala

que las flores son blancas con perfume similar al jazmín, se agrupan en la axila de las parejas de hojas, constituyendo verticilos de 8-15 flores. El cáliz está formado por cinco brácteas y la corola está constituida por un tubo largo que se ensancha en cinco lóbulos. El ovario origina la drupa que se denomina comúnmente como cereza.

2.1.4.5 Fruto

El fruto maduro es una drupa elipsoidal, ligeramente aplanada (León, 1987; Alvarado y Rojas, 1994). Los tres ejes principales miden de 12 a 18 mm de longitud, ocho a 14 mm de ancho y siete a 10 mm de grosor (León, 1987). La superficie es lisa y brillante y de pulpa delgada, está constituido de tres partes diferentes: el epicarpio o epidermis, el mesocarpio o pulpa y el endosperma o semilla (Alvarado y Rojas, 1994). Al respecto, León (1987) menciona que el pericarpo comprende tres secciones, las dos más externas se denominan epicarpo y mesocarpo y se denomina comúnmente como pulpa, la interna es el endocarpo o pergamino, que al madurar se separa y cubre la semilla.

2.2 Germinación

2.2.1 La germinación

La mayoría de las semillas se dispersan en un estado maduro seco, si estas no son latentes y las condiciones del medio ambiente son favorables, ocurrirá como primer evento la germinación (Weitbrecht *et al.*, 2011) que inicia con la emergencia de la radícula de la cubierta de la semilla. En este proceso el embrión de la planta sale del estado de reposo, se movilizan los nutrientes almacenados y se superan las barreras de los alrededores para la elongación, división y desarrollo celular (Finkeinstein *et al.*, 2008). Por lo tanto, la germinación es la reanudación del crecimiento activo del embrión que se traduce en la aparición de una nueva planta (Kumar *et al.*, 2012).

La transición desde la semilla hasta la germinación es una experiencia drástica (Donohue *et al.*, 2010); sin embargo, contribuye al establecimiento de las plantas en el ecosistema natural y agrícola (Weitbrecht *et al.*, 2011). Además la germinación es especialmente importante para la adaptación de la planta porque al ser una de las primeras etapas de transición de la vida establece el marco para su posterior desarrollo y la selección natural. Las condiciones ambientales que provocan la germinación son aquellas que el nuevo germinante debe enfrentar (Donohue *et al.*, 2010).

Muchas especies vegetales presentan determinados requisitos para la germinación, como condiciones ambientales específicas o incluso secuencias de factores ambientales para romper la latencia y provocar la germinación. Las condiciones bajo las cuales una semilla germina influirán no solo en la supervivencia de las plántulas, sino también en la expresión fenotípica de los rasgos postgerminación. Por lo tanto, la germinación tiene el potencial de influir en la evolución de los rasgos expresados durante toda la vida de las plantas (Donohue *et al.*, 2010).

2.2.1.1 Proceso de la germinación de semillas

La germinación de las semillas requiere de la interacción de hormonas, como giberelina (GA), ácido abscísico (ABA) y etileno (Chaudhuri *et al.*, 2013). Además de efectos de especies reactivas del oxígeno que pueden estar relacionadas con el éxito de la germinación, debido a que tienen un papel importante en el debilitamiento del endospermo, protección contra patógenos y la muerte celular programada (Pedrosa y Souza, 2013). Existen dos fuerzas opuestas que proporcionan el mecanismo fisiológico para el control de la germinación de las semillas: el aumento del potencial del crecimiento del embrión y el debilitamiento moderado de las diversas capas que cubren a las semillas, incluyendo el endospermo (Linkies y Leubner-Metzger, 2012). También es importante el vigor para fomentar la capacidad del embrión incrustado dentro de la semilla y reanudar su actividad metabólica de una manera coordinada (Rajjou *et al.*, 2012). Berndt (2014) señala que las semillas maduras de la mayoría de las angiospermas tienen una capa exterior llamada testa y un endospermo, incluyendo la zona de crecimiento embrionario conocido como eje de hipocotilo radicular inferior. Durante la germinación, la ruptura de la testa y el endospermo permite que emerja la primera raíz (radícula).

La germinación implica tres etapas principales; la primera corresponde a la hidratación o imbibición, cuando las semillas absorben suficiente cantidad de agua antes de que ocurra el metabolismo vigoroso de la germinación. El agua es absorbida por ósmosis, que es accionada por la existencia y alta acumulación de soluto en las células de las semillas, seguido por la activación de la enzima y la movilización de las reservas e hidratos de carbono, grasas y reservas de proteínas en los cotiledones o endospermo, para apoyar el renovado desarrollo del embrión. Sin embargo, para que se produzca con éxito la emergencia de las plántulas, es importante que las cubiertas sean permeables para la captación de agua, además del agua disponible y la duración de la imbibición (Singh *et al.*, 2004). El signo visible de que la germinación se ha dado es, generalmente, la

penetración de la radícula en la estructura que rodea al embrión. Los eventos posteriores incluyen la movilización de las reservas asociadas con el crecimiento de la plántula (Ajiboye, 2010).

2.2.2 Latencia en las semillas

La germinación de las semillas y la latencia son procesos que afectan la producción de los cultivos. La latencia asegura que la germinación ocurrirá cuando existan condiciones ambientales óptimas para el crecimiento. Por lo tanto, la latencia es una estrategia de germinación favorable (Donohue *et al.*, 2010) que garantiza la supervivencia de las especies (Sadeghi *et al.*, 2009).

La latencia de las semillas es una propiedad innata que define las condiciones ambientales que permiten la germinación (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006), también se considera como la insuficiencia temporal de una semilla viable para completar su germinación en condiciones favorables (Matilla y Matilla-Vázquez, 2008; Ajiboye, 2010; Gao y Ayele, 2014); se presenta después de la madurez fisiológica, como un mecanismo para enfrentar las condiciones de estrés (Pallavi *et al.*, 2014), y se desarrolla durante el último periodo de la embriogénesis (Matilla y Matilla-Vázquez, 2008) para que las plantas retrasen la germinación hasta que existan condiciones óptimas para la supervivencia de la próxima generación (Fitkelstein *et al.*, 2008; Graeber *et al.*, 2012).

La latencia es un rasgo complejo que está determinada por factores genéticos, con la influencia sustancial del medio ambiente (Graeber *et al.*, 2012). Esta puede variar para permitir a las plantas adaptarse a diferentes climas. Hay un aumento global de latencia con la disminución de la temperatura y la precipitación a través del gradiente de tipos de bosques tropicales (Baskin y Baskin, 2005). Gao y Ayele (2014) mencionan que la inducción y el mantenimiento de la latencia primaria, durante el desarrollo de la semilla, están influenciados tanto por los factores genéticos como los ambientales. La transición de la madurez de las semillas del estado dormante a no dormante puede ser inducida por señales ambientales que incluyen temperatura (fría), nitrato y luz, maduración a un periodo de almacenamiento seco, durante el cual se rompe la dormancia.

2.2.2.1 Hormonas que regulan la latencia de las semillas

La latencia de las semillas está determinada genéticamente por el ambiente (Graeber *et al.*, 2010; Graeber *et al.*, 2012) y por hormonas, como el ácido abscísico (ABA), que influyen en el establecimiento y el mantenimiento de latencia de las semillas, y las giberelinas (GA), las cuales

son importantes para contrarrestar el efecto del ABA (Finkelstein *et al.*, 2008; Matilla y Matilla-Vázquez, 2008).

El ABA es una hormona vegetal (Nambara *et al.*, 2010) que regula muchos procesos fisiológicos en las plantas (Rai *et al.*, 2011), entre los cuales destacan la latencia de las semillas (Obroucheva y Antipova, 2004; Nishimura *et al.*, 2009; Nambara *et al.*, 2010) y la germinación (Nambara *et al.*, 2010), el desarrollo de las plantas, la tolerancia a la sequía y la adaptación a condiciones ambientales de estrés (Nishimura *et al.*, 2009). Además, Liu *et al.* (2013) señalan que el ABA actúa a través de una red de la expresión génica que involucra el factor de transcripción ácido abscísico insensitivo 3 (ABI3).

Las semillas se someten a cambios tanto en el contenido de ABA como en la sensibilidad durante el desarrollo y germinación, en respuesta a estímulos internos y externos (Nambara *et al.*, 2010). Por lo tanto, la germinación resulta de eventos que ocurren simultáneamente en el embrión y el endospermo, los cuales son controlados por el ABA (Farias *et al.*, 2014). Por ello, el ABA es un regulador positivo de la inducción y de mantenimiento, pero es un factor negativo de la germinación (Kucera *et al.*, 2005; Chaudhuri *et al.*, 2013).

Por otro lado, la auxina promueve inactividad e inhibe la germinación, mejoran la acción de ABA; de ese modo, se añade otro nivel de protección del control de la latencia de las semillas. Esta latencia es un mecanismo que impide la germinación de las semillas en condiciones desfavorables y también puede ser crucial para la evolución y conservación de diversas especies de plantas (Liu *et al.*, 2013). Al respecto, el etileno parece contrarrestar los efectos inhibitorios del ABA sobre la germinación de las semillas, por interferir en la señalización de ABA (Kucera *et al.*, 2005).

El GA libera la inactividad, promueve la germinación y contrarresta los efectos del ABA (Kucera *et al.*, 2005; Chaudhuri *et al.*, 2013), debido a que contribuye en la elongación de las células del embrión (Kucera *et al.*, 2005), por lo tanto, aumenta el potencial de crecimiento de éste (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006) asimismo para superar restricciones a la germinación de semillas latentes y no latentes (Kucera *et al.*, 2005) y promueve el debilitamiento del endospermo (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006).

Las vías de transducción de señales, mediada por el ambiente y las hormonas, regulan la expresión genética en las semillas. La liberación de la latencia de las semillas y la germinación de las especies

con latencia se determina por el equilibrio de fuerzas entre el potencial de crecimiento del embrión y la restricción que ejercen las capas de cobertura, por ejemplo, la testa y el endospermo (Kucera *et al.*, 2005).

La liberación de la latencia se logra mediante diversos mecanismos que incluyen interacciones complejas con el medio ambiente, mediado por fitohormonas y otras moléculas (Fitkelstein *et al.*, 2008), lo que implica cambios fisiológicos y moleculares (Matilla y Matilla-Vázquez, 2008) y se cree que selecciona las condiciones más propicias para la supervivencia de las plantas (Fitkelstein *et al.*, 2008). Además, la ruptura de la latencia implica cambios fisiológicos y moleculares que afectan la respuesta de la germinación (Matilla y Matilla-Vázquez, 2008). Por otro lado, varios de los tejidos que comprenden una semilla contribuyen a su latencia final (Graeber *et al.*, 2012).

Las giberelinas, el ácido abscísico y la señalización de etileno y el metabolismo median las señales ambientales y, a su vez, influyen en los procesos de desarrollo, como la germinación de las semillas (Linkies y Leubner-Metzger, 2012).

2.2.2.2 Clases de latencia en las semillas

La clasificación incluye cinco clases de latencia: fisiológica, morfológica, morfofisiológica, física y combinatoria (Baskin y Baskin, 2004). La latencia morfológica se debe a la presencia de embriones pequeños o subdesarrollados que crecen antes de que emerja la radícula; las semillas con latencia morfofisiológica tienen pocos embriones desarrollados, fisiológicamente inactivos (Baskin y Baskin, 2005). La latencia física es un atributo común entre las plantas (Van Klinken y Goulier, 2013), se refiere a la impermeabilidad de la cubierta de las semillas al agua y está relacionada con las características histológicas de la cubierta de la semilla (Vernier *et al.*, 2012). Finalmente, las especies con la latencia combinatoria tienen semillas impermeables y embriones fisiológicamente inactivos (Baskin y Baskin, 2005).

Tanto las semillas ortodoxas o recalcitrantes, pueden encontrarse impedidas para germinar; esto puede deberse a la maduración incompleta, o sencillamente, no se les han propiciado las condiciones más indicadas (Pimentel, 2009). Si las semillas presentan latencia y por este motivo, no logran germinar incluso cuando existen las condiciones óptimas, por lo cual con fines agrícolas se aplican tratamientos que permitan la germinación en menor tiempo.

2.2.3 Tratamientos pregerminativos

Muchas especies de interés permanecen sin germinar, incluso en condiciones favorables (Kumar *et al.*, 2012). Cuando el periodo se prolonga, las plántulas que emergen están expuestas al riesgo de ataques de los microbios del suelo, por lo cual una estrategia es remojar las semillas (Sabongari y Aliero, 2004), escarificarlas o aplicar reguladores de crecimiento (Kumar *et al.*, 2012) antes de la siembra, para acortar la fase de la germinación (Sabongari y Aliero, 2004).

Con base en los tipos de latencia, existen métodos específicos que proporcionan mejores resultados, las especies con latencia física se escarifican con ácidos o procedimientos mecánicos y las que presenten latencia fisiológica deben estratificarse con frío o calor (Figuroa y Jaksic, 2004). En forma más detallada, los métodos para romper la latencia física de las semillas, consisten en la eliminación mecánica y química de la cubierta de la semilla, a través de la escarificación, asimismo es favorable moler las semillas con productos abrasivos o arena, además de la calefacción, la refrigeración, los cambios bruscos de temperatura, la inmersión en agua hirviendo, la perforación de la cubierta con una aguja o la exposición a diferentes frecuencias de radio que alteran la integridad cubierta de la semilla, lo que permite la penetración del agua y de los gases (Tung y Serrano, 2011). Aunado a lo anterior, la inmersión en agua caliente es un tipo de escarificación de la cubierta seminal, mediante su reblandecimiento con agua caliente cercana al punto de ebullición. Normalmente se echan las semillas al dejar de hervir el agua y se mantienen durante varias horas hasta que el agua se enfría completamente (Ruano, 2008).

La escarificación química no ha sido comercialmente popular porque los materiales son peligrosos de manejar, la semilla debe lavarse y secarse después del tratamiento, y la germinación puede ser menor, incluso con una escarificación ligera (Tung y Serrano, 2011). En la escarificación química se somete a las semillas a la inmersión en un producto corrosivo que debilita la testa, en un corto periodo de tiempo (en general no más de media hora), suele usarse normalmente ácido sulfúrico concentrado (Ruano, 2008), ya que suaviza la cubierta de la semilla (Sadeghi *et al.*, 2009); no obstante, debe tenerse cuidado con su manejo y lavar bien la semilla con agua corriente después del tratamiento (Ruano, 2008). La imbibición en agua caliente a 90 °C durante 5 minutos también puede ser eficaz (Sadeghi *et al.*, 2009).

Las técnicas recientes incluyen el uso de enzimas de la capa de las semillas, como celulosa y pectinasa, para degradar las cubiertas de las semillas. Aquellas que están inactivas, debido a la

inhibición osmótica (latencia fisiológica), pueden germinar después de quitar la semilla de la influencia del inhibidor alrededor de la semilla, proceso llamado lixiviación (Tung y Serrano, 2011).

La escarificación mecánica se emplea en semillas con testa dura e impermeable y consiste en debilitar la misma, mediante su desgaste sobre superficies rugosas (frotando con papel de lija, cedazos metálicos, entre otros) o volteándolas en recipientes con paredes internas cortantes con o mezclados con viruta metálica (Ruano, 2008). Las semillas de café tratadas con escarificación mecánica más inmersión de agua durante 24 y 48 h han logrado, después de 25 días valores de germinación de 60 % (Coa *et al.*, 2014).

En la estratificación fría o caliente se estratifican las semillas en capas, mezcladas con vermiculita o turba y se distinguen cuatro tipos diferentes (Ruano, 2008):

- ❖ Semillas/frutos que deben estratificarse en nevera con temperaturas bajas (4 – 6 °C) hasta que comiencen a germinar.
- ❖ Semillas que deben estratificarse en cámara caliente (20 – 25 °C) durante un corto periodo de tiempo (2 o 4 semanas) seguidos de una estratificación en cámara fría hasta germinación.
- ❖ Semillas que necesitan una larga estratificación en cámara caliente (8 – 18) semanas) seguidos de una estratificación fría hasta su germinación.
- ❖ Semillas que requieren una larga estratificación caliente con temperatura alterna (noche/día 3 – 20 °C) seguido de una fase en nevera.

El tratamiento hormonal suele emplearse en algunas ocasiones un tratamiento de fitohormonas (giberelinas o citocininas) disueltas en agua destilada durante un período de 3 ó 4 días (Ruano, 2008).

2.3 Producción de plantas en vivero

2.3.1 Siembra

La siembra de la semilla se inicia con un semillero, donde se realiza al voleo, distribuyéndola uniformemente, a razón de 0.75 a 1 kg por metro cuadrado (Alvarado y Rojas, 1994). La

germinación de *Coffea arabica* tarda entre 30 a 60 días en condiciones normales de campo (CATIE, 1990).

2.3.2 Trasplante

El trasplante consiste en mover las plántulas, en etapa de manguito del semillero a contenedores que favorezcan su crecimiento y desarrollo. Las plántulas se seleccionan cuidando de que estén sanas, vigorosas, además que el tallo tenga buen color, con raíces bien formadas y desarrolladas (Alvarado y Rojas, 1994).

2.3.3 Aplicación de riegos y sombreado

La aplicación de riegos (en frecuencia e intensidad) estará en función de los requerimientos de las plantas y de la capacidad de retención de agua del sustrato. Los riegos en vivero se efectúan mediante aspersores aéreos, con frecuencias y tiempos controlados. La regulación de la sombra inicia un mes después del trasplante, eliminando sobrantes que disminuyan la luminosidad en el interior del vivero o colocando sombra donde falte. El aspecto que tengan las plántulas podrá emplearse como un indicador del grado de sombra usada (Villaseñor, 1987).

2.3.4 Control de plagas y enfermedades

Existen algunos problemas de plagas y enfermedades en los almácigos, tales como volcamiento causada por *Rhizotoenia solani* y los nudos radicales, ocasionados por especies del nematodo *Meloidogyne* (Cadena y Gaitán, 2006). En los problemas causados por los nematodos *Meloidogyne incognita* y *M. javanica* la solarización o exposición del suelo por una semana y volteando dos veces al día (Cenicafé, 2015) puede ser de gran utilidad. En tanto la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) puede controlarse adicionando pulpa descompuesta mezclado con suelo para el llenado de las bolsas (Cadena y Gaitán, 2006; Cenicafé, 2015).

2.3.5 Deshierbe

Los métodos de control de arvences incluyen la proyección de sombra, la escarda manual y otras labores de cultivos como cultivos de cobertura, acolchado y usos de herbicidas (Nishimoto, 1996).

2.4 Sustratos para la producción de plantas en vivero

Debido al incremento de los sistemas de producción agrícola en condiciones protegidas y a las limitantes físicas (profundidad, textura, pedregosidad, compactación), químicas (salinidad, alcalinidad, acidez, inmovilización, fijación nutrimental) y biológicas (contaminación con patógenos y nematodos) en muchos suelos, se han sustituido éstos, por sustratos (Pineda-Pineda *et al.*, 2012). El sustrato es uno de los principales factores que determinan el éxito del cultivo, pues constituye el medio de desarrollo de las raíces e influye en el crecimiento y desarrollo (Ortega-Martínez *et al.*, 2010). Burés (1997) considera que un sustrato es aquel material preparado a base de mezclas o con abonos. Por lo tanto, un sustrato provee sostén a la planta, además constituye un medio del cual las plantas pueden absorber el agua y los nutrimentos que se proporcionan mediante la fertilización (Rodríguez, 2008). El término sustrato en el área de vivero, se refiere a todo material sólido y poroso que difiere del suelo (Pastor, 1999; Moreno y Moral, 2007), que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que, colocado en contenedor, de forma pura o mezclada, las plantas logran su anclaje a través de su sistema radicular; además el sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta establecida (Pastor, 1999). Es así como clasifica a los sustratos en químicamente inertes (perlita, lana de roca, roca volcánica, entre otros) y químicamente activos (turbas, corteza de pino, entre otros). Para el desarrollo y crecimiento de plántulas, el sustrato empleado es un factor fundamental, puesto que contribuye en la calidad de la plántula (Ortega-Martínez *et al.*, 2010). Al respecto Altamirano y Aparicio (2002) mencionan que el sustrato influye directamente en el desarrollo inicial, por lo que es necesario realizar ensayos que permitan determinar los sustratos con mejores resultados.

Existen diversos materiales que pueden utilizarse como sustratos de cultivo, pero se deben considerar sus características físicas, químicas y biológicas (Pineda-Pineda *et al.*, 2012). Además de los requerimientos de las plantas, que se ajustan en lo posible a las características ideales de un sustrato, así como efecto en el medio ambiente (Cruz-Crespo *et al.*, 2013) y a la compleja interacción de procesos y fenómenos que se generan en la relación contenedor-sustrato-planta-ambiente. Por otro lado, la utilización de subproductos o desechos agroindustriales posibilita la obtención de sustratos más económicos (Pineda-Pineda *et al.*, 2012).

Entre los criterios para elegir un material como sustrato y que contribuya al crecimiento óptimo de las plantas, destacan: a) que posea propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para el

crecimiento, b) la relación beneficio/costo, c) disponibilidad en la región o zona, d) facilidad de manejo o compatibilidad, si se realizan mezclas de materiales, e) evitar que causen daño al medio ambiente y f) que estén libres de patógenos (Cruz-Crespo *et al.*, 2013).

Los materiales inorgánicos no están sujetos a descomposición biológica (Burés, 1997). Los más comunes como sustratos incluyen: arena, vermiculita, perlita, arcilla calcinada, piedra pómez y otros subproductos minerales, y en los componentes orgánicos populares destacan: turba (Peat moss), productos de madera compostados (corteza, aserrín, virutas), composta de materia orgánica, lodos de separadora, fango, estiércol, paja, cascarilla de arroz y de cacahuete, entre otros (Cabrera, 1999). Los materiales químicamente inertes, actúan únicamente como soporte de la planta, mientras que en los restantes intervienen además en los procesos de adsorción y fijación de nutrimentos (Pastor, 1999).

Entre los materiales orgánicos los de origen natural están sujetos a descomposición biológica y generalmente pueden utilizarse después de su transformación (compostaje), y los de síntesis son polímeros orgánicos no biodegradables que se obtienen mediante procesos químicos, como el poliestireno o las espumas de poliuretano (Burés, 1997). En materiales orgánicos, la resistencia o facilidad que ofrecen a la descomposición microbiana (bioestabilidad) es un aspecto muy importante que influye en el mantenimiento de las propiedades físicas durante el crecimiento de las plantas (Pineda-Pineda *et al.*, 2012). En relación a lo anterior, es importante considerar que, en los materiales susceptibles a la descomposición, se reducirá el volumen inicial del sustrato y con ello el volumen disponible del mismo para la exploración y crecimiento radical, así como la disponibilidad de agua y nutrientes para las raíces. Además, la descomposición de un sustrato orgánico, que no se composteó adecuadamente, requiere de nitrógeno en la medida que los microorganismos descomponen la celulosa presente en el mismo. De ahí la importancia de emplear sustratos con adecuada relación carbono/nitrógeno (C/N) al momento de su uso (Hidalgo *et al.*, 2009). De lo contrario, la descomposición del componente orgánico de un sustrato durante el periodo de crecimiento del cultivo, además de causar problemas de crecimiento de un cultivo, alterará las propiedades físicas (Cabrera, 1999). Así, en materiales poco descompuestos con una relación C/N elevada, como corteza de pino y viruta de madera, disminuye el nitrógeno soluble (Ansorena, 1994).

La reducción del volumen de un material orgánico aumenta la compactación y la compresión de raíces, ocasionando problemas en la eficiencia de riego y la fertilización, por lo tanto, es importante realizar mezclas con materiales inorgánicos para obtener un nuevo material que presente las condiciones para el crecimiento de las plantas (Morales-Maldonado y Casanova-Lugo, 2015).

2.4.1 Materiales para la preparación de sustratos

2.4.1.1 Aserrín

Existen subproductos industriales maderables útiles como sustratos (Maldonado-Benitez *et al.*, 2011), entre ellos el aserrín que es un producto forestal de desecho y económico, utilizado en años recientes como sustrato, con resultados favorables (Reyes-Reyes *et al.*, 2005), puede sustituir a la turba en la producción de planta en viveros (Hernández-Zarate *et al.*, 2014). Al respecto, Mateo-Sánchez *et al.* (2011) señalan que el aserrín crudo de *Pinus teocote* puede sustituir hasta un 90 % a la mezcla de Peat moss, Perlita y Vermiculita, generando plantas de buena calidad; no obstante, Hidalgo *et al.* (2009) señalan que el aserrín en estado fresco, puede contener compuestos fenólicos que pudieran afectar el desarrollo de las plantas establecidas en un sustrato que posea este tipo de material como componente de la mezcla.

Por otro lado, el aserrín al ser un material orgánico entra en descomposición, lo que reduce su vida útil como sustrato (Pineda-Pineda *et al.*, 2012). Además, la disponibilidad del nitrógeno puede ser limitada en el aserrín debido a que los organismos lo emplean para la descomposición de la materia orgánica, lo cual puede reducir la capacidad de intercambio catiónico y como consecuencia disminuir los cationes disponibles para las plantas, asimismo causar deficiencias de nutrimentos (Hernández-Zarate *et al.*, 2014). Es posible que la mezcla con materiales inorgánicos como tezontle, reduzca los cambios (Pineda-Pineda *et al.*, 2012).

Ortega-Martínez *et al.* (2010) reportan resultados satisfactorios en la estabilidad, capacidad de aireación, porosidad, retención de humedad, adecuada estabilidad del pH y buena retención de nutrientes en el aserrín y en la mezcla aserrín-composta. En tanto, Pineda-Pineda *et al.* (2012) recomiendan el uso del aserrín mezclado con el tezontle en proporciones 80/20 y 70/30 hasta por 24 meses de cultivo continuo, sin riesgo sobre el crecimiento y desarrollo del jitomate por variación de las características físicas.

2.4.1.2 Compost

Entre los materiales para formular sustratos se encuentra el compost, este se utiliza mayormente en mezclas en distintos porcentajes, dependiendo de la especie a cultivar (Barbaro *et al.*, 2011).

Existen diversos estudios de proporciones usados de compost con resultados satisfactorios. Al respecto, Martiñón y Aragón (2014) reportaron que al emplear compost (100 %) y compost (50 %) + tierra de monte (50 %) se logró mayor porcentaje de germinación en *Jatropha* (*Jatropha* spp.). Por su parte, Negreros- Castillo *et al.* (2010) en cedro (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*) y roble (*Tabebuia rosea*) encontraron que la relación suelo + composta (1:1) tuvo un efecto significativo en el crecimiento del diámetro, altura, peso de la raíz y la relación tallo/raíz. Asimismo, Basil *et al.* (2009) encontraron que el uso de compost entre 30 y 50 % en volumen favorece significativamente el crecimiento de plantas de ciprés (*Austrocedrus chilensis*).

2.4.1.3 Tezontle

El tezontle es una roca volcánica extrusiva, de coloración negra a rojiza, con múltiples usos (Ponce *et al.*, 2013), entre ellos como sustrato para la producción de hortalizas y flores en cultivo sin suelo (Vargas-Tapia *et al.*, 2008) o hidroponía (Rodríguez *et al.*, 2013). Cruz-Crespo *et al.* (2010) mencionan que, al ser un material inerte, su pH es cercano al neutro (7.14).

Con la finalidad de reducir el impacto ambiental es importante prolongar la vida útil de los sustratos, así el reciclaje constituye una alternativa viable (Vargas-Canales *et al.*, 2014). El tezontle puede utilizarse en tomate para tres ciclos de cultivo consecutivos (Rodríguez *et al.*, 2013). Además, las mezclas de tezontle con aserrín reciclado (20/80 y 30/70, v/v) producen rendimientos de tomate similares a los obtenidos en mezclas nuevas (Vargas-Canales *et al.*, 2014).

2.4.2 Características de los sustratos

2.4.2.1 Características físicas

Las características físicas de los sustratos son las más importantes (Pineda-Pineda *et al.*, 2012), para el correcto desarrollo de la planta (Pastor, 1999), una vez elegida la mezcla como medio de cultivo es difícil de modificar su estructura física (Ansorena, 1994) entre ellas, destacan: densidad real y aparente, distribución granulométrica, porosidad y aireación, retención de agua, permeabilidad, distribución de tamaños de poros y estabilidad estructural (Pastor, 1999). Pastor (1999) menciona que todos los parámetros físicos son importantes, pero debe considerarse con

cautela la retención de agua y la aireación, las cuales condicionan el éxito o fracaso de la utilización de un material como sustrato de cultivo. Este autor señala que los principales parámetros que definen esas propiedades físicas son:

Agua fácilmente disponible: considera la cantidad de agua (% en volumen) liberada al aplicar una tensión entre 10 y 50 cm de columna de agua, cuyo valor óptimo va de 20 a 30 % (Pastor, 1999). Cadahia (2005) refiere esta propiedad como la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a 10 cm de tensión matricial, y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50 cm de columna de agua (c.a.).

Agua de reserva: incluye la cantidad de agua (% en volumen) que se libera a una tensión entre 50 y 100 cm de c.a., destaca que el valor óptimo va de 4 a 10 % (Pastor, 1999).

Agua difícilmente disponible: se refiere al agua (% en volumen) que queda retenida en el sustrato después de aplicar una tensión de 100 cm de c.a. (Pastor, 1999).

Porosidad de aireación: mide el espacio poroso con aire en un medio, posterior a su saturación con agua y su drenado libre (Landis *et al.*, 1990). Al respecto, Pastor (1999) denomina esta porosidad como capacidad de aireación que constituye la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después que dicho material se ha saturado y dejado drenar (normalmente a 10 cm de columna de agua), se considera el valor óptimo los que oscilan entre 10 y 30 %. En tanto, Hernández-Zarate *et al.* (2014) mencionan que los resultados de porosidad de aireación ligeramente superiores a 30 % se encuentran en un nivel óptimo. El oxígeno se requiere para mantener la actividad metabólica y el crecimiento de las raíces, y también es requerido por los microorganismos, por lo tanto, las plantas cultivadas en sustratos orgánicos, con una elevada población microbiana, requieren el doble o más de oxígeno que las cultivadas en condiciones sin abundante materia orgánica (Cadahia, 2005).

Porosidad total: considera el espacio poroso total de un medio de crecimiento y se expresa en porcentaje con base en su volumen (Landis *et al.*, 1990). Pastor (1999) lo denomina como espacio poroso total y lo define como el volumen total del sustrato que no es ocupado por partículas orgánicas o minerales, por lo tanto, está distribuido entre el espacio ocupado por agua y aire y el

valor óptimo se genera con valores superiores a 85 %. Aunque, Cabrera (1999) señala que debe ser 70 % con base en su volumen.

Porosidad de retención de agua: incluye el espacio poroso total que permanece lleno con agua después de la saturación del medio y su drenado (Landis *et al.*, 1990). También se denomina como capacidad de retención de agua y se refiere a la cantidad de agua retenida por el sustrato, y considera al agua en el sustrato, después de que se drenó al ser agregado al contenedor o maceta. Esta depende del tamaño de partícula y de la naturaleza de los materiales (Cruz-Crespo *et al.*, 2013). El tamaño de partícula del sustrato influye en las características físicas, principalmente sobre la proporción humedad – aire (Vargas-Tapia *et al.*, 2008). Así, partículas mayores a 0.5 mm, incrementan la porosidad total y disminuyen la retención de agua (Morales-Maldonado y Casanova-Lugo, 2015). Por lo tanto, la presencia de partículas muy pequeñas causa la disminución de la porosidad total y aumento de la cantidad de agua retenida, debido al aumento de microporos o huecos pequeños que retienen el agua. También se reduce la porosidad ocupada por aire, al disminuir el volumen de huecos entre partículas o macroporos (Ansorena, 1994).

Las características físicas pueden ser modificadas por efecto de la distribución del tamaño de partículas ocasionado por el uso y reúso de los sustratos (Rodríguez *et al.*, 2013). Al respecto, los valores de densidad aparente y real aumentan a medida que disminuye el tamaño de partícula y cuando el diámetro es menor de 0.50 mm se reduce la capacidad de aireación (Vargas-Tapia *et al.*, 2008). Por ello en las variables espacio poroso total, agua fácilmente disponible y agua de reserva, se recomienda combinar el tezontle con otro sustrato, para incrementar los porcentajes de las variables referidas, que puede ser un material orgánico para incrementar su capacidad de retención de humedad (Trejo-Téllez *et al.*, 2013). La densidad aparente representa el peso seco del medio con relación al volumen total que ocupa (Pire y Pereira, 2003), cuando es baja disminuye el peso y favorece el transporte de las plantas (Hidalgo *et al.*, 2009).

2.4.2.2 Características químicas

Las características químicas se definen por la composición elemental de los materiales, entre ellas destacan: capacidad de intercambio catiónico, pH, capacidad de tampón, contenido de nutrientes y relación C/N (Pastor, 2000). Estas caracterizan la transferencia de materiales entre el sustrato y la solución del suelo (Trejo-Téllez *et al.*, 2013) y su ventaja es que pueden ser corregidas durante el crecimiento del cultivo (Trejo-Téllez *et al.*, 2013; Cabrera, 1999). En las propiedades químicas

de un sustrato, la evaluación inicial se concentra principalmente en los parámetros que pueden afectar significativamente el cultivo en su fase de establecimiento como el pH y la conductividad eléctrica (Puerta *et al.*, 2012). El pH afecta principalmente la asimilación de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica (Cadahia, 2005).

En los sustratos disponibles en el mercado el pH varía de 3.5 a 8, por lo tanto, requiere de corrección para satisfacer las necesidades de las plantas (Lemaire *et al.*, 2005). Aunque las plantas pueden sobrevivir en un amplio intervalo de pH del sustrato sin sufrir desordenes fisiológicos aparentes, cuando se les suministra los nutrientes en forma asimilable, el crecimiento y el desarrollo de las plantas se reducen en condiciones de acidez o alcalinidad extremas (Cadahia, 2005). La conductividad eléctrica se considera óptima de 0.7 a 3.5 dS m⁻¹ (Trejo-Téllez *et al.*, 2012).

La capacidad de intercambio catiónico se define como la suma de cationes adsorbidos por unidad de peso o de volumen del sustrato (Cadahia, 2005). Se expresa en miliequivalente por kilogramo de material y en los sustratos se utiliza de preferencia una expresión volumétrica como meq/litro de sustrato (Lemaire *et al.*, 2005).

2.4.3 Ventajas del uso de los sustratos

El cultivo sin suelo, que incluye la utilización de sustratos, se considera una técnica agronómica amigable con el medio ambiente y con el ser humano, entre las ventajas, destacan el menor control de plagas y enfermedades de la raíz de diversidad de plantas hortícolas, muy comunes cuando se utiliza el suelo como medio de crecimiento (Cruz-Crespo *et al.*, 2012).

2.5 Contenedores para la producción de plantas en vivero

El tamaño del envase es trascendental en la producción de las plantas, debido a que determina el espacio de crecimiento del sistema radical de las plantas (Prieto *et al.*, 2007). Existen diversos tipos de envases que varían en color, material, forma, número por unidad de superficie, entre otros (Rodríguez, 2008). El crecimiento de las plántulas varía por el tamaño del envase. Al respecto Gutiérrez *et al.* (2011), mencionan que las plántulas de cacao crecieron normalmente en el recipiente con un volumen de sustrato de 1 kg hasta los 60 días, a partir de los 90 días el crecimiento fue muy bajo comparado con las plántulas en los recipientes de 3 y 5 kg. En la propagación de

café, las bolsas de 18 x 23 cm presentan ventajas sobre las más pequeñas (Arizaleta y Pire, 2008) y envases de 170 cm³ favorecieron la producción de plantas de *Pinus en* vivero con respecto a los de 80 cm³ (Prieto *et al.*, 2007).

2.6 El uso de las bacterias promotoras de crecimiento en las plántulas

2.6.2 Beneficios de las bacterias promotoras de crecimiento en las plantas

La rizosfera es la región del suelo con mayor actividad microbiana, con una gran riqueza en nutrimentos, y en donde planta y microorganismo interaccionan mutuamente para su beneficio (Esquivel-Cote *et al.*, 2013). La necesidad de estrategias sostenibles y de bajo impacto agrícola requiere de preparados microbianos que mejoren la nutrición de las plantas (Peña y Reyes, 2007). Al respecto, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPVB), por sus siglas en inglés: Plant Growth Promoting Bacteria (Cano, 2011) son capaces de adaptarse, colonizar y persistir en la rizosfera (Moreno y Galvis, 2013) y al interactuar con las plantas contribuyen a la producción de fitohormonas, la fijación biológica del nitrógeno y el biocontrol de patógenos (Rives *et al.*, 2007), lo cual favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas (Moreno y Galvis, 2013).

Las bacterias solubilizadoras de fosfato mejoran la disponibilidad de este nutriente en el suelo y desempeñan un papel fundamental en la nutrición de las plantas. Los géneros bacterianos con mayores potencialidades son *Pseudomonas* y *Bacillus*. Sus principales mecanismos de acción incluyen la producción de ácidos orgánicos, la quelatación de los elementos responsables de la insolubilidad de los fosfatos presentes y asimilación directa de los fosfatos insolubles (Restrepo-Franco *et al.*, 2015). El éxito de los inoculantes bacterianos depende de la selección de cepas autóctonas eficientes por tipo de suelo, su capacidad de colonizar la rizosfera y de mantener la actividad biológica (Restrepo-Franco *et al.*, 2015).

2.6.3 Las *Pseudomonas* en las plantas

La fase de vivero es fundamental para el desarrollo de las plantas de café (Contreras *et al.*, 2008), y garantizar la mayor sobrevivencia en campo. Al respecto, los microorganismos que por su actividad biológica son capaces de poner a disposición una parte importante de sustancias nutritivas y suministrar sustancias hormonales o promotores de crecimiento (Pernasetti y Di Barbaro, 2012) son de gran utilidad. Así las bacterias del género *Pseudomonas* han tenido efectos

favorables en diversas especies. Rodríguez *et al.* (2013), reportaron que la *P. fluorescens* mejoró la producción de auxinas en melón (*Cucumis melo*); *Pseudomonas* sp., en plantas de aguacate (*Persea americana* Mill.), favoreció el desarrollo de las plantas (Ramírez *et al.*, 2014) y en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) el crecimiento, rendimiento y tamaño de fruto (Reyes-Ramírez *et al.*, 2014). Las *Pseudomonas* spp. pueden reducir de forma significativa las enfermedades de las plantas (Mercado-Blanco y Bakker, 2007) y por otra parte las bacterias también producen auxinas especialmente el ácido 3-indolacético que influye significativamente sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas (Sánchez *et al.*, 2012).

Autores como Zuleta-Rodríguez *et al.* (2014) mencionan que *P. putida* tiene la capacidad de mejorar el crecimiento en las plantas de flor de pascua (*Euphorbia pulcherrima*). Asimismo, influyó en la elongación de las plantas de tomate, lo cual se relaciona con la capacidad de producir metabolitos benéficos, tales como fitohormonas y sideróforos o a la solubilización de fósforo inorgánico aumentando su disponibilidad para la planta (Sánchez *et al.*, 2012), ya que el fósforo forma parte de los ácidos nucleicos, de los fosfolípidos, de las coenzimas NAD y NADP, y especialmente importante, como parte integrante del ATP. Las concentraciones elevadas de este elemento se encuentran en los tejidos meristemáticos, sede del crecimiento activo (Hernández y Chailloux, 2001). Este nutriente se convierte rápidamente en forma menos soluble (Cabrera, 1999).

2.7 Evaluación de la calidad de plántulas

Se considera que una planta de calidad es aquella que posee propiedades morfológicas y fisiológicas que le permiten establecerse, crecer y desarrollarse vigorosamente en el sitio de plantación. Los atributos morfológicos pueden medirse a través de diversas variables, tales como forma, altura, diámetro del cuello de la raíz, número de raíces laterales, biomasa de la parte aérea, biomasa total, entre otras (Rodríguez, 2008). A continuación, se detallan algunas:

Altura. Esta variable es fácil de medir y se ha determinado que existe correlación entre la altura al momento de la plantación con la supervivencia y el crecimiento, después de uno o más años.

Diámetro. Es una variable más difícil de ser medida, pero se considera como un mejor indicador de calidad de planta que la altura.

Biomasa. Se ha correlacionada con la supervivencia y crecimiento posterior en muchas especies.

2.8 Literatura citada

- Ajiboye A. A. (2010)** Dormancy and seed germination in *Tamarindus indica* (L.). *The Pacific Journal of Science and Technology* 11(2): 463 – 470.
- 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 (1): 35-40.
- Alvarado S. M. y G. Rojas C. (1994)** El cultivo y beneficiado del café. San José, Costa Rica. EUNED. 160 p.
- Ansorena M. J. (1994)** Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. España. 172 p.
- Arizaleta M. y R. Pire (2008)** Respuesta de plántulas de cafeto al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia* 42: 47-55.
- Barbaro L. A., M. A. Karlaniani, D. E. Morisigue, P. F. Rizzo, N. I. Riera, V. D. Torre y D. E. Crespo (2011)** Compost de ave de corral como componente de sustratos. *Ci. Suelo (Argentina)* 29 (1): 83 – 90.
- Barioglio C. F. (2006)** Diccionario de las Ciencias Agropecuarias. Editorial Brujas. Argentina. 496 P.
- Basil G., M. J. Mazzarino, L. Roselli y F. Letourneau (2009)** Efecto del compost de biosólidos en la producción de plantines de *Austrocedrus chilensis* (ciprés de la cordillera). *CI. SUELO (ARGENTINA)* 27 (1): 49 – 55.
- Baskin C. C. and J. M. Baskin (2005)** Seed dormancy in trees of climax tropical vegetation types. *Tropical Ecology* 46 (1): 17 – 28.
- Baskin J. M. and C. C. Baskin (2004)** A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* 14 (1): 1 – 16.
- Berndt J. D. (2014)** DOG1 control seed germination. *Science Signaling* 7: 238.
- Blanco M., J. Hagggar, P. Moraga, J. C. Madriz y G. Pavón (2003)** Morfología del café (*Coffea arabica* L.) en lotes comerciales. Nicaragua. *Agronomía mesoamericana* 97-103.
- Burés S. (1997)** Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S. L. España. 342 p.
- Cabrera R. I. (1999)** Propiedades, usos y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5 (1): 5 – 11.
- Cadahia L. C. (2005)** Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-Prensa. España. 308-315.
- Cadena G. G. y A. Gaitán B. (2006)** Las enfermedades del café: logros y desafíos para la caficultura colombiana del siglo XXI. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 77: 89-93.
- Cano M. A. (2011)** Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. una revisión. *Revista U. D. C. A. Actualidad & Divulgación científica* 14 (2): 15 – 31.

- Carvalho D. C., P. Picheli F. S., O. Luccas P., Magalhaes C. and L. Azevedo (2014)** Organic and conventional Coffee (*Coffea arabica* L.): Differences in the content of minerals and studies in healthy and induced cancer rats. *Nutrition and Food Sciences* 4: 313.
- CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (1990)** Servicios técnicos de café y cacao. Turrialba, Costa Rica. 1 (1): 112 p.
- Cenicafé, Centro Nacional de Investigaciones de Café (2015)** Almácigos para caficultura orgánica. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/556/1/avt0452.pdf> (Febrero 2016).
- Chaudhuri A., K. L. Singh and R. K. Kar (2013)** Interaction of hormones with reactive oxygen species in regulating seed germination of *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *J. Plant Biochemistry & Physiology* 1 (1): 1 – 5.
- Coa U. M., J. R. Méndez N., R. Silva A. y S. Mundarain P (2014)** Evaluación de métodos químicos y mecanismos para promover la germinación de fosforitos en café (*Coffea arabica*) var. Catuaí Rojo. *IDESIA* 32 (1): 43 – 53.
- Contreras J., I. Acevedo y A. Escalona (2008)** Efecto del vermicompost sobre el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica*). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*. 26:14-21.
- Cruz C. E., M. Sandoval V., V. Volke H., V. Ordaz C., J. L. Tirado T. y J. Sánchez E. (2010)** Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana* 28 (3): 219-229.
- Cruz-Crespo E., A. Can-Chulim, M. Sandoval-Villa, R. Bugarín-Montoya, A. Robles-Bermúdez y P. Juárez-López (2013)** Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias* 2 (2): 17-26.
- DaMatta C. P. Ronchi, M. Maestri and R. S. Barros (2007)** Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19 (4): 485 – 510.
- Davis A. P., M. Chester, O. Maurin and M. F. Fay (2007)** Searching for the relatives of *Coffea* (Rubiaceae, Ixoroideae): the circumscription and phylogeny of Coffeae based on plastid sequence data and morphology. *American Journal of Botany* 94 (3): 313-329.
- De Farias E. T., E. A. Amaral da S., P. E. Toorop, J. D. Bewley and H. W. M. Hilhorst (2015)** Expression studies in the embryo and in the micropylar endosperm of germination coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seeds. *Plant Growth Plant Growth Regulación* 75: 575-581.
- Delprete P. G. and J. Gomes J. (2012)** Systematics, taxonomy and floristics of Brazilian Rubiaceae: an overview about the current status and future challenges. *Rodriguésia* 63 (1): 101-128.
- Donohue K., R. Rubio C., L. Burghardt, K. Kovach and C. G. Willis (2010)** Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges. *Annual Review of Evolution and Systematics* 41: 293 – 319.
- Eira M. T. S., E. A. Amaral S., R. D. de Castro S., Dussert C. Walters, J. D. Bewley and H. W. M. Hilhorts (2006)** Coffee seed physiology. *Brazilian Journal Physiology* 18(1): 149 -163.

- Escamilla E. P., O. Ruiz R., G. Díaz P., C. Landeros S., D. E. Platas R., A. Zamarripa C. y V. A. González H. (2005)** El agroecosistema café orgánico en México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 76: 5 – 16.
- Esquivel-Cote R., M. Gavilanes-Ruiz, R. Cruz-Ortega y P. Huante (2013)** Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC desaminasa en rizobacterias, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 36 (3): 251-258.
- Figueroa J. A. and F. M. Jaksic (2004)** Latencia y banco de semillas en plantas de la región mediterránea de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* 77: 201 – 215.
- Finch-Savage W. E. and G. Leubner-Metzger (2006)** Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist* 171: 501 – 523.
- Finkelstein R., W. Reeves, T. Ariizumi and C. Steber (2008)** Molecular aspects of seed dormancy. *Annual Review Plant Biology* 59: 387 – 415.
- Gao F. and B. T. Ayele (2014)** Functional genomics of seed dormancy in wheat: advances and prospects. *Frontiers in Plant Science* 458 (5): 1 – 11.
- George S. E., K. Ramalakshmi and L. J. Mohan R. (2008)** A perception on health benefits of coffee. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 48: 464 – 486.
- Gil H. A. (2010).** Tratado de nutrición. Editorial Médica Panamericana S.A. España. 812 p.
- Graeber K., A. Linkies, K. Müller, A. Wunchova, A. Rott and G. Leubner-Metzger (2010)** Cross-species approaches to seed dormancy and germination: conservation and biodiversity of ABA-regulated mechanisms and the Brassicacea DOG1 genes. *Plant Molecular Biology* 73: 67 – 87.
- Graeber K., K. Nakabayashi, E. Miatton, G. Leubner – Metzger and W. J. J. Soppe (2012)** Molecular mechanism of seed dormancy. *Plant, Cell and Environment* 35: 1769 – 1786.
- Gutiérrez R. M., R. Gómez S. y N. F. Rodríguez (2011)** Comportamiento del crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.), en vivero, sembradas en diferentes volúmenes de sustrato. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 12 (1): 33-42.
- Hernández D. M. I. y M. Chailloux L. (2001)** La nutrición mineral y la biofertilización en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Temas de Ciencia y Tecnología* 5 (13): 11-27.
- Hernández-Zarate L., A. Aldrete, V. M. Ordaz-Chaparro, J. López-Upton, M. A. López-López (2014)** Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48: 627-637.
- Hidalgo L. P. R., M. Sindoni V. y J. R. Méndez N. (2009)** Importancia de la selección y manejo adecuado de sustratos en la producción de plantas frutales en vivero. *Revista UDO Agrícola* 9 (2): 282 – 288.
- Kucera B., M. A. Cohn and G. Leubner-Metzger (2005)** Plant hormone interactions during seed dormancy release germination. *Seed Science Research* 15: 281 – 307
- Kumar D. J. M., R. Kumar M., M. D. Balakumaran, K. Alagudurai, S. A. Vayishnavidevi and P. T. Kalaichelvan (2012)** Evaluation of quorum sensing in biocontrol and plant growth promoting properties of *Pseudomonas* sp. *Bioresarch Bulletin* 3: 149 – 155.

- Kumar R., K. K. Misra, D. S. Misra and M. Brijwal (2012)** Seed germination of fruits crops: a review. *HortFlora Research Spectrum* 1 (3): 199 – 207.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, 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.
- Lemaire F., A. Dartigues, L. M. Rivière, S. Charpentier y P. Morel (2005)** Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones. *Mundi-Prensa* 69-71.
- León J. (1987)** Botánica de los cultivos tropicales. IICA. San José, Costa Rica. 522 p.
- Linkies A. and G. Leubner – Metzger (2012)** Beyond gibberellins and abscísic acid: how ethylene and jasmonates control seed germination. *Plant Cell Reports* 31: 253 – 270.
- Liu X., H. Zhang, Y. Zhao, Z. Feng, Q. Li, H. Q. Yang, S. Luan, J. Li and Z. H. He (2013)** Auxin controls seed dormancy through stimulation of abscísic acid signaling by inducing ARF-mediated ABI3 activation in *Arabidopsis*. *PNAS* 110 (38): 15 485 – 15 490.
- Maldonado-Benitez K. R., A. Aldrete, J. López-Upton, H. Vaquera-Huerta, V. M. Cetina-Alcalá (2011)** Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia* 45: 389-398.
- Martiñón M. A. S. y A. Aragón S. (2014)** Evaluación de sustratos y genotipos en la germinación de *Jatropha* con potencial comestible (*Jatropha* spp.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5 (7) 1179 -1192.
- Mateo-Sánchez J. J., R. Bonifacio-Vázquez, S. R. Pérez-Ríos, L. Mohedano-Caballero y J. Capulín-Grande (2011)** Producción de (*Cedrela odorata* L.), en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai* 7 (1): 123 – 132.
- Matilla A. J. and M. A. Matilla-Vázquez (2008)** Involvement of ethylene in seed physiology. *Plant Science* 175: 87 – 97.
- Mercado-Blanco J. y P. A. H. M. Bakker (2007)** Interactions between plants and beneficial *Pseudomonas* spp.: exploiting bacterial traits for crop protection. *Antonie van Leeuwenhoek* 92: 367-389.
- Mishra M. K. and A. Slater (2012)** Recent advances in the genetic transformation. *Biotechnology Research International* 1-17
- Morales-Maldonado E. R. y F. Casanova-Lugo (2015)** Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partículas y proporción. *Agronomía Mesoamericana* 26 (2): 365-372.
- Moreno L. Y. y F. Galvis (2013)** Potencial biofertilizante de bacterias diazótrofes aisladas de muestras de suelo rizosférico. *Pastos y Forrajes* 36 (1): 33-37.
- Moreno, J. y R. Moral (2007)** Compostaje. Mundi-Prensa. España. 570 p.
- Murthy P. S. and M. Naidu M. (2012)** Sustainable management of coffee industry by-products and value addition-A review. *Resources, Conservation and Recycling* 66: 45-58.

- Mussatto S. I., E. M. S. Machado, S. Martins and J. A. Teixeira (2011)** Production, composition, and application of Coffee and its industrial residues. *Food Bioprocess Technol.* 4: 661-672
- Naakubuza G. W., M. A. Bekunda, S. Lwasa, R. Birabwa and S. Muwanga (2005)** Determining the limiting nutrients in coffee plantations at Makerere University Agricultural Research Institute. *African Crop Science Conference Proceedings* 7: 1085 – 1088.
- Nambara E., M. Okamoto, K. Tatematsu, R. Yano, M. Seo and Y. Kamiya (2010)** Abscisic acid and the control of seed dormancy and germination. *Seed Science Research* 20 (2): 55 – 67.
- Negreros-Castillo P., M. Apodaca-Martinez y C. W. Mize (2010)** Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Madera y Bosques* 16 (2): 7-18.
- Nishimoto R., K. (1996)** Manejo de malezas en las plantaciones de cafeto. In: Manejo de malezas para países en desarrollo. FAO. Roma. 403 p.
- Nishimura N., K. Hitomi, A. S. Arvai, R. P. Rambo, C. Hitomi, S. R. Cutter, J. I. Schroeder and E. D. Getzoff (2009)** Structural mechanism of abscisic acid binding and signaling by dimeric PYR1. *Science* 236: 1373 – 1379.
- Obroucheva N. V. and O. V. Antipova (2004)** The role of water uptake in the transition of recalcitrant seeds from dormancy to germination. *Russian Journal of Plant Physiology* 51 (6): 848 -856.
- Oliveira V. R., J. M. Costa M., D. Pot, A. Batista A., A. Carvalho A., L. F. Protasio P., C. A. Colombo, L. G. Esteves V., M. Falsarella C. and G. A. Guimarães P. (2010)** A high-throughput data mining of single nucleotide polymorphisms in *Coffea* species expressed sequence tags suggest differential homeologous gene expression in the allotetraploid *Coffea arabica* 1(w). *Plant Physiology*. 154: 1053 – 1066.
- Ortega-Martínez L. D., J. Sánchez-Olarte, R. Díaz-Ruíz, J. Ocampo-Mendoza (2010)** Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL). *Ra Ximhai* 6 (3): 365-372.
- Pallavi H. M., K. Vishwanath, B. S. Harish, Y. Prashanth and M. Thattimani (2014)** Seed treatments to break seed dormancy and standardization of viability test procedure in *Abrus precatorious*. *Journal of Medicinal Plant Research* 8 (4): 229 – 236.
- Pastor S. J. N. (1999)** Utilización de sustratos en viveros. *Terra* 17(3): 231 – 235.
- Pedrosa G. M. and Q. Souza G. (2013)** Reactive oxygen species and seed germination. *Biología* 68 (3): 351 – 357.
- Peña H. B. e I. Reyes (2007)** Aislamiento y evaluación de bacterias fijadoras de nitrógeno y disolventes de fosfatos en la promoción del crecimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Interciencia* 32 (8): 560 – 565.
- Pérez A. P. y F. Echánove H. (2006-1)** Cadenas globales y café en México. *Cuadernos Geográficos* 38: 69 – 86.

- Pernasetti S. y G. Di Barbaro (2012)** Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal como biofertilizantes. *Biología en Agronomía* 2 (2): 119 – 128.
- Pierozzi N. I., T. C. Borghi, M. B. Silvarolla (2012)** A karyological study in some species of *Coffea* L. and in the closest relative *Psilanthus travancorensis* (Wight & Arn.) J. –F. Leroy. *Not. Bot. Horti Agrobi.* 40 (2): 39-45
- Pimentel B., L (2009)** Producción de árboles y arbustos de uso múltiple. Mundi-Prensa. México. 240 p.
- Pineda-Pineda J., F. C. Sánchez del Castillo, A. Ramírez-Arias, A. M. Castillo-González, L. A. Valdés-Aguilar y E. C. P. Moreno (2012)** Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(1): 95-111.
- Pire R. y A. Pereira (2003)** Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro* 15 (1): 55-63.
- Ponce L. B., A. Ortiz P., E. M. Otazo S., E. Reguera R., O. A. Acevedo S., F. Prieto G., C. A. González R. (2013)** Physical characterization of an extensive volcanic rock in México: “red tezontle” from Cerro de la Cruz, in Tlahuelilpan, Hidalgo. *Acta Universitaria* 23 (4): 9 – 16.
- Prieto R. J. A., P. A. Domínguez C., E. H. Cornejo O., y J. J. Návar Cháidez (2007)** Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Madera y Bosques* 13 (1): 79 – 97.
- Puerta A. C. E., T. Russián L. y C. A. Ruiz S. (2012)** Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (2): 298-306.
- Rai M. K., N. S. Shekhawat, Harish, A. K. Gupta, M. Phulwaria, K. Ram and U. Jaiswal (2011)** The role of abscisic acid in plant tissue culture: a review of recent progress. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 106:179-190.
- Rajjou L., M. Duval, K. Gallardo, J. Catusse, J. Bally, C. Job and D. Job (2012)** Seed germination and vigor. *Annu. Rev. Plant Biol.* 63: 507 – 533.
- Ramírez G. J. G., D. A. Castañeda S. y J. Morales O. (2014)** Alternativas microbiológicas para el manejo de *Phytophthora cinnamomi* Rands., en *Persea americana* Mill. Bajo condiciones de casa-mall. *Cultivos tropicales* 34 (4): 19 – 27.
- Razafinarivo N. J., R. Guyot, A. P. Davis, E. Couturon, S. Hamon, D. Cruzillat, M. Rigoreau, C. Dubreuil-Tranchant, V. Poncet, A. de Kochko, J. J. Rakotomalala and P. Hamon (2013)** Genetic structure and diversity of coffee (*Coffea*) across Africa and the Indian Ocean island revealed using microsatellites. *Annals of Botany* 111: 229 – 248.
- Restrepo-Franco G. M., S. Marulanda-Moreno, Y. de la Fe-Pérez, A. Díaz-de la Osa, V. Lucia-Baldani y A. Hernández-Rodríguez (2015)** Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. *Ciencias Biológicas* 46 (1): 63-76.

- Reyes-Ramírez A., M. López-Arcos, E. Ruiz-Sánchez, L. Latournerie-Moreno, A. Pérez-Gutiérrez, M. G. Lozano-Contreras y M. Zavala-León (2014)** Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia* 48: 285 – 294.
- Reyes-Reyes J., A. Aldrete, V. M. Cetina-Alcalá y J. López-Upton (2005)** Producción de plántulas de *Pinus pseudostrabus* var. *Apulcensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11 (2): 105 – 110.
- Rives N., Y. Acebo y A. Hernández (2007)** Bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). Perspectivas de su uso en Cuba. *Cultivos tropicales* 28 (2): 29 -38.
- Rodríguez D. E., E. Salcedo P., R. Rodríguez M., D. R. González E. y S. Mena M. (2013)** Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latinoamericana* 31: 275 -284.
- Rodríguez M. M. N., R. San Miguel-Chávez, J. L. García C. y A. Benavides M. (2013)** Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en el cultivo de melón (*Cucumis melo*). *Interciencia* 38 (12): 857 – 862.
- Rodríguez T. D. A. (2008)** Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi-Prensa. Universidad Autónoma Chapingo, México. 156 p.
- Ruano M., J., R. (2008)** Viveros forestales. Mundi – Prensa. España. 285 p.
- Sabongari S. and B. L. Aliero (2004)** Effects of soaking duration on germination and seedling growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *African Journal of Biotechnology* 3 (1): 47 – 51.
- Sadeghi S., Z. Y. Ashrafi, F. Tabatabai and H. M. Alizade (2009)** Study methods of dormancy breaking and germination of common madder (*Rubia tinctorum* L.) seed in laboratory conditions. *Botany Research International* 2(1): 07 – 10.
- Sánchez L. D. B., R. M. Gómez-Vargas, M. F. Garrido R. y R. R. Bonilla B. (2012)** Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (7): 1401-1415.
- Singh P. M., R. G. S. Rao and M. Rai (2004)** Relationship between seed imbibition and seedling emergence in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Veg. Sci.* 31 (1): 89 – 91
- Sosa H. R. (2006)** Las negociaciones multilaterales y la equidad de género en el sector agropecuario en México: el café, un caso específico. *Economía y Sociedad* XI (17): 95-113.
- Temis-Pérez A. L., A. López-Malo, M. E. Sosa-Morales (2011)** Producción de café (*Coffea arabica* L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. *Temas selectos de Ingeniería de alimentos* 5-2: 54-74.
- Trejo-Téllez, L. I., M. Ramírez-Martínez, F. C. Gómez-Merino, J. C. García-Albarado, G. A. Baca-Castillo y O. Tejeda-Sartorius (2013)** Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 863-879.

- Tung L. D. and E. P. Serrano (2011)** Effects of warm water in breaking dormancy of rice seed. *Omonrice* 18: 129 – 136.
- Van Klinken R. D. and J. B. Goulier (2013)** Habitat-specific seed dormancy – release mechanisms in four legume species. *Seed Science Research* 23: 181 – 188.
- Vargas-Canales J. M., A. M. Castillo-González, J. Pineda-Pineda, J. A. Ramírez-Arias y E. Avitia-García (2014)** Extracción nutrimental de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20 (1): 71-88.
- Vargas-Tapia P., J. Z. Castellanos-Lara, J. J. Muñoz-Ramos, P. Sánchez-García, L. Tijerina-Chávez, R. M. López-Romero, C. Martínez-Sánchez y J. L. Ojodeagua-Arredondo (2008)** Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México* 34 (3): 323 – 331.
- Vernier P., G. Funes and C. Carrizo G. (2012)** Physical dormancy and histological features of seeds of five Acacia species (Fabaceae) from xerophytic forest in central Argentina. *Flora* 207 (1): 39 – 46.
- Villasenor L. A. (1987)** Caficultura moderna en México. Futura. Texcoco, México. 469 p.
- Weitbrecht K., K. Müller and G. Leubner-Metzger (2011)** First off the mark: early seed germination. *Journal of Experimental Botany* 62 (10): 3289 – 3309.
- Zulueta-Rodríguez R., M. V. Cordoba-Matson, L. G. Hernández-Montiel, B. Murillo-Amador, E. Rueda-Puente and L. Lara (2014)** Effects of *Pseudomonas putida* on growth and anthocyanin pigment in two Poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*) cultivars. *The Scientific World Journal* 2014: 1-6.

CAPÍTULO III. TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE DOS ESPECIES DEL GÉNERO *Coffea*

RESUMEN

La semilla de café presenta germinación lenta y asincrónica lo que incrementa el tiempo para la obtención de plántulas, repercutiendo en una mayor inversión económica. Se determinó el tratamiento pregerminativo (TP) que disminuye el tiempo de germinación de semillas de *Coffea arabica* L. var. Colombia y *Coffea canephora* P. var. Robusta. Se aplicaron cinco tratamientos pregerminativos en agua a semillas sin endocarpo: T1) inmersión 24 horas, T2) lijado más inmersión 24 horas, T3) inmersión a 40 °C por una hora, T4) inmersión 48 horas y T5) lijado más inmersión 48 horas. Posteriormente, se sembraron en dos sustratos (arena y Promix®). Los tratamientos tuvieron tres repeticiones, con 25 semillas como unidad experimental, organizadas en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial. Las variables evaluadas fueron: días de inicio de la germinación (DIG), velocidad de emergencia (VE) y porcentaje de emergencia (PE). En *Coffea arabica*, el TP que disminuyó el periodo de germinación fue T1 al obtener plántulas emergidas a los 22 días, mayor vigor al obtener una VE de 0.55 plántulas emergidas por día e incrementó los PE de 59, 92 y 97 % a los 30, 40 y 50 días, respectivamente. En *Coffea canephora*, el T1 presentó 0.40 en VE y el PE en 42 % a los 30 días y 73 % a los 50 días y el T2 incrementó el PE a los 40 y 50 días en 70 y 81 %, respectivamente. El mejor sustrato fue la arena que redujo el periodo de la germinación de semillas de *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, a 26 y 23 días, aumentó la VE en 0.53 y 0.35 plántulas emergidas por día, respectivamente y el PE fue superior a 70 % a los 50 días en ambas especies.

Palabras clave: germinación asincrónica, endocarpo, endospermo, velocidad de germinación.

CHAPTER III. PREGERMINATIVE TREATMENTS IN SEEDS OF TWO SPECIES OF *Coffea*

ABSTRACT

The coffee seeds have slow and asynchronic germination, which increases the time needed to obtain seedlings, causing a greater economic investment. A pregerminative treatment (PT) was determined which decreases the germination time of *Coffea arabica* L. var. Colombia and *Coffea canephora* P. var. Robusta seeds. Five pregerminative treatments in water were applied to seeds without endocarp: T1) immersion for 24 hours; T2) scraping plus immersion for 24 hours; T3) immersion for one hour at 40 °C; T4) immersion for 48 hours; and T5) scraping plus immersion for 48 hours. Subsequently, they were sown in two substrates (sand and Promix®). The treatments were in three replicates with 25 seeds as an experimental unit, organized in a completely randomized design with factorial arrangement. The evaluated variables were: days to start of germination (DIG), speed of emergence (VE), and percentage of emergence (PE). In *Coffea arabica*, the PT that decreased the germination period was T1, obtaining seedlings at 22 days, with greater vigor with a VE of emerged seedlings per day, and increased PE to 59, 92, and 97 % on days 30, 40, and 50, respectively. In *Coffea canephora*, T1 presented 0.40 VE and PE of 42 % at 30 days and 73 % at 50 days, while T2 increased PE at 40 and 50 days by 70 and 81 %, respectively. The best substrate was sand, which decreased the germination period of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* to 26 and 23 days, increased VE to 0.53 and 0.35 emerged seedlings per day, respectively, and PE was over 70 % after 50 days in both species.

Key words: asynchronic germination, endocarp, endosperm, speed of germination.

3.1 Introducción

Coffea arabica L. y *Coffea canephora* P., se cultivan comercialmente (Mishra y Slater, 2012) y aportan 70 y 30 % de la cosecha mundial de café, respectivamente (Oliveira *et al.*, 2010). La semilla de café germina lentamente y en forma asincrónica (Castanheira *et al.*, 2013; De Farías *et al.*, 2015). Además, manifiesta baja tolerancia a la desecación y longevidad reducida (Temis-Pérez *et al.*, 2011), que se relaciona con la pérdida de viabilidad (Da Rosa *et al.*, 2010), lo que dificulta la obtención de plántulas con estándar de calidad (Castanheira *et al.*, 2013). Esta situación demanda mayor inversión económica por el periodo prolongado en la germinación de las semillas (Coa *et al.*, 2014).

El establecimiento de las plantas depende de la germinación de semillas (Czarna *et al.*, 2016), esta empieza con la imbibición y concluye con la emergencia de la radícula (Han y Yang, 2015). La germinación involucra eventos metabólicos para la obtención de plantas y a su vez depende de la calidad del sustrato (Araméndiz-Tatis *et al.*, 2013). En el café, estos se producen en el embrión y el endospermo que son controlados por el ácido abscísico (De Farías *et al.*, 2015).

En las semillas de café, el endocarpo o “pergamino” puede retardar la imbibición y prolongar la germinación (Coa *et al.*, 2014), por lo que su remoción, permite que la semilla germine en un tiempo menor (Patui *et al.*, 2014). Al respecto, Fialho *et al.* (2014), reportan que el pergamino puede removerse en forma manual o con hipoclorito de sodio del 4 al 7 % por 3 horas. Diversas estrategias acortan la fase de la germinación, entre ellas, escarificar las semillas (Kumar *et al.*, 2012), eliminar la cubierta, entre otras, para permitir la penetración del agua y los gases (Tung y Serrano, 2011). Dado que el café se propaga por plántulas obtenidas de semillas (Mohammed *et al.*, 2013), este estudio se realizó con el objetivo de determinar el tratamiento pregerminativo que disminuya el periodo de germinación en semillas de café.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Localización del experimento

El experimento se estableció en el laboratorio de semillas del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, municipio de Texcoco, estado de México, en un cuarto de germinación a 25 ± 1 °C, con luz blanca constante.

3.2.2 Material biológico

Se emplearon semillas de *Coffea arabica* L. var. Colombia y *C. canephora* P. var. Robusta (Figura 1), la primera adquirida en el Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) de Huatusco, Veracruz, de la Universidad Autónoma Chapingo; la segunda fue proporcionada por productores de la región. Las semillas se utilizaron a los 30 días después de la cosecha.



Figura 1. Semillas de *Coffea arabica* (A) y *Coffea canephora* (B) de 30 días después de la cosecha, utilizadas para tratamientos pregerminativos.

3.2.3 Tratamientos a las semillas

A las semillas se les eliminó el endocarpo, previamente, en forma manual y se sometieron a tratamientos pregerminativos en agua: T1) inmersión 24 horas, T2) lijado más inmersión 24 horas, T3) inmersión a 40 °C por una hora, T4) inmersión 48 horas y T5) lijado más inmersión 48 horas. El lijado en las semillas se realizó ligeramente en un costado del endospermo, con una lija de agua No. 100, evitando dañar al embrión. La inmersión en agua consistió en colocar 25 semillas en un vaso de precipitados con 50 mL de agua destilada (T1, T2, T4 y T5). Para el tratamiento T3, las semillas se sumergieron en agua caliente a 40 °C durante una hora. Posterior a los tratamientos, las semillas se desinfectaron en hipoclorito de sodio al 5 % y se sembraron a una profundidad de 1 cm en dos sustratos: S1) arena de río (previamente lavada y esterilizada a 17 libras de presión durante 2 horas) y S2) Promix[®]: combinación de turba de musgo (*Sphagnum*), perlita y vermiculita (Ramírez *et al.*, 2010), esterilizado a 17 libras de presión por 30 minutos. Para la siembra se

emplearon charolas de 1 litro. Las que se colocaron en un cuarto de germinación a 25 ± 1 °C y se mantuvieron durante 50 días. Los riegos se efectuaron cada tercer día, agregando 150 mL de agua, en cada charola.

3.2.4 Diseño experimental

Tanto en *C. arabica* como en *C. canephora*, la unidad experimental fue de 25 semillas con tres repeticiones en cada uno, empleando un diseño completamente al azar con un arreglo de tratamientos factorial 5 (tratamientos pregerminativos = factor A) por 2 (sustrato = factor B).

3.2.5 Variables de respuesta

Días de inicio de la germinación (DIG). Se registraron los días transcurridos de la siembra a la fecha de emergencia de la primera plántula en cada tratamiento.

Velocidad de emergencia (VE). Se calculó como la sumatoria del número de plántulas emergidas entre el día de conteo.

$$VE = \Sigma (\text{número de plántulas emergidas/día de conteo})$$

Porcentaje de emergencia (PE). Se registró la emergencia de cada plántula durante 30, 40 y 50 días. Se calculó con la fórmula:

$$PE = (\Sigma G/N) \times 100$$

G = número de plántulas emergidas y N = número de semillas total.

3.2.6 Análisis estadístico

Los datos de *C. arabica* y *C. canephora*, se analizaron independientemente en el programa SAS versión 9. El porcentaje de emergencia en *C. arabica* a los 40 días y los de *C. canephora* a los 30, 40 y 50 días se transformaron con la función arcoseno de la raíz cuadrada (Prado-Urbina *et al.*, 2015) para obtener una distribución normal aproximada. Los datos de DIG, VE, PE no transformados y los transformados, se analizaron por medio de un análisis de varianza en arreglo factorial 5 (tratamientos pregerminativos) x 2 (sustrato). La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) por sustrato, tratamientos pregerminativos y la interacción de los factores. Los PE se reportan en porcentajes, aunque la prueba se aplicó a los números reales de las plántulas emergidas y a los datos transformados.

3.3 Resultados y discusión

En los análisis de varianza se observa que hubo efecto por el tipo de sustrato y los tratamientos pregerminativos, en el DIG, VE y PE de semillas de *Coffea arabica* (Cuadro 1). Además, se presentó interacción entre los dos factores, excepto para la variable PE (50 D) que resultó no significativa.

Cuadro 1. Análisis de varianza (cuadrados medios) de tratamientos pregerminativos, del sustrato, y su interacción en variables de germinación y de emergencia de semillas de *Coffea arabica*.

Factor de variación	Días de inicio de la germinación (DIG)	Velocidad de emergencia (VE)	Porcentaje de emergencia (PE)		
			30 D	40 D	50 D
TP	257.80***	0.29***	13428.05***	0.0058***	418.11***
S	33.84**	1.29***	13324.14***	0.0009**	56.03**
TP*S	73.11***	0.17***	7376.44***	0.0009***	6.61NS
CV %	7.52	20.68	19.35	12.24	11.48

D = días; TP = tratamiento pregerminativo; S = sustrato; TP * S = interacción; CV = coeficiente de variación. * = $p \leq 0.05$, ** = $p \leq 0.01$, *** = $p \leq 0.0001$, NS = no significativo.

En el caso de *Coffea canephora* se presentó una situación similar de significancia por efecto del tratamiento pregerminativo y del sustrato para todas las variables (Cuadro 2). Sin embargo, en esta especie la interacción de los factores se presentó solamente en las variables PE (40 D) y PE (50 D).

Cuadro 2. Análisis de varianza (cuadrados medios) de tratamientos pregerminativos, del sustrato y su interacción en variables de germinación y de emergencia de semillas de *Coffea canephora*.

Factor de variación	Días de inicio de la germinación (DIG)	Velocidad de emergencia (VE)	Porcentaje de emergencia (PE)		
			30 D	40 D	50 D
TP	29.42**	0.10***	0.0017***	0.0023***	0.0026***
S	27.58*	0.34**	0.0055***	0.0051***	0.0041***
TP*S	8.56NS	0.02NS	0.0002NS	0.0009**	0.0015***
CV %	8.29	44.75	22.92	15.17	14.00

D = días; TP = tratamiento pregerminativo; S = sustrato; TP * S = interacción; CV = coeficiente de variación. * = $p \leq 0.05$, ** = $p \leq 0.01$, *** = $p \leq 0.0001$, NS = no significativo.

3.3.1 Efecto de los tratamientos pregerminativos

Las semillas de *C. arabica*, en los DIG respondieron favorablemente con los tratamientos pregerminativos T1 y T3, cuyos valores oscilaron entre 22 y 23 días y en *C. canephora*, sobresalió el T3 con 21 días (Cuadro 3). Los tratamientos señalados lograron acortar la fase de germinación al invertir menor tiempo con relación a los 45 o hasta 60 días señalados por Guevara *et al.* (1997), probablemente la imbibición de las semillas de café ocurrió durante la primera semana y la protrusión de la radícula de los 13 a 15 días (Shimizu y Mazzafera, 2000).

Cuadro 3. Variables de germinación y emergencia en semillas de café en función de los tratamientos pregerminativos.

Tratamiento pregerminativo	Días de inicio de la germinación (DIG)		Velocidad de emergencia (VE)	
	<i>C. arabica</i>	<i>C. canephora</i>	<i>C. arabica</i>	<i>C. canephora</i>
Inmersión 24 horas (T1)	22a	22ab	0.55a	0.40a
Lijado más inmersión 24 horas (T2)	24ab	26c	0.47ab	0.29ab
Inmersión a 40 °C por una hora (T3)	23a	21a	0.37b	0.33ab
Inmersión 48 horas (T4)	27b	25bc	0.14c	0.15bc
Lijado más inmersión 48 horas (T5)	38c	26c	0.00d	0.07c

Medias con letras iguales en una columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). n = 3.

La VE a los 30 días después de la siembra fue mayor con T1, tanto en *C. arabica* (0.55 plántulas emergidas por día) como en *C. canephora* (0.40 plántulas emergidas por día), lo que demuestra que con este tratamiento se observa mayor vigor de las semillas y la germinación es más rápida.

Entre los tratamientos pregerminativos aplicados a la semilla de *C. arabica*, se observó que el PE en T1 a los 30, 40 y 50 días de la siembra, superó a los demás tratamientos (59, 92 y 97 %, respectivamente). Aunque a los 30 días se comportó estadísticamente igual al T2 y, a los 40 días al T2 y al T3. A los 30 días, el PE en las semillas de *C. canephora* con T1 fue de 42 %, comportándose estadísticamente igual al T2 y al T3. El PE a los 40 y 50 días de T1 y T2, fueron superiores a 60 % (Figura 2). Coa *et al.* (2014) reportaron resultados similares con la escarificación mecánica (lijado del pergamino) e inmersión de agua durante 24 y 48 horas: a los 25 días obtuvieron más del 60 % de germinación de *C. arabica* var. Catuaí Rojo, aunque en esta investigación el pergamino se eliminó completamente. Al respecto, Gebreselassie *et al.* (2010) encontraron que las semillas de *C. arabica* remojadas por 12 y 72 horas tuvieron 13.28 y 49.80 %, respectivamente, mejor emergencia a los 45 días de la siembra con respecto a las no remojadas que alcanzaron 2.87 y 22.66 %. Asimismo, Mohammed *et al.* (2013) reportaron un aumento en la germinación de *C. arabica* hasta alcanzar 76.47 % cuando se remojó la semilla por 72 horas y se estableció en una mezcla de suelo forestal y compost.

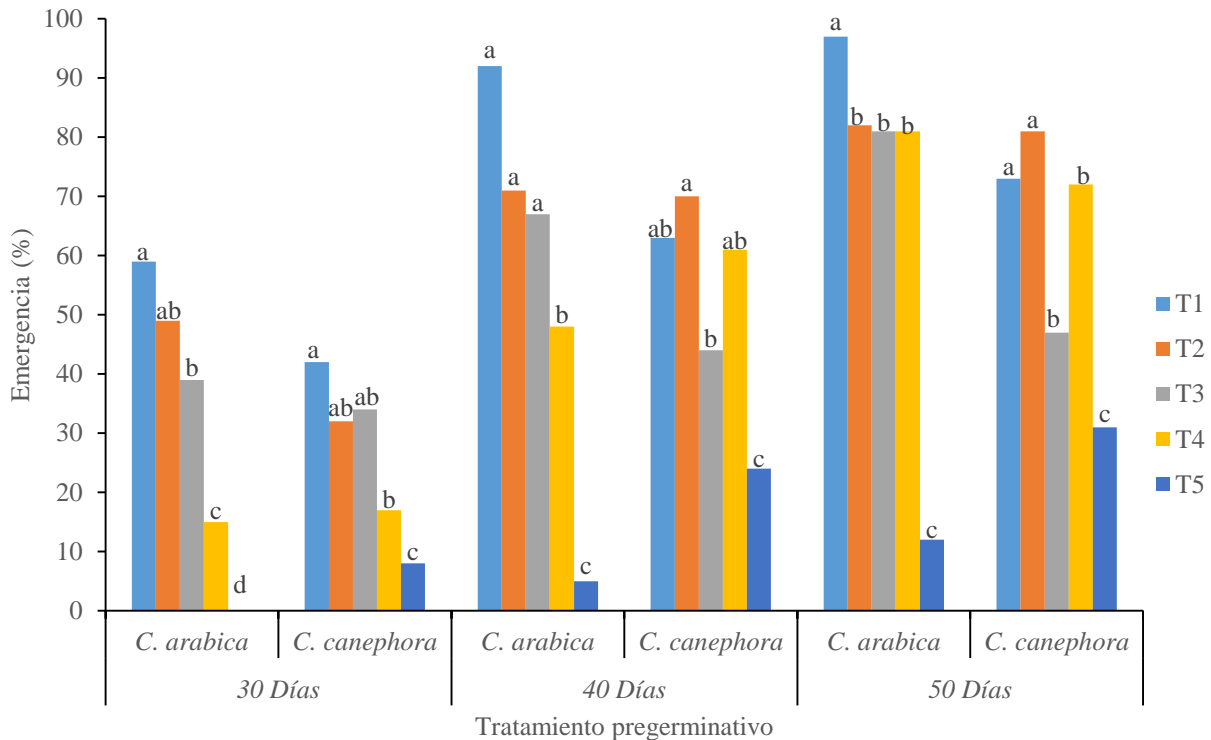


Figura 2. Emergencia en semillas de café en función de los tratamientos pregerminativos.

T1 = inmersión 24 horas, T2 = lijado más inmersión 24 horas, T3 = inmersión a 40 °C por una hora, T4 = inmersión 48 horas; T5 = lijado más inmersión 48 horas. Medias con letras iguales en una columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Al igual que en esta investigación, la inmersión de las semillas 24 horas en agua, ha presentado resultados satisfactorios en la germinación de *Moringa oleifera* (Padilla *et al.*, 2012), *Sapindus emarginatus* (Swaminathan y Revathy, 2013) y *Dialium guineense* (Olajide *et al.*, 2014).

El agua caliente destacó entre los mejores tratamientos, por ende, es eficaz en la promoción de la germinación y emergencia, aunque el grado y el tiempo a emplear depende de las especies, es favorable para las semillas de *Euterpe precatoria* (León y Saldaña, 2011), *Dialium guineense* (Oboho y Ogana, 2012), *Cassia fistula* (Soliman y Abbas, 2013) y *Pseudomitrocereus fulviceps* (Navarro *et al.*, 2015).

La escarificación mecánica (lijado del endospermo) combinado con la inmersión 24 horas en agua muestra ser factible para el PE en la mayoría de las fechas (30, 40 y 50 días) de evaluación de *C. arabica* y *C. canephora*. También la escarificación mecánica muestra resultados satisfactorios en

la germinación de *Euterpe precatoria* (León y Saldaña, 2011), *Enterolobium contortisiliquum* (Romero *et al.*, 2013) y *Annona squamosa* (Adeniji *et al.*, 2014).

3.3.2 Efecto del sustrato

Los valores más bajos de DIG (26 y 23 días), se obtuvieron en la arena, para *C. arabica* y *C. canephora*, respectivamente (Cuadro 4); sin embargo, en *C. canephora*, fue inferior por tres días al obtenido en *C. arabica*. Ndor *et al.* (2012) encontraron que en *Telferia occidentalis*, la germinación fue más rápida (10 días) con arena de río. Las características físicas de los sustratos son las más importantes (Pineda-Pineda *et al.*, 2012). Al respecto, Pire y Pereira (2003) reportan que la arena presenta 37.3, 4.7 y 32.6 %, de porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad, respectivamente, por lo tanto, las características de la arena empleada, favoreció los DIG. Puerta *et al.* (2012) encontraron en el Promix[®] que la porosidad total, la porosidad de aireación y la porosidad de retención de humedad es de 73.57, 7.45 y 66.12 %, respectivamente. Es probable que en este sustrato la germinación y emergencia de las especies evaluadas de café requerían mayor porosidad de aireación, ya que valores óptimos deben ser ligeramente superiores al 30 % (Hernández-Zarate *et al.*, 2014) o bien, las cantidades de agua aplicadas en el riego fueron excesivas (Solichatun *et al.*, 2016). En general, los DIG empezaron entre los 23 y 28 días, posiblemente favorecido por el empleo de semillas sin el pergamino, donde la emisión de la radícula inicia a los 15 y 28 días en semillas sin y con pergamino, respectivamente (Patui *et al.*, 2014).

Cuadro 4. Variables de germinación y emergencia en semillas de café en dos sustratos.

Sustrato	Días de inicio de la germinación (DIG)		Velocidad de emergencia (VE)	
	<i>C. arabica</i>	<i>C. canephora</i>	<i>C.arabica</i>	<i>C. canephora</i>
Arena	26a	23a	0.53a	0.35a
Promix [®]	28b	25b	0.11b	0.13b

Medias con letras iguales en una columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). n = 3.

La VE sobresalió en el sustrato arena, obteniéndose 0.53 plántulas emergidas por día en *C. arabica*, valor más elevado que 0.35 plántulas emergidas por día de *C. canephora*, lo cual, pudo estar relacionado con la menor calidad de las semillas de *C. canephora*. Al respecto, Fialho-Rubim *et al.* (2014) consideran que las semillas de café presentan problemas en la calidad fisiológica, razón que genera baja velocidad de emergencia. Por otro lado, el vigor es importante para fomentar la capacidad del embrión, de reanudar su actividad metabólica de manera coordinada (Rajjou *et al.*, 2012). Aunado a lo anterior, la presencia de giberelinas aumentan el potencial de crecimiento del embrión e inducen el debilitamiento del endospermo (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006).

La arena favoreció el PE de semillas de *C. arabica*, a los 30, 40 y 50 días de la siembra con 52, 69 y 74 %, respectivamente, superó a los valores de PE de las semillas sembradas en Promix® que presentaron en el mismo periodo 13, 45 y 64 % (Figura 3). Estos resultados difieren a los encontrados por Guevara *et al.* (1997), en semillas de café con y sin pergamino cuando se usó arena como sustrato, con 75 y 100 % de humedad, quienes observaron menor germinación. En tanto, Méndez *et al.* (2009) reportaron que en arena se produjo mayor germinación en *Psidium guajava*. Por consiguiente, la arena puede ser un buen sustrato para la germinación y emergencia de café y de acuerdo con Aparicio *et al.* (1999), un sustrato adecuado garantiza altos porcentajes en la producción de plántulas, así como menor pérdida por factores adversos durante la germinación. También se han obtenido altos porcentajes de germinación en *Stevia rebaudiana* y *Tagetes minuta* cuando se siembran en arena (Kumar y Sharma, 2012). Por otro lado, la emergencia de *Capsicum annuum* ha sido favorable (97 %) en Promix® (Puerta *et al.*, 2012).

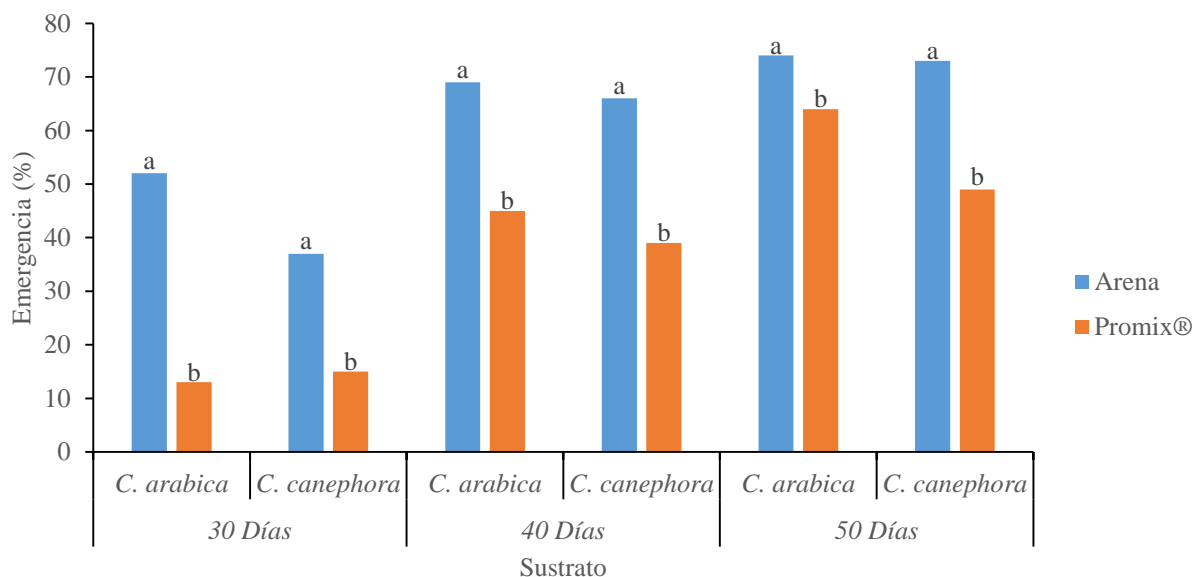


Figura 3. Emergencia en semillas de café en dos sustratos.

3.3.3 Efecto de la interacción tratamiento pregerminativo y sustrato

Los DIG fueron 19 y 20 en *C. arabica* cuando se aplicó T3 y T1, respectivamente, y se empleó la arena como sustrato (Cuadro 5). En *C. canephora* T2 y la siembra en arena, destacó como la mejor combinación con 19 de DIG (Cuadro 6).

Con T2 y la siembra de las semillas de *C. arabica* y *C. canephora* en arena, se obtuvieron los valores más elevados en la VE con 0.88 (Cuadro 5) y 0.47 (Cuadro 6) plántulas emergidas por día, respectivamente, a los 30 días.

El efecto de la interacción (tratamiento pregerminativo y sustrato) fue significativo a los 30 días, en el PE de *C. arabica*, resultados superiores a 70 % se alcanzaron en las semillas tratadas con T1, T2 y T3, y la siembra en arena. Una tendencia similar se observó a los 40 días de la siembra, destacando T1 y T2, y el empleo de arena como sustrato con 99 y 92 %, respectivamente. A los 50 días la mejor combinación se observó con T1 y el sustrato arena que alcanzó el 100 % en PE (Cuadro 5).

Cuadro 5. Variables de germinación y emergencia en semillas de *Coffea arabica* en función de la interacción (tratamiento pregerminativo por sustrato).

Tratamiento pregerminativo	Sustrato	Días de inicio de la germinación (DIG)	Velocidad de emergencia (VE)	Porcentaje de emergencia (PE)		
				30 D	40 D	50 D
T1	Arena	20a	0.68b	72a	99a	100a
T2		22ab	0.88a	91a	92a	93ab
T3		19a	0.73ab	76a	85ab	88ab
T4		23ab	0.29c	30b	71ab	87ab
T5		43e	0.00d	0c	0e	12c
T1	Promix [®]	24abc	0.42c	47b	85ab	93ab
T2		26bc	0.07d	8c	49bc	71b
T3		26bc	0.02d	3c	52.0bc	75b
T4		29cd	0.04d	5c	25cd	75b
T5		26bc	0.02d	5c	52bc	75b

D = días, T1 = inmersión 24 horas, T2 = lijado más inmersión 24 horas, T3 = inmersión a 40 °C por una hora, T4 = inmersión 48 horas; T5 = lijado más inmersión 48 horas. Medias con letras iguales en una columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). n = 3.

En *C. canephora* la combinación de T3 y arena a los 30 días fue mejor con 49 % en PG, a los 40 y 50 días. Sobresalieron las interacciones de T1, T3 y T4, y arena, alcanzando valores entre 60 y 90 %, asimismo la combinación de T1 y T3 con Promix[®], sobresalieron con resultados entre 50 y 80 % en PE (Cuadro 6). Al respecto, Gebreselassie *et al.* (2010), destacan que la remoción del pergamino y el remojo en agua mejoran la emergencia. Con relación a los tratamientos de T2 y T4, en el sustrato Promix[®], debido probablemente al exceso del agua, no favoreció los resultados, ya que tiene mayor capacidad de retención de humedad con relación a la arena.

Cuadro 6. Variables de germinación y emergencia en semillas de *Coffea canephora* en función de la interacción (tratamiento pregerminativo por sustrato).

Tratamiento pregerminativo	Sustrato	Días de inicio de la germinación (DIG)	Velocidad de emergencia (VE)	Porcentaje de emergencia (PE)		
				30 D	40 D	50 D
T1	Arena	21ab	0.44ab	45ab	64a	75a
T2		19a	0.47a	48ab	60a	61ab
T3		23bcd	0.45ab	49a	81a	87a
T4		25bcd	0.25abcd	28abcd	76a	80a
T5		26cd	0.15abcd	16bcd	48ab	63ab
T1	Promix [®]	21ab	0.37abc	39abc	63a	72a
T2		24bcd	0.12bcd	12cd	20b	26b
T3		28d	0.13bcd	15bcd	59a	76a
T4		26cd	0.06cd	7de	45ab	64ab
T5		0e	0.00d	0e	0c	0c

D = días, T1 = inmersión 24 horas, T2 = lijado más inmersión 24 horas, T3 = inmersión a 40 °C por una hora, T4 = inmersión 48 horas; T5 = lijado más inmersión 48 horas. Medias con letras iguales en una columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). n = 3.

3.4 Conclusiones

El tratamiento pregerminativo de inmersión en agua de semillas de *Coffea arabica* durante 24 horas favorece la germinación, velocidad y porcentaje de emergencia. En tanto las semillas de *Coffea canephora* con tratamientos pregerminativos de inmersión en agua 24 horas y lijado del endocarpo disminuyen el periodo de germinación y aumentan el porcentaje de germinación. Entre los sustratos, la arena de río resultó ser un sustrato favorable para disminuir el periodo de la germinación de semillas sin endocarpo en *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, al reducir los días de inicio de la germinación, aumentar la velocidad y el porcentaje de germinación. Por lo tanto, el periodo de germinación en *Coffea arabica* disminuye al combinar los tratamientos pregerminativos: inmersión 24 horas, lijado más inmersión 24 horas e inmersión a 40 °C por una hora y el sustrato arena y la disminución del periodo de germinación en *Coffea canephora* es favorecido por la inmersión en agua 24 horas, inmersión a 40 °C por una hora e inmersión 48 horas, con el sustrato arena y la inmersión 24 horas e inmersión a 40 °C por una hora en el Promix[®].

3.5 Literatura citada

- Adeniji I.T., A. F. Adio, O. A. Iroko, A. A. Kareem, O. C. Jegede, F. Kazeem-Ibrahim, T.O. Adewole and A.O. Adeosun (2014)** Pre-treatment of seeds of *Annona squamosa* (sugar apple) a non timber forest product. *Research in Plant Sciences* 2: 50-52.
- Aparicio R. A., H. Cruz J. y J. Alba L. (1999)** Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch. et Cham., *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus psedostrobus* Lindl. en condiciones de vivero. *Foresta Veracruzana* 1 (2): 31-34.
- Araméndiz-Tatis H., C. Cardona-Ayala y E. Correa-Álvarez (2013)** Efecto de diferentes sustratos en la calidad de plántulas de berenjena (*Solanum melogena* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 7 (1): 55-61.
- Castanheira G. G., S. D. Veiga F., L. F. Serafim C., A. Delly V. and A. da C. Sampaio C. (2013)** Minimum period to assess the potential of germination of coffee seeds. *Journal of Seed Science* 35: 347-352.
- Coa U. M., J. R. Méndez N., R. Silva A. y S. Mundarain P. (2014)** Evaluación de métodos químicos y mecanismos para promover la germinación de fosforitos en café (*Coffea arabica*) var. Catuaí Rojo. *IDESIA* 32 (1): 43-53.
- Czarna M., M. Kolodziejczak and H. Janska (2016)** Mitochondrial proteome studies in seeds during germination. *Proteomes* 4: 1-16.
- Da Rosa S.D.V. F., M. B. McDonald, A. D. Veiga, F. de L. Villeila and I. A. Ferreira (2010)** Staging coffee seedling growth: a rationale for shortening the coffee seed germination test. *Seed Science and Technology* 38: 421-431.
- De Farias E. T., E. A. Amaral D. S., P. E. Toorop, J. Derek Bewley and H. W. M. Hilhorst (2015)** Expression studies in the embryo and in the micropylar endosperm of germination coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seeds. *Plant Growth Regulación* 75: 575-581.
- Fialho R. R., H. Duarte V., E. Fontes A., A. C. Sanazário de O. y A. Pio V. (2014)** Emergence of conilon coffee seedlings originating from seeds treated with a sodium hypochlorite solution. *American Journal of Plant Sciences* 5: 1819-1830.
- Finch-Savage W. E. and G. Leubner-Metzger (2006)** Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist* 171: 501-523.
- Gebreselassie W., A. Mohammed and A. Netsere (2010)** Pre-sowing treatment of coffee (*Coffea arabica* L.) seeds to enhance emergence and subsequent growth of seedlings. *Research Journal of Seed Science* 3: 218-226.
- Guevara E., J. Herrera y R. Alizaga (1997)** Efecto del sustrato y su condición hídrica sobre la germinación de semilla de café caturra. *Agronomía Costarricense* 21: 207-216.
- Han C. and P. Yang (2015)** Studies on the molecular mechanisms of seed germination. *Proteomics* 15: 1671-1679.
- Hernández-Zarate L., A. Aldrete, V. M. Ordaz-Chaparro, J. López-Upton y M. A. López-López (2014)** Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48: 627-637.

- Kumar R., K. K. Misra, D. S. Misra and M. Brijwal (2012)** Seed germination of fruits crops: a review. *HortFlora Research Spectrum* 1: 199-207.
- Kumar R. and S. Sharma (2012)** Effect of light and temperatura on seed germination of important medicinal and aromatic plants in north western Himalayas. *International Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 2: 468-475.
- León F. J. y J. S. Saldaña R. (2011)** Tratamientos pregerminativos de las semillas de *Euterpe precatoria* Mart. en Santo Tomas, Loreto-Perú. *Pittieria* 35: 63-70.
- Méndez N. J. R., M. J. Moreno y J. F. Moya (2009)** Efecto de diferentes combinaciones de sustrato (arena, suelo y/o bagazo de caña de azúcar) sobre la germinación de semillas y altura de plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista UDO Agrícola* 9: 121-125.
- Mishra M. K. and A. Slater (2012)** Recent advances in the genetic transformation of coffee. *Biotechnology Research International* 1-17.
- Mohammed A., W. Gebreselassie and T. Nardos (2013)** Effect of effective microorganisms (EM) seed treatment and types of potting mix on the emergence and growth of coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings. *International Journal of Agricultural Research* 8: 34 - 41.
- Navarro C. M. C., H. R. Eloisa L., E. M. González M. y R. L. Rodríguez P. (2015)** Efecto de tratamientos pregerminativos en la germinación de semillas y supervivencia de plántulas de *Pseudomitrocereus fulviceps*. *Cactaceas y Suculentas Mexicanas* 60 (3): 68-79.
- Ndor E., N. S. Dauda and H. B. Chammang (2012)** effect of germination media and seed size on germination and seedling vigour of fluted pumpkin (*Telferia occidentalis*) Hook. F. *International Journal of Agricultural Sciences* 2: 113-115.
- Oboho E. G. and F. N. Ogana (2012)** Effects of varying hot water temperatures on the germination and early growth of *Dialium guineense* (Willd) seeds. *Annals of Biological Research* 3: 1247-1254.
- Olajide O., A. A. Oyedeji, G. S. Tom and J. Kayode (2014)** Seed germination and effects of three watering regimens on the growth of *Dialium guineense* (Wild) seedlings. *American Journal of Plant Sciences* 5: 3049-3059.
- Oliveira V. R., J. M. Costa M., D. Pot, A. Batista A., A. Carvalho A., L. F. Protasio P., C. A. Colombo, L. Gonzaga E. V., M. Falsarella C. and G. Amarante G. P. (2010)** A high-throughput data mining of single nucleotide polymorphisms in *Coffea* species expressed sequence tags suggest differential homeologous gene expression in the allotetraploid *Coffea arabica*^[w]. *Plant Physiology* 154: 1053-1066.
- Padilla C., N. Fraga y M. Suárez (2012)** Efecto del tiempo de remojo de las semillas de moringa (*Moringa oleífera*) en el comportamiento de la germinación y en indicadores del crecimiento de la planta. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46: 419- 421.
- Patui S., L. Clincon, C. Peresson, M. Zancani, L. Conte, L. Del Terra, L. Navarini, A. Vianello and E. Braidot (2014)** Lipasa activity and antioxidant capacity in coffee (*Coffea arabica* L.) seeds during germination. *Plant Science* 219: 19-25.
- Pineda-Pineda J., F. Sánchez del C., A. Ramírez-Arias, A. M. Castillo-González, L. A. Valdés-Aguilar, E. C. Moreno-Pérez (2012)** Aserrín de pino como sustrato hidropónico.

- I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18 (1): 95-111.
- Pire R. y A. Pereira (2003)** Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro* 15: 55-63.
- Prado-Urbina G., L. C. Lagunes-Espinoza, E. García-López, C. C. Bautista-Muñoz, W. Camacho-Chiu, F. G. Mirafuentes y V. H. Aguilar-Rincón (2015)** Germinación de semillas de chiles silvestres en respuesta a tratamientos pre-germinativos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2: 139-149.
- Puerta C. E., T. Russián y C. A. Ruíz (2012)** Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibras de coco. *Revista Científica UDO Agrícola* 12: 298-306.
- Rajjou L., M. Duval, K. Gallardo, J. Catusse, J. Bally, C. Job and D. Job (2012)** Seed germination and vigor. *The Annual Review Plant Biology* 63: 507-533.
- Ramírez M. M., L. I. Trejo-Téllez, F. C. Gómez M. y P. Sánchez G. (2010)** La relación K^+/Ca^+ de la solución nutritiva afecta el crecimiento y calidad postcosecha del tulipán. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 149-156.
- Romero A., A. M. Tapia, V. Luque, S. Aybar, P. Gervasoni and P. Allolio (2013)** Valoración de distintas técnicas para la ruptura de la dormición en semillas *Enterolobium contortisiliquum* (Pacará). *Biología en agronomía* 3: 41-47.
- Shimizu M. M. and P. Mazzafera (2000)** A role for trigonelline during imbibition and germination of coffee seeds. *Plant Biology* 2: 605-611.
- Solichatun, Santosa, K. Dewi and R. Pratiwi (2016)** The effects of physical and hormonal treatments on dormancy breaking and the changes in seed coat ultrastructure of *Delonix regia*. *Nusantara Bioscience* 8: 94-102.
- Soliman A. S. and M. S. Abbas (2013)** Effects of sulfuric acid and hot water pre-treatments on seed germination and seedlings growth of *Cassia fistula* L. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 13: 07-15.
- Swaminathan C. and R. Revathy (2013)** Improving seed germination in *Sapindus emarginatus* vahl. *Pinnacle Agricultural Research & Management* 1-3.
- Temis-Pérez A. L., A. V. López-Malo y M. E. Sosa-Morales (2011)** Producción de café (*Coffea arabica* L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. *Temas selectos de Ingeniería de alimentos* 5: 54-74.
- Tung, L. D. and E. P. Serrano (2011)** Effects of warm water in breaking dormancy of rice seed. *Omonrice* 18: 129-136.

CAPÍTULO IV. DIFERENCIAS FÍSICAS Y QUÍMICAS EN MATERIALES PARA SUSTRATO

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue caracterizar y comparar las propiedades físicas y químicas de tres materiales regionales (aserrín, tezontle, compost) y sus mezclas para sustrato. El diseño experimental fue completamente al azar. Para determinar las propiedades físicas se emplearon tres repeticiones y cinco para las propiedades químicas. Se determinaron las siguientes propiedades físicas: porosidad total, porosidad de aireación, porosidad de retención de humedad, materia sólida, granulometría (índice de grosor y diámetro medio) y densidad aparente. También, se analizan las propiedades químicas: potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y las bases intercambiables (potasio, calcio, magnesio y sodio). También se incluye el análisis de propiedades físicas y químicas del testigo (suelo). Los materiales de los sustratos presentaron modificaciones al realizar las mezclas de ellos, así el aserrín - tezontle y aserrín - tezontle + compost, pueden emplearse como sustrato al presentar porosidad total mayor a 70 %; el aserrín - tezontle, el aserrín - tezontle + fertilizante de lenta liberación, el aserrín - tezontle + fertilizante orgánico y el suelo con pH moderadamente ácido (5.3 a 6.5), permiten la absorción de los nutrientes si se emplean como sustratos; el aserrín, el compost y las mezclas presentan alto contenido de materia orgánica; la relación carbono/nitrógeno en las mezclas conformadas por aserrín son altas lo que indica que estos se degradan lentamente por lo tanto es posible su empleo como sustrato y en los constituidos por compost y el suelo son bajos, lo que indica que son estables; los materiales aserrín, compost y sus mezclas destacan por alto contenido de fósforo; el compost y las mezclas con este material, destacaron por su alto contenido de calcio y magnesio, por lo tanto si se emplean como sustrato las mezclas sin compost, es importante el suministro de estos nutrientes a las plantas.

Palabras clave: propiedades físicas y químicas, mezclas, aserrín, tezontle, compost

CHAPTER IV. PHYSICAL AND CHEMICAL DIFFERENCES IN SUBSTRATE MATERIALS

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize and compare the physical and chemical properties of three regional materials (sawdust, tezontle, compost) and their mixtures for substrate. The experimental design was completely randomized. Three replicates were done to determine the physical properties; five for the chemical properties. The following physical properties were determined: total porosity, airing porosity, water retention porosity, solid matter, granulometry (thickness index and mean diameter), and apparent density. The chemical properties analyzed were: hydrogen potential, electrical conductivity, cation exchange capacity, organic matter, nitrogen, phosphorus, and interchangeable bases (potassium, calcium, magnesium, and sodium). The analysis of the physical and chemical properties of the control (soil) is also included. The substrate materials showed modifications when being mixed: sawdust - tezontle and sawdust - tezontle + compost can be used as a substrate as they showed a total porosity over 70%; sawdust - tezontle, sawdust - tezontle + slow-release fertilizer, sawdust - tezontle + organic fertilizer, and soil with slightly acidic pH (5.3 to 6.5) allow for the absorption of nutrients if they are used as substrates. Sawdust, compost, and the mixtures show a high content of organic matter. The nitrogen/carbon ratios in the mixtures with sawdust are high, which indicates that they degrade slowly, making them feasible to be used as substrates, while those of the mixtures with compost and soil are low, indicating that they are stable. Sawdust, compost, and their mixtures stand out for their high phosphorus content. Compost and its mixtures stand out for their high calcium and magnesium content, so if mixtures with no compost are used as substrate, it is important to supply the plants with these nutrients.

Key words: physical and chemical properties, mixtures, sawdust, tezontle, compost.

4.1 Introducción

Un sustrato es todo material sólido diferente del suelo, natural o sintético, mineral u orgánico y que colocado en contenedor solo o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular; el sustrato puede intervenir o no, en el proceso de nutrición de la planta (Pastor, 1999), este debe cumplir con ciertos requerimientos en propiedades físicas y químicas, y para tener las condiciones idóneas se ha recurrido a la mezcla de materiales inorgánicos con materiales orgánicos (Cruz-Crespo *et al.*, 2010).

El uso de sustrato en contenedores tiene ventajas sobre el cultivo tradicional en suelo, debido a que las características físicas y químicas del sustrato, entre ellas, disponibilidad de nutrientes, condiciones de aireación y retención de agua, pueden ser controladas para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos (Acosta-Durán *et al.*, 2014). Se considera a las características físicas de los sustratos como las más importantes, sin embargo, una vez establecido el cultivo son difícil de modificar (Pineda-Pineda *et al.*, 2012), por el contrario, las propiedades químicas pueden modificarse (Pastor, 1999).

El cultivo en sustrato favorece el crecimiento y rendimiento de los cultivos; los resultados están relacionados con las características del medio y el requerimiento del cultivo (Cruz-Crespo *et al.*, 2014). Un aspecto que debe considerarse es la caracterización física y química de los materiales por separado, ya que justifica la mezcla o no de los mismos (Cruz-Crespo *et al.*, 2010). Con base en lo anterior, el objetivo planteado fue caracterizar y comparar las propiedades físicas y químicas de tres materiales regionales en forma separada y en mezclas.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Evaluación de las propiedades físicas y químicas de los materiales para sustrato y sus mezclas

El análisis se realizó en el laboratorio de Física de Suelos del Postgrado de Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. De los materiales aserrín, tezontle, compost (Figura 4) y sus mezclas (Cuadro 7) se determinaron las propiedades físicas siguientes: porosidad total, porosidad de aireación, porosidad de retención de agua (porosidad de retención de humedad), materia sólida, granulometría (índice de grosor y diámetro medio) y densidad aparente. En cuanto

a las propiedades químicas también se analizaron: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo y las bases intercambiables (potasio, calcio, magnesio y sodio). Los parámetros anteriores también se analizaron al suelo que fue utilizado como testigo.



Figura 4. Materiales: aserrín (A), tezontle (B), compost evaluados por separado y en mezclas (C).

Cuadro 7. Materiales para sustratos y sus mezclas.

Tratamiento	Descripción de los materiales y sus mezclas	Abreviatura	Proporción en volumen
T1	Aserrín	A	1
T2	Tezontle	T	1
T3	Compost	C	1
T4	Aserrín - tezontle	AT	3:1
T5	Aserrín - tezontle + compost	ATC	25 % de la mezcla 3:1 y 75 % de compost
T6	Aserrín - tezontle + fertilizante de lenta liberación*	ATF	Mezcla 3:1 + 7 g L ⁻¹ de Multicote® (liberación en 4 y 8 meses, 50 % de cada uno)
T7	Aserrín - tezontle + fertilizante orgánico**	ATFO	Mezcla 3:1 + 5 g L ⁻¹ de fertilizante orgánico
T8	Suelo	S	1

*Multicote® 50 % - liberación 4 meses (18-6-12 + ME) y 50 % - liberación 8 meses (18-6-12+2MgO + ME); ** PHC Healthy Start® 3 - 4 - 3.

La determinación de porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de agua (porosidad de retención de humedad), se realizó con el procedimiento descrito por Landis *et al.*

(1990), que consistió en saturar el sustrato y registrar el peso; drenar el sustrato, tomar su peso y finalmente, secar en la estufa para obtener el peso seco.

Para el análisis de las propiedades químicas se tomó en cuenta la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2000). El pH y la conductividad eléctrica, se registró en extracto drenado en una relación de agua: sustrato 3:1 (v:v) en la mayoría de los sustratos, con excepción del aserrín que fue 6:1 y el suelo 2:1. La capacidad de intercambio catiónico y las bases intercambiables se determinaron en acetato de amonio 1N y pH 7 como solución extractante. La materia orgánica se determinó por incineración (450 °C durante 3 horas) en los sustratos y el suelo a través del método de Walkley y Black; el nitrógeno total a través del método Kjeldahl; el fósforo para sustrato con pH > 7 se realizó por el procedimiento de Olsen y en pH < 7 se determinó a través del procedimiento de Bray y Kurtz 1.

4.2.2 Diseño experimental y análisis estadístico

Para cada determinación de los materiales de los sustratos y las mezclas de ellos, y el suelo, se consideraron tres repeticiones en las propiedades físicas y cinco en las químicas. Los resultados se presentan como medias \pm desviación estándar.

4.3 Resultados y discusión

4.3.1 Propiedades físicas de los materiales de los sustratos y las mezclas

La porosidad total en las mezclas de materiales y el compost fue mayor al 80 %; de los materiales sin mezclar el aserrín presentó el valor mayor (94 %) y el tezontle con 69 % tuvo el menor porcentaje de poros totales (Cuadro 8), por lo tanto este material se ubica fuera del intervalo adecuado, ya que valores superiores al 70 % son los óptimos (Cabrera, 1999), en este sustrato Rodríguez *et al.* (2013) reportan un valor inferior en la porosidad total al encontrado en este estudio. Por las modificaciones encontradas las mezclas de materiales favorecieron esta característica física, lo que permite asegurar que tanto la combinación aserrín - tezontle como aserrín - tezontle + compost pueden emplearse como sustrato. El tezontle en material sólido, presentó un valor mayor a los demás sustratos, con 31 % se ubica en una tendencia similar al encontrado por Trejo-Téllez *et al.* (2013).

Cuadro 8. Propiedades físicas de sustratos.

Sustrato	Porosidad total	Material sólido	Porosidad de aireación	Porosidad de retención de humedad	Índice de grosor	Diámetro medio	Densidad aparente
			%			mm	g cm ⁻³
A	94 ± 0	6 ± 0	30 ± 3	64 ± 3	7 ± 0	1 ± 0	0.19 ± 0.01
T	69 ± 1	31 ± 1	42 ± 2	27 ± 1	62 ± 5	2 ± 0	1.25 ± 0.00
C	85 ± 1	15 ± 1	22 ± 2	63 ± 1	33 ± 4	1 ± 0	0.58 ± 0.01
AT	84 ± 1	16 ± 1	32 ± 4	52 ± 5	45 ± 1	2 ± 0	0.32 ± 0.00
ATC	84 ± 2	16 ± 2	24 ± 6	60 ± 7	46 ± 1	2 ± 0	0.55 ± 0.01
ATF	-	-	-	-	-	-	0.32 ± 0.00
ATFO	-	-	-	-	-	-	0.32 ± 0.00
S	-	-	-	-	-	-	1.09 ± 0.00

A = aserrín; T = tezontle; C = compost; AT = aserrín – tezontle; ATC = aserrín - tezontle + compost; ATF = aserrín - tezontle + fertilizante de lenta liberación; ATFO = aserrín - tezontle + fertilizante orgánico; S = suelo. n = 3 y n = 5 para índice de grosor, diámetro medio y densidad aparente.

Los materiales de los sustratos y las mezclas variaron en la porosidad de aireación, estos presentaron valores desde 22 hasta 42 %, destacando el tezontle y el aserrín - tezontle con valores superiores al 30 %, lo que indica que estos dos sustratos se encuentran en niveles óptimos (Hernández-Zarate *et al.*, 2014). En relación con el tezontle en porosidad de aireación, Rodríguez *et al.* (2013) y Trejo-Téllez *et al.* (2013), reportaron tendencias similares a los encontrados en esta evaluación.

Los valores de porosidad de retención de humedad fueron superiores al 50 % en la mayoría de los materiales de los sustratos y en las mezclas de ellos, excepto el tezontle que presentó el valor más bajo (27 %) y el más alto se encontró en aserrín (63 %), por tanto, las mezclas realizadas modificaron ligeramente la porosidad de retención de humedad. En tanto el índice de grosor en el tezontle fue mayor a 62 %. Por otro lado, el aserrín y el compost presentaron diámetro medio de 1 mm y las mezclas de estos y el tezontle se caracterizaron por diámetro medio de 2 mm.

La densidad aparente varió en los materiales de los sustratos y en las mezclas de ellos, el valor más alto se registró en tezontle con 1.25 g cm⁻³, seguido del suelo y los demás sustratos presentaron

densidades entre 0.19 y 0.58 g cm⁻³. Al respecto, Vargas-Tapia *et al.* (2008) reportaron densidades que variaron de 0.67 a 1.02 g cm⁻³ en tezontle con diámetro de partículas de 2.00 a 0.125 mm.

4.3.2 Propiedades químicas de los materiales de los sustratos y las mezclas

El pH de los sustratos varió dependiendo de los materiales y con las mezclas se observan modificaciones, el aserrín con pH de 4.9 se clasificó como fuertemente ácido; el tezontle, la mezcla de aserrín - tezontle, el aserrín - tezontle + fertilizante de lenta liberación, el aserrín - tezontle + fertilizante orgánico, y el suelo con valores entre 5.3 y 6.5, presentaron pH moderadamente ácido y finalmente el compost y el aserrín - tezontle + compost fueron medianamente alcalinos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Caracterización química de los materiales y sustratos para producción de plantas de café.

Sustrato	pH	Conductividad eléctrica	Capacidad de intercambio catiónico	Materia orgánica	Nitrógeno total	Relación C/N
		dS m ⁻¹	cmol (+) kg ⁻¹	%		
A	4.9 ± 0.02	0.1 ± 0.0	5.0 ± 0.1	99.3 ± 0.2	0.09 ± 0.01	669 ± 55
T	6.5 ± 0.02	0.04 ± 0.0	0.5 ± 0.4	0.3 ± 0.1	0.01 ± 0.00	20 ± 3
C	7.8 ± 0.02	1.9 ± 0.0	49.9 ± 0.2	48.4 ± 0.3	1.64 ± 0.01	17 ± 0
AT	5.3 ± 0.01	0.1 ± 0.0	2.2 ± 0.2	22.9 ± 2.5	0.04 ± 0.00	384 ± 69
ATC	7.6 ± 0.00	1.5 ± 0.0	38.5 ± 0.4	34.4 ± 2.2	1.21 ± 0.01	16 ± 1
ATF	5.6 ± 0.00	0.5 ± 0.1	2.1 ± 0.1	23.9 ± 2.6	0.23 ± 0.02	60 ± 10
ATFO	5.7 ± 0.01	0.7 ± 0.0	2.6 ± 0.1	24.1 ± 4.9	0.10 ± 0.01	143 ± 19
S	5.5 ± 0.03	0.3 ± 0.0	33.8 ± 0.6	3.2 ± 0.0	0.14 ± 0.01	13 ± 0

A = aserrín; T = tezontle; C = compost; AT = aserrín - tezontle; ATC = aserrín - tezontle + compost; ATF = aserrín - tezontle + fertilizante de lenta liberación; ATFO = aserrín - tezontle + fertilizante orgánico; S = suelo. C/N = carbono/nitrógeno. n = 5.

De acuerdo con Cadahia (2005) los sustratos que presentaron pH moderadamente ácido permiten la absorción de los elementos nutritivos, ya que se encuentran entre el intervalo de 5 a 6.5. En este estudio el tezontle presentó un pH inferior al reportado por Rodríguez *et al.* (2013) y contrario al

obtenido por Trejo-Téllez *et al.* (2013). Vélez *et al.* (2014) señala que un pH menor a 7.5 asegura una mejor asimilación de nutrientes, especialmente fósforo y micronutrientes. Además, valores de pH inferiores a 5.5 inhiben el crecimiento de gran parte de los grupos fisiológicos y a pH 9 se inhibe el crecimiento bacteriano (Uicab-Brito y Sandoval, 2003).

El intervalo de la conductividad eléctrica encontrado en los materiales de los sustratos y en las mezclas de ellos fluctuó entre 0.04 y 1.9 dS m⁻¹, donde el mayor valor se registró en el compost y el menor en el tezontle. En aserrín, la conductividad eléctrica de 0.1 dS m⁻¹ obtenida en este estudio fue menor al reportado por Ortega-Martínez *et al.* (2010). En el caso del tezontle, la conductividad eléctrica fue similar al encontrado por Rodríguez *et al.* (2013).

La capacidad de intercambio catiónico para el compost se considera como muy alta (49.9 cmol (+) kg⁻¹), seguido por aserrín - tezontle + compost y suelo con valores superiores a 30 cmol (+) kg⁻¹, lo que refleja que estos sustratos tienen mayor capacidad para retener nutrimentos (Berrospe-Ochoa *et al.*, 2012). Los demás sustratos con valores de 5 cmol (+) kg⁻¹ se clasificaron como bajas e inferiores a 2.6 cmol (+) kg⁻¹ como muy bajas. El tezontle en este estudio presentó capacidad de intercambio catiónico muy por debajo al reportado por Rodríguez *et al.* (2013).

La materia orgánica en los materiales solos y en las mezclas, se clasificó en muy alto, con excepción del suelo y tezontle, que fueron medio y muy bajo, respectivamente. El porcentaje de nitrógeno varió entre los sustratos, destacaron con valores muy altos el compost y el aserrín - tezontle + compost, seguido por aserrín - tezontle + fertilizante de lenta liberación como alto, el suelo se clasificó como medio; el aserrín y aserrín - tezontle + fertilizante orgánico, bajos y el tezontle y aserrín - tezontle, fueron muy bajos. Cabe señalar que el contenido de nutrientes es variable, no obstante, los materiales compostados, normalmente, presentan elevado nivel de nutrientes (Cruz-Crespo *et al.*, 2013), esta tendencia se observa en los sustratos evaluados ya que el compost solo o mezclado destaca en el contenido de N, con relación a los materiales no composteados e inertes. El aserrín puede limitar la disponibilidad de nitrógeno debido a que los organismos que descomponen la materia orgánica usan este elemento. Esto puede reducir la capacidad de intercambio catiónico, se reducen los cationes disponibles para las plantas, y causa deficiencia de nutrimentos (Hernández-Zarate *et al.*, 2014).

El aserrín y la mezcla aserrín - tezontle presentaron alta relación carbono/nitrógeno, lo cual indica que el proceso de degradación es lento, por lo tanto, adecuado como sustrato. El carbono es

importante como fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno para la síntesis proteica, así, una relación adecuada de estos nutrientes, favorece el crecimiento y la reproducción de los microorganismos en el proceso (Uicab-Brito y Sandoval., 2003); por lo tanto, el cultivo en sustrato orgánico puede presentar limitaciones en la disponibilidad de nitrógeno y oxígeno debido a la competencia de las bacterias, por lo que la relación C/N permite apreciar el estado de degradación del material a emplear como sustrato y su estabilidad a lo largo del cultivo (Vélez *et al.*, 2014). En este estudio, los materiales solos y los sustratos tezontle, compost, aserrín - tezontle + compost y suelo coinciden con los obtenidos por Escobar *et al.* (2012) y De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009), al reportar los valores en un intervalo de referencia de 10 a 20 en sustratos diferentes a los evaluados en este estudio y se clasificaron como sustratos estabilizados.

El fósforo con valores desde 72 hasta 5011 mg kg⁻¹ fue alto en la mayoría de los sustratos y materiales, a excepción del tezontle y el suelo que se clasificaron como bajos, aunque en este último no se detectó la presencia de este nutriente (Cuadro 10).

Cuadro 10. Caracterización química (nutrimentos) de los materiales y sustratos para producción de plantas de café.

Sustrato	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio
	mg Kg ⁻¹		cmol (+) kg ⁻¹		
A	120 ± 2.7	14.2 ± 0.1	2.9 ± 0.1	2.8 ± 0.6	0.7 ± 0.05
T	13 ± 2.7	0.1 ± 0.0	1.6 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.4 ± 0.09
C	5011 ± 205.2	127.0 ± 1.7	40.8 ± 0.3	22.5 ± 0.8	0.8 ± 0.03
AT	72 ± 1.4	5.7 ± 0.3	2.0 ± 0.0	1.8 ± 0.2	0.5 ± 0.03
ATC	2516 ± 47.0	113.3 ± 1.9	29.8 ± 0.3	16.7 ± 0.2	0.7 ± 0.03
ATF	3120 ± 141.4	79.4 ± 4.9	2.7 ± 0.0	2.8 ± 0.1	0.9 ± 0.09
ATFO	340 ± 22.4	22.9 ± 1.2	2.6 ± 0.0	1.5 ± 0.1	1.1 ± 0.13
S	ND	19.3 ± 0.0	4.4 ± 0.1	2.5 ± 0.2	0.1 ± 0.02

A = aserrín; T = tezontle; C = compost; AT = aserrín - tezontle; ATC = aserrín - tezontle + compost; ATF = aserrín - tezontle + fertilizante de lenta liberación; ATFO = aserrín - tezontle + fertilizante orgánico; S = suelo. ND = no detectado. n = 5.

Con relación a la presencia de potasio en todos los materiales y sustratos, aunque los valores variaron desde 0.1 en el tezontle hasta 127 cmol (+) kg^{-1} en el compost, se clasificaron como altos, al respecto Puerta *et al.* (2012) señalan que encontraron un valor elevado en uno de sus sustratos. Arteaga *et al.* (2003) indican que este elemento por lo general, se encuentra en cantidades suficientes en los suelos, así en sustratos diferentes a los de este estudio reportan valores altos.

Los mayores contenidos de calcio de 40.8 y 29.8 cmol (+) kg^{-1} se encontraron en compost y aserrín - tezontle + compost; seguido por los materiales y mezclas con bajas cantidades entre 2.6 y 4.4 cmol (+) kg^{-1} y muy baja con valores inferiores a 2.0 cmol (+) kg^{-1} .

La presencia de magnesio con valores de 22.5 y 16.7 en compost y aserrín - tezontle + compost se clasificaron como altos; los demás se clasificaron como medios a excepción del tezontle con 0.8 cmol (+) kg^{-1} el fue bajo.

4.4 Conclusiones

Con base a la porosidad total mayor a 70 % encontrado en las mezclas aserrín - tezontle y aserrín - tezontle + compost, pueden emplearse como sustrato. Asimismo, la mezcla de aserrín - tezontle, el aserrín - tezontle + fertilizante de lenta liberación, el aserrín - tezontle + fertilizante orgánico y el suelo con valores entre 5.3 y 6.5 con pH moderadamente ácido, permiten la absorción de los nutrientes si se emplean como sustratos. En tanto el aserrín, el compost y las mezclas presentan alto contenido de materia orgánica y la relación carbono/nitrógeno en los sustratos conformados por aserrín son altos lo que indica que estos se degradan lentamente por lo tanto es posible su empleo como sustrato y en los constituidos por compost y el suelo son bajos, lo que indica que son estables. Entre tanto los materiales aserrín, compost y sus mezclas destacan por alto contenido de fósforo; el compost y las mezclas con este material, destacaron por su alto contenido de calcio y magnesio, por lo tanto, si se emplean como sustrato las mezclas sin compost, es necesario suministrar estos nutrientes a las plantas.

4.5 Literatura citada

- Acosta-Durán C., N. Vázquez-Benítez, O. Villegas-Torres, L. B. Vence y D. Acosta-Peñaloza (2014)** Vermicomposta como componente de sustrato en el cultivo de *Ageratum houstonianum* Mill. y *Petunia hybrida* E. Vilm. en contenedor. *Bioagro* 26 (2): 107 – 114.
- Arteaga M. B., L. Santiago y C. Amador (2003)** Efecto de la mezcla de sustratos y fertilización sobre el crecimiento de *Pinus durangensis* Martínez en vivero. *Foresta Veracruzana* 5 (2): 9 - 16.
- Berrospe-Ochoa E. A., V. M. Ordaz-Chaparro, M. A. Rodríguez-Mendoza, R. Quintero-Lizaola (2012)** Cachaza como sustrato para la producción de plántula de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18 (1): 141-156.
- Cabrera R. I. (1999)** Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5 (1): 5-11.
- Cadahia L. C. (2005)** Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-Prensa. España. 681 p.
- Cruz-Crespo E., M. Sandoval V., V. Volke H., V. Ordaz C., J. L. Tirado T. y J. Sánchez E. (2010)** Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana* 28 (3): 219 – 229.
- Cruz-Crespo E., A. Can-Chulim, M. Sandoval-Villa, R. Bugarín-Montoya, A. Robles-Bermúdez y P. Juárez-López (2013)** Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias* 2 (2): 17 - 26.
- Cruz-Crespo E., A. Can-Chulim, R. Bugarín-Montoya, J. Pineda-Pineda, R. Flores-Canales, P. Juárez-López y G. Alejo-Santiago (2014)** Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37 (3): 289 – 295.
- De la Cruz-Lázaro E., Estrella-Botello M.A., Robledo-Torres V., R. Osorio-Osorio, C. Márquez-Hernández y R. Sánchez-Hernández (2009)** Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 25 (1): 59 - 67.
- De Boodt M., O. Verdonck, and I. Cappaert (1974)** Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.
- Escobar F., J. Sánchez P. y M. Azero A. (2012)** Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. *Acta Nova* 5 (3): 390-410.
- Hernández-Zarate L., A. Aldrete, V. M. Ordaz-Chaparro, J. López-Upton, M. A. López-López (2014)** Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48: 627-637.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, 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.

- Ortega-Martínez L. D., J. Sánchez-Olarte, R. Díaz-Ruiz y J. Ocampo-Mendoza (2010)** Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Ra Ximhai* 6 (3): 365 - 372.
- Pastor S. J. N. (1999)** Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana* 17(3): 231 – 235.
- Pineda-Pineda J., F. C. Sánchez del Castillo, A. Ramírez-Arias, A. M. Castillo-González, L. A. Valdés-Aguilar y E. C. P. Moreno (2012)** Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(1): 95-111.
- Puerta A. C. E., T. Russián L. y C. A. Ruiz S. (2012)** Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (2): 298-306.
- Rodríguez-Díaz E., E. Salcedo-Pérez, R. Rodríguez-Macías, D. R. González-Eguiarte y S. Mena-Munguía (2013)** Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latinoamericana* 31: 275-284.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2000)** Norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>. (Febrero 2015).
- Trejo-Téllez L. I., M. Ramírez-Martínez, F. C. Gómez-Merino, J. C. García-Albarado, G. A. Baca-Castillo y O. Tejeda-Sartorius (2013)** Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 863-876.
- Uicab-Brito L. A. y C. A. Sandoval C. (2003)** Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2 (2): 45-63.
- Vargas-Tapia et al. (2008)** Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31 (4): 375-381.
- Vélez C. N. A., V. J. Flórez R. y A. F. Flórez R. (2014)** Comportamiento de variables químicas en un sistema de cultivo sin suelo para clavel en la sabana de Bogotá. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 67 (2): 7281 – 7290.

CAPÍTULO V. CONTENEDOR Y SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CAFÉ

RESUMEN

Se evaluó la producción de plántulas de café en diferentes tamaños de contenedor y tipos de sustratos, en fase de vivero. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial incompleto. Los tratamientos constaron de seis repeticiones y la unidad experimental fue de 10 plantas. De los sustratos se caracterizaron propiedades físicas y químicas al inicio y al final del experimento. En las plántulas se evaluaron características morfológicas y contenido nutrimental de las hojas. Al inicio del experimento el sustrato aserrín-tezontle presentó porosidad total de 84 %, porosidad de aireación de 32 % y porosidad de retención de humedad superior a 52 %. Los sustratos conservaron la porosidad total adecuada al finalizar el experimento (> 70 %). El sustrato con aserrín - tezontle (3:1) + compost inicio y finalizó con altos contenidos en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio mayor a 1 %, 2 516 mg kg⁻¹, 0.6, 29 y 8 cmol (+) kg⁻¹, respectivamente. Las plantas propagadas en aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación en tubetes de 1 L presentaron la mayor altura, diámetro, número de hojas y volumen de raíz de 30.1 cm, 5.2 cm, 13 hojas y 11.2 cm³, respectivamente. El nitrógeno, fósforo, potasio y calcio fueron mayor a 2.86, 0.28, 2.62 y 1.94 % en las plantas de los tratamientos en tubetes de 0.5 y 1.0 L con aserrín - tezontle (3:1) + compost. Con base al crecimiento y desarrollo de las plántulas de café, el aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación en tubete de 1 L fue el mejor tratamiento.

Palabras clave: tubetes para vivero, propiedades de sustratos, análisis foliar en café, fertilizante de lenta liberación

CHAPTER V. CONTAINER AND SUBSTRATE IN COFFE SEEDLING PRODUCTION

ABSTRACT

Coffee seedling production was evaluated in different size containers and types of substrates in the nursery stage. The experimental design was completely randomized with an incomplete factorial design. The treatments included six replicates and the experimental unit was made up of 10 plants. The substrates were characterized for physical and chemical properties at the beginning and end of the experiment. The seedlings were evaluated for morphological characteristics and nutrient content in the leaves. At the beginning of the experiment, the sawdust-tezontle substrate had a total porosity of 84 %, airing porosity of 32%, and water retention porosity over 52%. The substrates maintained adequate total porosity (>70%) by the end of the experiment. The sawdust-tezontle (3:1) + compost substrate began and ended with high contents of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium; over 1%, 2 516 mg kg⁻¹, 0.6, 29, and 8 cmol (+) kg⁻¹, respectively. The plants propagated in sawdust-tezontle (3:1) + slow-release fertilizer in 1 L tubes had the greatest height, diameter, number of leaves, and root volume at 30.1 cm, 5.2 cm, 13 leaves, and 11.2 cm³, respectively. Nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium were over 2.86, 0.28, 2.62, and 1.94% in the plants of the treatments in 0.5 and 1.0 L tubes with sawdust-tezontle (3:1) + compost. Based on coffee seedling growth and development, sawdust-tezontle (3:1) + slow-release fertilizer in 1 L tubes was the best treatment.

Key words: nursery tubes, substrate properties, leaf analysis in coffee, slow-release fertilizer.

5.1 Introducción

La fase de vivero es importante en el desarrollo de las plantas de café, como en otras especies que requieren de trasplante, debido a que constituye la base para el establecimiento en campo (Arizaleta y Pire, 2008). El sustrato para la propagación debe satisfacer los requerimientos de oxígeno, agua y nutrientes para el crecimiento de la planta (Iara *et al.*, 2010), además proporcionar anclaje, oxígeno y agua suficiente para el desarrollo óptimo de las plantas, asimismo nutrientes que pueden cubrirse con un solo material o combinados (Cruz-Crespo *et al.*, 2013). Hidalgo *et al.* (2009) mencionan que es importante considerar la fácil adquisición de los materiales y transporte, con un peso adecuado para su manipuleo, además de características como pH adecuado, estructura apropiada y densidad aparente baja.

Muchos productores emplean el suelo de las fincas cafetaleras para la propagación de plantas de café, lo que genera problemas de plagas y enfermedades, principalmente de nematodos. Por lo tanto, la utilización de sustratos es una opción que permite disminuir el riesgo de infestación. Se recomienda que los materiales a emplear sean regionales, entre ellos, las mezclas de materiales con aserrín han tenido resultados favorables en la producción de *Pinus* (Hernández-Zarate *et al.*, 2014) y *Cedrela odorata* (Mateo-Sánchez *et al.*, 2011). El éxito del uso del aserrín en la propagación de plantas en vivero es su bajo costo, fácil adquisición y su descomposición en un tiempo razonable. Es deseable mezclarlo con materiales inorgánicos como el tezontle para mejorar sus propiedades físicas.

La incorporación de algún material que aporte nutrientes, como el compost, con medios inertes, mejora sus características químicas (Márquez *et al.*, 2008). Las características físicas de los sustratos al inicio de la siembra o trasplante es importante adecuarla ya que una vez establecido el cultivo son difíciles de modificar. Existen varias razones que justifican el uso de sustratos, entre ellas destacan la necesidad de transporte de las plantas, problemas ecológicos por saqueo de los suelos agrícolas, y presencia de patógenos que causan enfermedades (Cruz-Crespo *et al.*, 2013). Por lo anterior, se evaluó la producción de plántulas de café en diferentes tamaños de contenedor y tipos de sustratos, en fase de vivero.

5.2 Materiales y métodos

5.2.1 Localización del experimento

El experimento se estableció en la localidad de Zacamitla, municipio de Ixhuatlán del Café (altitud: 1180 m y ubicación geográfica: 19°03'05'' N y 96°58'16'' W). El vivero se encontraba con malla sombra a 70 % con temperatura media entre junio 2015 a marzo 2016 de 19 °C.

5.2.2 Material biológico

Las plántulas evaluadas fueron de *C. arabica* var. Colombia (dos meses de edad) injertadas en *C. canephora* var. Robusta (tres meses), la primera en etapa de fósforito y la segunda presentaban hojas cotiledonales extendidas en etapa de mariposa (Figura 5). Las plántulas elegidas se caracterizaban por estar sanas (sin problemas de hongos), y se evitaron las plantas con tallos o raíces deformes.



Figura 5. Plántula de *Coffea arabica* en etapa de fósforito (A) y *Coffea canephora* en etapa de mariposa (B).

5.2.3 Tratamientos

Los tratamientos establecidos para la producción de plántulas de café, consistieron en mezclas de aserrín – tezontle con fertilizante de lenta liberación (ATF) y mezclas de aserrín – tezontle con compost (ATC), en contenedor (Cuadro 11).

Cuadro 11. Tratamientos utilizados en la producción de plántulas de *Coffea arabica* var. Colombia injertadas en *Coffea canephora* var. Robusta.

Tratamiento	Descripción
T1	Tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación*
T2	Tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %
T3	Tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación
T4	Tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %
T5	Bolsa 1 L con suelo + fertilizante soluble (Testigo)

*Multicote® 50 % - liberación 4 meses (18-6-12 + ME) y 50 % - liberación 8 meses (18-6-12+2MgO + ME).

Los sustratos (aserrín, tezontle y compost) previamente humedecidos, se mezclaron en las proporciones establecidas. Posteriormente, se llenaron los tubetes. Las plántulas de *C. robusta* en la fase mariposa (hojas cotiledonales) y *C. arabica* en soldadito, con tres y dos meses después de la siembra, respectivamente, se injertaron y se trasplantaron en los contenedores. A los tratamientos sin compost se les agregó al momento del trasplante 7 g L⁻¹ de Multicote® al 50 %, fertilizante de lenta liberación en una relación 1:1 para ser liberado a los 4 y 8 meses, respectivamente. A las plantas testigo se les aplicó el fertilizante fosfato diamónico 18-46-0, 3 g por bolsa a los 20 días y nuevamente tres meses posterior al trasplante, basado en el manejo tradicional de los productores.

5.2.4 Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial incompleto 3 x 3 (3 contenedores x 3 mezclas de sustratos). La unidad experimental estuvo constituida de 10 plantas injertadas, con seis repeticiones por tratamiento.

5.2.5 Caracterización de las propiedades físicas y químicas de los sustratos

La caracterización de las propiedades físicas y químicas de los sustratos y del testigo (suelo) se realizaron antes del trasplante y al finalizar la evaluación en vivero. La caracterización se realizó en el laboratorio de Física de Suelos del Postgrado de Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Se determinó porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de agua (porosidad de retención de humedad), con el procedimiento descrito por Landis *et al.* (1990). Además, se determinó la densidad aparente.

Las propiedades químicas de los sustratos se analizaron con base en la norma NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2000): el pH y la conductividad eléctrica (CE) se obtuvo en el extracto drenado en una relación de agua: sustrato 3:1 (v/v) y en el suelo fue 2:1. Las bases intercambiables se determinaron en acetato de amonio 1N y pH 7. La materia orgánica (MO) se determinó por incineración a 450 °C durante 3 horas, en los sustratos y, en el suelo con el método de Walkley y Black; el nitrógeno (N) por el método Kjeldahl; el carbono (C) se calculó a través de la materia orgánica multiplicado por 0.58; el fósforo (P) se determinó de acuerdo al pH, por el método de Olsen en muestras con pH > 7 y por el procedimiento de Bray y Kurtz 1 para menores a dicho pH.

5.2.6 Variables morfológicas de respuesta

Las variables morfológicas registradas a los 225 días después del trasplante fueron: altura de planta desde el cuello hasta la yema terminal (Arizaleta y Pire, 2008); número total de hojas verdaderas (Anzalone *et al.*, 2014); diámetro del tallo; el peso seco total se obtuvo con el peso seco de raíz, tallo y foliar de las plantas, de acuerdo con Ramos-Hernández *et al.* (2011), y la relación parte aérea-raíz se obtuvo por el cociente entre el peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz (Cardona *et al.*, 2016).

5.2.7 Análisis nutrimental

Para el análisis nutrimental se tomaron las hojas de 10 plantas en cada repetición con tres réplicas por tratamiento, se lavaron con agua destilada y se secaron a 70 °C hasta peso constante. Posteriormente, se molieron y se tamizaron por malla 40, se determinó el nitrógeno total por el método micro Kjeldahl; el fósforo se midió en Espectrofotómetro Hewlett Packard modelo 8453; potasio, calcio y magnesio se determinaron por digestión húmeda en ácidos perclórico y nítrico y la cuantificación se realizó por absorción atómica VARIAN 220.

5.2.8 Análisis estadístico

Los resultados de los análisis físicos y químicos de los sustratos se presentan como la media y desviación estándar de tres repeticiones y los obtenidos de las plantas se analizaron con el software Statistical Analysis System (SAS, 2002) para determinar el análisis de varianza y comparación de medias con intervalos de confianza del 95 %.

5.3 Resultados y discusión

5.3.1 Propiedades físicas de los sustratos usados en el experimento

Los sustratos presentaron valores de 84 % de porosidad total, 16 % de materia sólida, 24 a 32 % de porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad mayor a 50 % (Cuadro 12). De acuerdo con Cabrera (1999) la porosidad total es adecuada, la porosidad de aireación fue igual y cercano al sustrato ideal, que oscila de 20 a 30 % (Urrestarazu-Gavilán, 2004). La porosidad de retención de humedad se encuentra con valores aceptables como señala Bracho *et al.* (2009) con porosidad de retención de humedad de 53.24 a 69.29 % y la densidad aparente fue 0.32 para el sustrato aserrín-tezontle y 0.55 para el sustrato con compost. Por lo anterior, los sustratos utilizados presentaron características similares al sustrato ideal.

Cuadro 12. Características físicas (media \pm desviación estándar) de los sustratos empleados para la producción de plantas de café.

Sustrato	Porosidad total	Materia sólida	Porosidad de aireación	Porosidad de retención de humedad	Densidad aparente
			% (v/v)		Mg m ⁻³
AT	84 \pm 1	16 \pm 1	32 \pm 4	52 \pm 5	0.32 \pm 0.0
ATC	84 \pm 2	16 \pm 2	24 \pm 6	60 \pm 7	0.55 \pm 0.0
Testigo	-	-	-	-	1.09 \pm 0.0

AT = aserrín - tezontle (3:1); ATC = aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %. n = 3.

5.3.2 Propiedades físicas de los tratamientos al final del experimento

Las porosidades totales en los tratamientos al final del experimento fueron de 74 a 82 % (Cuadro 13), de acuerdo con Cabrera (1999) se conservan como adecuadas. Contrariamente, López-Clemente *et al.* (2015) mencionan que los sustratos con las mejores condiciones deben presentar porosidad total mayor a 85 %. Los resultados de este estudio son similares a los de Puerta *et al.* (2012) quienes reportaron porosidad total desde 72.10 hasta 79.03 % en otros sustratos y Berrospe-Ochoa *et al.* (2012) encontraron valores inferiores, superiores y similares que oscilaron de 68.9 a 92.7 %. Los tratamientos conformados por sustratos presentaron entre 18 y 26 % de materia sólida, al respecto Sánchez-Córdova *et al.* (2008) reportan 16 % de material sólido en el testigo.

Cuadro 13. Características físicas (media \pm desviación estándar) al final del experimento en los tratamientos para la producción de plantas de café.

Tratamiento	Porosidad total	Materia sólida	Porosidad de aireación % (v/v)	Porosidad de retención de humedad	Densidad aparente Mg m ⁻³
T1	74 \pm 6	26 \pm 6	44 \pm 7	30 \pm 6	0.33 \pm 0.03
T2	80 \pm 3	19 \pm 3	28 \pm 6	53 \pm 6	0.34 \pm 0.01
T3	74 \pm 1	26 \pm 1	37 \pm 3	37 \pm 3	0.36 \pm 0.02
T4	82 \pm 2	18 \pm 2	27 \pm 6	54 \pm 5	0.32 \pm 0.10
T5	69 \pm 0.6	31 \pm 0.6	39 \pm 1	30 \pm 0	0.82 \pm 0.00

T1 = tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación; T2 = tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %; T3 = tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación; T4 = tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %; T5 = testigo. n = 3 y n = 5 en densidad aparente.

La porosidad de aireación entre los tratamientos osciló entre 27 y 44 %, al respecto Sánchez-Córdova *et al.* (2008) consideran que con valores entre 8 y 20 % de porosidad de aireación existen pocos macroporos, por ende, las raíces de las plantas tienen aireación limitada, prevaleciendo microporos que retienen una humedad alta. Urrestarazu-Gavilán (2004) señala que el sustrato ideal presenta una porosidad de aireación de 20 a 30 %. La existencia de un volumen alto de aireación favorece el libre drenaje y disminuye la capacidad de retención de agua (López-Clemente *et al.*, 2015).

La porosidad de retención de humedad fue de 30 a 54 %, T2 y T4 mantuvieron esta variable superior al 50 %. La adecuada proporción de poros con capacidad de retener agua favorece la obtención de agua y nutrientes para la planta (Barbaro *et al.*, 2014), por lo tanto, el déficit hídrico reduce la absorción de nutrientes, afectando la fotosíntesis y las relaciones hídricas (Frois *et al.*, 2015). Garbanzo-León y Vargas-Gutiérrez (2014) reportaron porosidad de retención de humedad mayor a 50 % en mezclas de sustratos, excepto en las que contenían suelo y arena. Por su parte Hernández-Zarate *et al.* (2014) en tratamientos con mayor proporción de aserrín encontraron porosidad de retención de humedad superior a 42 %, debido a la existencia de más partículas finas, así sugieren la mezcla de estos materiales con partículas más grandes que aporten mayor aireación.

La densidad aparente se mantuvo de 0.32 a 0.36 Mg m⁻³ en los tratamientos con mezclas de sustratos y fue de 0.82 en T5 que contenía suelo. La densidad aparente es afectada por el grado de compresión, arreglo y tamaño de las partículas (Anicua *et al.*, 2009), toma relevancia para manejar los contenedores y para trasladar las plantas (Sánchez-Cordoba *et al.*, 2008), si es baja favorece el transporte de las plantas, debido a que el peso es menor (Hidalgo *et al.*, 2009).

5.3.3 Propiedades químicas de los sustratos usados en el experimento

Al momento del trasplante, los sustratos AT (con fertilizante de lenta liberación) y Testigo tuvieron pH moderadamente ácido; no obstante, ATC (con fertilizante de lenta liberación) fue medianamente alcalino y presentó conductividad eléctrica mayor a 1 dS m⁻¹, lo cual puede influir en el menor desarrollo de las plantas (Barbaro *et al.*, 2014) asimismo este último sustrato destacó con mayor aporte de carbono y nitrógeno total. La relación carbono/nitrógeno fue superior en AT (Cuadro 14).

Cuadro 14. Composición química (media ± desviación estándar) de los sustratos usados en el experimento.

Tratamiento	pH (3:1)	Conductividad eléctrica ³ (3:1) dS m ⁻¹	Carbono	Nitrógeno total %	Relación C/N
AT	5.6 ± 0.0 ¹	0.5 ± 0.0	13 ± 2	0.04 ± 0 ⁴	384 ± 69
ATC	7.6 ± 0.0 ²	1.4 ± 0.0	20 ± 1	1.2 ± 0 ⁶	16 ± 1
Testigo	5.5 ± 0.0 ¹	0.3 ± 0.0	2 ± 0	0.1 ± 0 ⁵	13 ± 0

AT = aserrín - tezontle (3:1); ATC = aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %. pH = moderadamente ácido¹; medianamente alcalino². Conductividad eléctrica = efectos despreciables de la salinidad³. Nt = muy bajo⁴; medio⁵; muy alto⁶. C/N = carbono/nitrógeno. pH_{H₂O 2:1}. n = 5.

Los sustratos AT y ATC al iniciar el experimento presentaron alto contenido de fósforo; el potasio fue alto en los sustratos y el Testigo; el calcio y magnesio fue alto en ATC (Cuadro 15).

Cuadro 15. Composición química (media \pm desviación estándar) en los sustratos usados en el experimento.

Sustrato	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio
	mg kg ⁻¹		cmol (+) kg ⁻¹		
AT	72 \pm 1.4 ³	5.7 \pm 0.3 ⁴	2.0 \pm 0.0 ⁵	1.8 \pm 0.2 ⁸	0.5 \pm 0.03
ATC	2 516 \pm 47.0 ¹	113.3 \pm 1.9 ⁴	29.8 \pm 0.3 ⁷	16.7 \pm 0.2 ⁹	0.7 \pm 0.03
Testigo	ND	19.3 \pm 0.0 ⁴	4.4 \pm 0.1 ⁶	2.5 \pm 0.2 ⁸	0.1 \pm 0.02

AT = aserrín - tezontle (3:1); ATC = aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %. ND = no detectado. P Olsen = alto¹. P Bray y Kurtz 1 = bajo²; alto³. K = alto⁴. Ca = muy baja⁵; baja⁶; alta⁷. Mg = medio⁸; alto⁹. n = 5.

5.3.4 Propiedades químicas de los sustratos al final del experimento

Los tratamientos finalizaron con pH moderadamente ácido, excepto T4 que presentó pH neutro, garantizando que el pH inicial en los sustratos disminuyó principalmente en los tratamientos que contenían compost en sus mezclas (Cuadro 16). El compost en la mezcla genera pH elevado, al respecto López-Clemente *et al.* (2015), reportaron valores de 6.0 a 7.9, en compost de diferentes materiales y Barbaro *et al.* (2013), destacan que pH de 7.0 a 8.3, no entran en el intervalo óptimo para la mayoría de las especies establecidas en sustratos.

Cuadro 16. Propiedades químicas (media \pm desviación estándar) en los tratamientos al final del experimento.

Tratamiento	pH (3:1)	Conductividad eléctrica ³ (3:1)	Carbono	Nitrógeno total	Relación C/N
		dS m ⁻¹		%	
T1	5.5 \pm 0.0 ¹	0.3 \pm 0.0	10 \pm 1	0.1 \pm 0 ⁴	97 \pm 10
T2	6.5 \pm 0.0 ¹	0.7 \pm 0.0	17 \pm 2	1.0 \pm 0 ⁶	17 \pm 2
T3	5.5 \pm 0.0 ¹	0.4 \pm 0.0	9 \pm 1	0.1 \pm 0 ⁴	80 \pm 10
T4	6.8 \pm 0.0 ²	0.2 \pm 0.0	18 \pm 1	1.1 \pm 0 ⁶	16 \pm 1
T5	5.7 \pm 0.0 ¹	0.8 \pm 0.0	7 \pm 1	0.2 \pm 0 ⁵	46 \pm 4

T1 = tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación; T2 = tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %; T3 = tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación; T4 = tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %; T5 = testigo. pH = moderadamente ácido¹; neutro². Conductividad eléctrica = efectos despreciables de la salinidad³. Nitrógeno total = medio⁴; alto⁵; muy alto⁶. C/N = carbono/nitrógeno. pH_{H₂O} 2:1. n = 5.

La conductividad eléctrica osciló entre 0.2 y 0.8 dS m⁻¹, se presentó una disminución ligera en la mayoría de los tratamientos, con relación al valor inicial que tenía cada sustrato, excepto en T5. También Morales-Munguía *et al.* (2009) observaron una disminución de la conductividad eléctrica en los materiales evaluados. De acuerdo con Garbanzo-León y Vargas-Gutiérrez (2014) los T2 y T4 finalizaron con intervalos óptimos, al encontrarse entre 1.2 y 3.5 dS m⁻¹. Sadeghian y Zapata *et al.* (2014) mencionan que el café en la fase de almácigo tolera conductividad eléctrica menor a 1.1 dS m⁻¹.

Con base a los sustratos utilizados, los contenidos de carbono presentaron una disminución al final en T1 (23 %) y T3 (31 %) y en T2 (15 %) y T4 (10 %), al respecto Morales-Munguía *et al.* (2009) reportan que sustratos orgánicos presentaron valores superiores al inicio y menores al final. Los T2 y T4 al finalizar el experimento, con contenidos de 1 % de N se clasificaron como muy alto y los demás tratamientos con porcentajes menores a 2 % fueron alto (T5) y medio (T1 y T3). Rodríguez *et al.* (2010) señalan que contenidos bajos de nitrógeno presentan altas relaciones de carbono/nitrógeno, esta situación se observa en T1 y T3. La disminución de N en T2 y T4 se debió a la absorción de las plantas, debido a que en ellos no se suministró ningún fertilizante. En cuanto a la relación carbono/nitrógeno disminuyó en los tratamientos T1 y T3 con base en el sustrato inicial; no obstante, los valores finales se mantuvieron altos de 97 y 80, respectivamente, la reducción se relaciona con las pérdidas durante el proceso por la liberación de CO₂ (Hoyos *et al.*, 2010), y al proceso de descomposición natural del material. De acuerdo con Doncean *et al.* (2013) una relación carbono/nitrógeno de 30 presenta un proceso de descomposición prolongado debido a la presencia insuficiente de nitrógeno para la microflora celulolítica, esto se observa en los tratamientos con alta relación carbono/nitrógeno. En los tratamientos T2 y T4 los valores oscilaron en 17 y 16, de acuerdo con Hoyos *et al.* (2010) valores entre 12 y 18 se clasifican como estables para compost, por lo tanto, T2 y T4 se pueden considerar en esta categoría debido a que contenían compost.

El contenido de fósforo se clasificó como alto en los sustratos y bajo en T5 (Cuadro 17) que correspondió al testigo (suelo). Se presentó un aumento de fósforo al final del experimento, esto por la aplicación de nutrientes en los T1, T3 y T5, y a la liberación del compost en T2 y T4, al respecto Jakubus (2016) señala que los compost son fuentes de fósforo, considerándose una alternativa a la fertilización. La dinámica y la disponibilidad en el Testigo depende de la

fertilización (Pereira *et al.* 2011). Con respecto al potasio, éste disminuyó en todas las combinaciones manteniéndose como alto en T2, T4 y T5 y de alto a medio en T1 y T3, su existencia es importante para regular la apertura de estomas en las plantas (Prajapati y Modi, 2012).

Cuadro 17. Composición química (media \pm desviación estándar) en los tratamientos al final del experimento.

Tratamiento	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio
	mg kg ⁻¹		cmol (+) kg ⁻¹		
T1	194 \pm 3.1 ²	0.4 \pm 0.0 ³	1.9 \pm 0.0 ⁵	3.4 \pm 0.1 ⁹	0.6 \pm 0.05
T2	3 837 \pm 0.0 ²	1.0 \pm 0.0 ⁴	32.1 \pm 0.1 ⁷	8.2 \pm 0.2 ⁹	0.7 \pm 0.01
T3	253 \pm 3.1 ²	0.4 \pm 0.0 ³	1.7 \pm 0.1 ⁵	3.6 \pm 0.1 ⁹	0.6 \pm 0.01
T4	4 419 \pm 0.0 ²	0.6 \pm 0.0 ³	34.2 \pm 0.1 ⁷	10.1 \pm 0.3 ⁹	0.7 \pm 0.02
T5	8 \pm 1.3 ¹	0.9 \pm 0.0 ⁴	3.9 \pm 0.2 ⁶	1.4 \pm 0.3 ⁸	0.2 \pm 0.02

T1 = tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación; T2 = tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %; T3 = tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación; T4 = tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %; T5 = testigo. Fósforo Bray y Kurtz 1 = bajo¹; alto². Potasio = medio³; alto⁴. Calcio = muy baja⁵; baja⁶; alta⁷. Magnesio = medio⁸; alto⁹. n = 5.

El calcio fue alto para T2 y T4, en los demás tratamientos tuvo una tendencia de disminución, clasificándose en bajos y muy bajos. Al respecto Hanisch *et al.* (2011) mencionan que el calcio contribuye al intercambio de cationes de 70 a 96 %. Con relación al magnesio se clasificó como alto en todos los tratamientos, excepto en T5 que se clasificó como medio, este nutriente está implicado en muchos procesos fisiológicos y bioquímicos, es esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas y tiene mecanismos de defensa ante situaciones de estrés abiótico; sin embargo, es muy móvil en los suelos y puede perderse por lixiviación (Senbayram *et al.*, 2015). Asimismo, contenidos pobres de magnesio se relacionan con los balances de nutrientes como calcio y potasio (Galindo, 2013). En tanto el sodio disminuyó en todos los tratamientos, se considera un elemento funcional en las plantas, estimula el crecimiento y se requiere para aumentar la biomasa siempre que exista una cantidad suficiente de potasio (Wakeel *et al.*, 2011).

5.3.5 Efecto de los tratamientos en las variables morfológicas

Considerando el desarrollo morfológico de las plantas, el T3 presentó los resultados más sobresalientes con relación a los demás tratamientos, así con respecto al segundo tratamiento con

valores elevados pero inferiores a T3; en altura, diámetro de tallo y volumen de raíz, superó con 19, 12 y 38 % a T1, asimismo tuvo 15 % más hojas que T4 (Cuadro 18).

Cuadro 18. Efecto los tratamientos en las variables morfológicas en plántulas de café.

Tratamiento	Altura de planta	Diámetro	Número de hojas	Peso seco total	Relación parte aérea-raíz	Volumen raíz
	cm	mm		g		cm ³
T1	24.3b	4.6b	9.0bc	6.6a	1.4b	7.0b
T2	18.2d	3.2c	8.0c	1.8b	3.1a	2.2c
T3	30.1a	5.2a	13.0a	7.5a	2.7a	11.2a
T4	21.3c	3.5c	11.0ab	2.7b	3.8a	3.4c
T5	20.6c	3.3c	7.0c	2.3b	3.0a	2.6c

T1 = tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación; T2 = tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %; T3 = tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación; T4 = tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %; T5 = testigo. Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$). n = 6.

Las plantas establecidas en T3 se caracterizaban por estar en tubetes de 1 L que aportaron mayor volumen para el crecimiento y desarrollo. Al respecto Gil y Díaz (2016) mencionan que plantas de café establecidas en bandeja plástica de mayor profundidad (21.8 cm) presentaron las mejores características. Asimismo, Gomes *et al.* (2015) encontraron las mejores plántulas de *Coffea arabica* en los contenedores de 1200 mL con relación a los de 750, 410 y 220 mL. También Arizaleta y Pire (2008) reportaron que bolsas más grandes (18 x 23 cm) presentan ventajas sobre las más pequeñas en el crecimiento de plantas de café.

Los resultados obtenidos en las plantas con el T3, garantizan que el sustrato aserrín - tezontle (3:1) y fertilización de lenta liberación fue favorable para la absorción de agua y nutrimentos e influyó positivamente en el crecimiento y desarrollo (Ortega-Martínez *et al.*, 2010). Cabe mencionar que Pineda *et al.* (2012) en el crecimiento y desarrollo del jitomate recomiendan el aserrín mezclado con el tezontle en proporciones 80:20 y 70:30 hasta por 24 meses, sin riesgo por variación de las características físicas y en este estudio se empleó la proporción 75:25, una proporción media de lo recomendado. El crecimiento favorable de las plantas se relaciona con el empleo del fertilizante

de lenta liberación, de acuerdo con Chemura (2014) el fertilizante inorgánico, permite que las plantas de café sean más altas.

5.3.6 Efecto de los tratamientos en el contenido de nutrientes en hojas de café

Se encontraron diferencias estadísticas en el contenido de nutrientes en la parte aérea de las plantas. De acuerdo con Jones *et al.* (1991) en los siguientes tratamientos se clasificaron como suficiente, el nitrógeno en T2, T4 y T5; el fósforo y magnesio en todos los tratamientos, excepto en T5; el potasio en todos los tratamientos y el calcio únicamente en T5. Aunque las plantas establecidas en bolsa de 1 L y con suelo donde se agregó fertilizante soluble (T5), presentaron mayores contenidos de nitrógeno y calcio que las plantas establecidas en los demás tratamientos, no superaron a los tratamientos que se encontraban en sustratos en fósforo y magnesio (Cuadro 19).

Cuadro 19. Efecto de los tratamientos en el contenido de nutrientes de hojas de café.

Tratamiento	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
			%		
T1	2.23b ¹	0.20b ⁴	2.45ab ⁵	0.67c ⁶	0.42a ¹⁰
T2	2.86a ²	0.32a ⁴	2.68a ⁵	1.94a ⁸	0.37b ¹⁰
T3	2.07b ¹	0.19b ⁴	2.07b ⁵	0.68bc ⁶	0.44a ¹⁰
T4	3.00a ²	0.28a ⁴	2.62a ⁵	2.07a ⁸	0.34b ¹⁰
T5	3.30a ²	0.09c ³	2.55a ⁵	0.89b ⁷	0.19c ⁹

T1 = tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación; T2 = tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %; T3 = tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilizante de lenta liberación; T4 = tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %; T5 = testigo. Jones *et al.* (1991): Nitrógeno = bajo¹; suficiente². Fósforo = sin clasificación³; suficiente⁴. Potasio = suficiente⁵. Calcio = bajo⁶; suficiente⁷; alto⁸. Magnesio = bajo⁹; suficiente¹⁰. Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$). n = 3.

El nitrógeno y el potasio son los principales nutrientes que favorecen el crecimiento y el desarrollo de las plantas de café, por lo tanto, el aumento de estos en la solución del suelo podría favorecer mayor absorción de nutrientes (Frois *et al.* 2015). Al ser el potasio el segundo nutriente más abundante en el tejido fotosintético de la planta, después del nitrógeno (Sardans y Peñuelas, 2015), contiene de 1 a 3 % en peso (Prajapati y Modi, 2012), favorece el incremento de la biomasa y el desarrollo del área foliar (Nunes *et al.*, 2015).

En el caso del fósforo, se acumula mayor cantidad en las hojas de café si hay mayor disponibilidad en el suelo (Pereira *et al.*, 2011), esta relación se observa en los sustratos de este estudio y del fósforo encontrado en las hojas de café. En T5 se presentó bajo contenido de fósforo, aunado a la deficiencia de este nutriente que presentó el suelo al inicio del trasplante, al respecto Cisneros *et al.* (2016) mencionan que los cultivos pueden tener problemas en la absorción de este elemento, debido a que en los suelos es poco disponible, además la disponibilidad depende de la mineralización de los compuestos orgánicos (De Oliveira *et al.*, 2013).

La baja concentración de magnesio en T5, ocasionó la inhibición de la fotosíntesis y disminución de la biomasa (Kobayashi y Tanoi, 2015), lo cual redujo la resistencia a enfermedades (Huber y Jones, 2012). La concentración adecuada de magnesio para el metabolismo del fosfato, respiración de la planta y activación de sistemas enzimáticos involucrados en el metabolismo energético, contribuyen en la obtención de plantas de calidad (García-Ávila *et al.*, 2015). Aunado a lo anterior Senbayram *et al.* (2015) mencionan que el 90 a 98 % del magnesio en el suelo se incorpora en la estructura de la red cristalina de minerales y por lo tanto no está disponible para la absorción de las plantas. Además, la disponibilidad de magnesio para las plantas depende de la humedad del suelo, del pH del suelo y la actividad microbiana.

5.4 Conclusiones

Los sustratos iniciaron y finalizaron con características físicas apropiadas para la propagación de plantas de café. En el aserrín - tezontle (3:1) con fertilizante de lenta liberación en tubete de 1 L, las plantas alcanzaron mayor altura, número de hojas, peso seco total y volumen de raíz con cantidades suficientes de fósforo, potasio y magnesio, que son la base de las características deseables para su adaptación y mayor éxito de sobrevivencia en campo después de su trasplante.

5.5 Literatura citada

- Anicua S. R., M. C. Gutiérrez C., P. Sánchez G., C. Ortiz S., V. H. Volke H. y J. E. Rubiños P. (2009)** Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura Técnica en México* 35 (2): 147-156.
- Anzalone A, M. Arizaleta y J. Vargas (2014)** Respuesta del cafeto (*Coffea arabica*) 'Catuaí' a los herbicidas Glifosato, Clomazone, Linuron, 2, 4-D, Metsulfuron-Metil, Rimsulfuron y Clorimuron-Etil. *Bioagro* 26 (1): 3-12.

- Arizaleta M. y R. Pire (2008)** Respuesta de plántulas de cafeto al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia* 42: 47-55.
- Barbaro L. A., S. C. Imhoff y D. E. Morisigue (2014)** Evaluación de sustratos formulados con corteza de pino, pinocha y turba subtropical. *CIENC. SUELO (ARGENTINA)* 32 (2): 149-158.
- Berrospe-Ochoa E. A., V. M. Ordaz-Chaparro, M. N. Rodríguez-Mendoza y R. Quintero-Lizaola (2012)** Cachaza como sustrato para la producción de plántula de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18 (1): 141-156.
- Bracho J., F. Pierre y A. Quiroz (2009)** Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado de Lara, Venezuela. *Bioagro* 21 (2): 117-124.
- Cabrera R. I. (1999)** Propiedades, usos y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5 (1): 5 – 11.
- Cardona W.A., L. G. Bautista-Montealegre, N. Flórez-Velasco y G. Fischer (2016)** Desarrollo de la biomasa y raíz en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. septentrionale) en respuesta al sombrío y anegamiento. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 10 (1): 53-65.
- Chemura A (2014)** The growth response of coffee (*Coffea arabica* L) plants to organic manure, inorganic fertilizers and integrated soil fertility management under different irrigation water supply levels. *Int J Recycl Org Waste Agricult.* 3: 59.
- Cisneros R. C. A., M. Sánchez de P., J. C. Menjivar F. (2016)** Influencia de microorganismos solubilizadores de fósforo del suelo y su absorción por plántulas de café. *Bioagro* 28 (2): 95-106.
- Cruz-Crespo E., A. Can-Chulim, M. Sandoval-Villa, R. Bugarín-Montoya, A. Robles-Bermúdez y P. Juárez-López (2013)** Sustratos en la agricultura. *Revista Bio Ciencias* 2 (2): 17 – 26.
- De Boodt M., O. Verdonck, and I. Cappaert (1974)** Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37: 2054-2062.
- De Oliveira-Rita J. C., A. C. Gama-Rodrigues, E. F. Gama-Rodrigues, F. Costa-Zaia, D. A. Duarte-Nunes (2013)** Mineralization of organic phosphorus in soil size fractions under different vegetation covers in the north of Río de Janeiro. *Revista Brasileira Ciência do Solo* 37: 1207-1215.
- Doncean A., R. Sumālan, and R. Sumālan (2013)** Influence of different types of compost son growth and chlorophyll content from tomato seedlings. *Journal of horticulture, Forestry and Biotechnology* 17 (4): 43-48.
- Frois de Andrade M. A., P. A. Ramos-Cairo and J. L. Santos (2015)** Water relations and photosynthesis of young coffee plants under two water regimes and different N and K doses. *Agrociencia* 49: 153-161.
- Galindo-Barrera H. G. (2013)** Definición de las tendencias de fertilidad en suelos cafeteros de Charalá, Coromoro y Ocamonte (Santander). *Ciencia y Agricultura* 10 (2): 67-72.

- Garbanzo-León G and M. Vargas-Gutiérrez (2014)** Determinación fisicoquímica de sustratos para producción de almácigos, Guanacastle, Costa Rica. *InterSedes* 15 (30): 151-168.
- García-Ávila C. J., A. M. Castillo-González, E. Avitia-García, M. T. B. Colinas-León, L. I. Trejo-Téllez, H. Vargas-Madriz (2015)** Magnesio y su relación con la calidad de *Lilium* cv. Casablanca*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6 (2): 265-276.
- Gil C. A. I. and L. J. Díaz M. (2016)** Evaluación de tipos de contenedores sobre el crecimiento radical de café (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 10 (1): 125-136.
- Gomes de Oliveira C. L. L. and E. Miglioranza (2015)** Quality levels of organic coffee seedlings in black and white nonwoven fabric (NWF) containers of various sizes. *African Journal of Agricultural Research* 10 (9): 886-894.
- Hernández-Zarate L., A. Aldrete, V. M. Ordaz-Chaparro, J. López-Upton, M. A. López-López (2014)** Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48: 627-637.
- Hidalgo L. P. R., M. Sindoni V. y J. R. Méndez N. (2009)** Importancia de la selección y manejo adecuado de sustratos en la producción de plantas frutales en vivero. *Revista UDO Agrícola* 9 (2): 282 – 288.
- Hoyos J. L., C. A. Vargas y R. J. Velasco (2010)** Evaluación de compost obtenido en pila móvil empleando mezclas de gallinaza de jaula con material celulósico. *Revista de Ciencias Agropecuarias* 8 (1): 54-60.
- Huber D. M. and J. F. Jones (2012)** The role of magnesium in plant disease. *Plant Soil*. DOI 10.1007/s11104-012-1476-0
- Iara S. J., H. Duarte V., A. Pio V., D. Guerra B. (2010)** Development of *Coffea canefora* Pierre ex A. Froehner transplants cultivated in different substrates and containers. *Coffee Science, Lavras* 5 (1): 38-48.
- Jakubus M. (2016)** Estimation of phosphorus bioavailability from composted organic wastes. *Chemical Speciation & Bioavailability* 28 (1-4): 189-198.
- Jones J. B., B. Wolf and H. A. Mills (1991)** Plant Analysis Handbook a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. United States of America. Micro-macro Publishing, Inc. 213 p.
- Kobayashi N. I. and K. Tanoi (2015)** Critical issues in the study of magnesium transport systems and magnesium deficiency symptoms in plants. *Int. J. Mol. Sci.* 16: 23076-23093.
- Landis T. D., R. W. Tinus, S. E. MacDonald and J. P. Barnett (1990)** Containers and growing media. Vol. 2. The container tree nursery manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 88 p.
- López-Clemente X. A., C. Robles-Pérez, V. A. Velasco-Velasco, J. Ruiz-Luna, J. R. Enríquez-del Valle y G. Rodríguez-Ortiz (2015)** Propiedades físicas, químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados. *CIENCIA ergo-sum* 22 (2): 145-152.
- Márquez H. C., P. Cano R. y N. Rodríguez D. (2008)** Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura Técnica en México* 34 (1): 69-74.

- Mateo-Sánchez J. J., R. Bonifacio-Vázquez, S. R. Pérez-Ríos, L. Mohedano-Caballero y J. Capulín-Grande (2011)** Producción de (*Cedrela odorata* L.), en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai* 7 (1): 123 – 132.
- Morales M. J. C., M. V. Fernández R., A. Montiel C., B. C. Peralta B. (2009)** Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *BIOtecnica* 11 (1): 19-26.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2000)** Norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>. (Febrero 2015).
- Nunes R. W., T. V. Colodetti, L. Deleon M., S. V. Batista B., M. A. Tomaz and J. F. Texeira do A. (2015)** Nutritional componentes of growth of Arabica coffee genotypes cultivated under different levels of phosphorus fertilization studied by path analysis. *Australian Journal of Crop Science* 9 (12): 1214-1220.
- Ortega-Martínez L. D., J. Sánchez-Olarte, R. Díaz-Ruíz, J. Ocampo-Mendoza (2010)** Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL). *Ra Ximhai* 6 (3): 365-372.
- Pereira R. T. H., P. T. Gontijo G., A. E. Furtini N., A. F. Guerra and N. Curi (2011)** Soil phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35 (2): 503-512.
- Pineda-Pineda J., F. Sánchez-Castillo, A. Ramírez-Arias, A. M. Castillo-González, L. A. Valdés-Aguilar, E. C. Moreno-Pérez (2012)** Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18 (1): 95-111.
- Prajapati K and H. A. Modi (2012)** The importance of potassium in plant growth- a review. *Indian Journal of Plant Sciences* 1 (02-03): 177-186.
- Prieto R. J. A., P. A. Domínguez C., E. H. Cornejo O., y J. J. Návar C. (2007)** Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Madera y Bosques* 13 (1): 79 – 97.
- Puerta A. C. E., T. Russián L. y C. A. Ruiz S. (2012)** Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (2): 298-306.
- Ramos-Hernández E., A. Sol-Sánchez, A. Guerrero-Peña, J. J. Obrador-Olán y E. Carrillo-Ávila (2011)** Efecto de *Arachis pintoi* sobre las arvenses asociadas al plátano macho (*Musa* AAB), Cárdenas, Tabasco, México. *Agronomía Mesoamericana* 22 (1): 51-62.
- Rodríguez M. R., E. G. Alcantar G., G. Iñiguez C., F. Zamora N., P. M. García L., M. A. Ruiz L. y E. Salcedo P. (2010)** Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *INTERCIENCIA* 35 (7): 515-520.

- Sadeghian K. S. y R. D. Zapata H. (2014)** Crecimiento de café (*Coffea arabica* L.) durante la etapa de almácigo en respuesta a la salinidad generada por fertilizantes. *Revista de Ciencias Agrícolas* 31 (2): 40-50.
- Sánchez-Córdova T, A. Aldrete, V. M. Cetina-Alcalá y J. López-Upton (2008)** Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques* 14 (2): 41-49.
- Sardans J. and J. Peñuelas (2015)** Potassium: a neglected nutrient in global change. *Global Ecology and Biogeography* 24: 261-275.
- Senbayram M., A. Gransee, V. Wahle and H. Thiel (2015)** Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant-soil continuum. *Crop & Pasture Science* 66: 1219-1229.
- Sharma S. B., R. Z. Sayyed, M. H. Trivedi and T. A. Gobi (2013)** Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer Plus* 2: 587
- Trejo-Téllez L. I., M. Ramírez-Martínez, F. C. Gómez-Merino, J. C. García-Albarado, G. A. Baca-Castillo y O. Tejada-Sartorius (2013)** Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 863-876.
- Urrestarazu-Gavilán M. (2004)** Tratado de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa. España. 914 p.
- Vargas-Canales J. M., A. M. Castillo-González, J. Pineda-Pineda, J. A. Ramírez-Arias y E. Avitia-García (2014)** Extracción nutrimental de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20 (1): 71-88.
- Vargas T. P., J. Z. Castellanos R., P. Sánchez G., L. Tijerina C., R. M. López R. y J. L. Ojodeagua A. (2008)** Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31 (4): 375-381.
- Vargas-Tapia P., J. Z. Castellanos-Lara, J. J. Muñoz-Ramos, P. Sánchez-García, L. Tijerina-Chávez, R. M. López-Romero, C. Martínez-Sánchez y J. L. Ojodeagua-Arredondo (2008)** Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México* 34 (3): 323 – 331.
- Vence L. B. (2008)** Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. *CI. SUELO (ARGENTINA)* 26 (2): 105-114.
- Wakeel A., M. Farooq, M. Qadir y S. Schubert (2011)** Potassium substitution by sodium in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 30: 401-413.

CAPÍTULO VI. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, CONTENIDO NUTRIMENTAL Y COMUNIDADES BACTERIANAS EN SUSTRATOS PARA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CAFÉ

RESUMEN

Se evaluaron las características físicas, químicas y cuantificación de la comunidad bacteriana en sustratos para producción de plántulas de café en fase de vivero. Se compararon tubetes de 1.0 y 0.5 L, mezclas de sustrato aserrín - tezontle (3:1) con fertilización de lenta liberación y compost, e inoculación de bacterias. Los tratamientos constaron de seis repeticiones en un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial incompleto. Se emplearon 10 plantas como unidad experimental. En los sustratos al finalizar el experimento, se evaluaron características físicas, químicas y unidades formadoras de colonia de bacterias totales y *Pseudomona putida*. Se registraron variables morfológicas y se analizó el contenido nutrimental de las hojas. La porosidad total de los sustratos fue adecuada con valores mayores a 70 %; la porosidad de aireación (20 - 30 %) se clasificó como ideal en los tratamientos con aserrín-tezontle con fertilizante de lenta liberación y aserrín-tezontle con compost (sin inoculación de *Pseudomona putida*) en tubete de 1 L y la porosidad de retención de humedad fue suficiente, excepto en el aserrín-tezontle con fertilizante de lenta liberación en tubete de 0.5 L que fue inferior a 40 %. Los tratamientos presentaron conductividad eléctrica adecuada, cantidades suficientes en nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, a excepción del calcio en los tratamientos de aserrín-tezontle con fertilizante de lenta liberación. Todos los tratamientos presentaron bacterias y la *Pseudomona putida* fue mayor (> 20 667 unidades formadoras de colonia) en los tratamientos inoculados y establecido en tubetes de 1 L. El tratamiento aserrín-tezontle con fertilizante de lenta liberación en tubete de 1 L con altura, diámetro, número de hojas, volumen de raíz y peso de raíz de 29.9 cm, 5.1 mm, 12 hojas 11.80 cm³ y 4.76 g, respectivamente, presentó la mejor respuesta. La absorción de fósforo, potasio, magnesio y zinc se clasificó como suficiente en todos los tratamientos y el manganeso fue suficiente únicamente en los tratamientos de aserrín-tezontle con fertilizante de lenta liberación.

Palabras clave: tubete, aserrín-tezontle, fertilizante de lenta liberación, compost, *Pseudomona putida*, unidades formadoras de colonia.

CHAPTER VI. PHYSICAL CHARACTERISTICS, NUTRIENT CONTENT, AND BACTERIAL COMMUNITIES IN SUBSTRATES FOR COFFEE SEEDLING PRODUCTION

ABSTRACT

The physical and chemical characteristics were evaluated and the bacterial community was quantified in substrates for coffee seedling production in the nursery stage. The following were compared: 1.0 and 0.5 L tubes; sawdust-tezontle (3:1) substrate mixes with slow-release fertilization and compost; and bacterial inoculation. The treatments consisted of six replicates in a completely randomized experimental design with an incomplete factorial arrangement. The experimental unit was made up of 10 plants. At the end of the experiment, the substrates were evaluated for physical and chemical characteristics as well as total bacteria colony forming units and *Pseudomonas putida*. Morphological variables were registered and the nutrient content of the leaves was analyzed. The total porosity of the substrates was adequate, with values above 70%; airing porosity (20-30%) was classified as ideal in the sawdust-tezontle with slow-release fertilizer and sawdust-tezontle with compost (without *Pseudomonas putida* inoculation) treatments in 1 L tubes. Water retention porosity was sufficient, with the exception of sawdust-tezontle with slow-release fertilizer in 0.5 L tubes, where it was under 40%. The treatments showed adequate electrical conductivity, sufficient amounts of nitrogen, phosphorus, potassium, and magnesium, but not so calcium in the sawdust-tezontle with slow-release fertilizer treatments. All the treatments showed bacteria, and *Pseudomonas putida* was most abundant (> 20 667 colony forming units) in the inoculated treatments in 1 L tubes. The sawdust-tezontle with slow-release treatment in 1 L tubes had the best response in plant height, diameter, number of leaves, root volume, and root weight at 29.9 cm, 5.1 mm, 12 leaves, 11.80 cm³, and 4.76 g, respectively. The absorption of phosphorus, potassium, magnesium, and zinc was classified as sufficient in all the treatments while manganese was sufficient only in the sawdust-tezontle with slow-release fertilizer treatments.

Key words: tube, sawdust-tezontle, slow-release fertilizer, compost, *Pseudomonas putida*, colony forming units.

6.1 Introducción

El cultivo sin suelo requiere de un medio o sustrato poroso para proveer de agua y nutrientes a las plantas (Barrett *et al.*, 2016). Las propiedades físicas son las más relevantes, un sustrato ideal debe presentar un espacio poroso total, capacidad de aireación, agua fácilmente disponible y agua de reserva de 85, 20-30, 20-30 y 4-10 %, respectivamente (Urrestarazu-Gavilán, 2004). Las propiedades químicas caracterizan la transferencia de materiales entre el sustrato y la solución del suelo (Trejo-Téllez *et al.*, 2013) y su ventaja es que pueden ser corregidas durante el crecimiento del cultivo, si son inadecuadas (Cabrera, 1999).

El empleo de inoculantes microbianos es una alternativa viable para nutrir los cultivos (Reyes-Ramírez *et al.*, 2014). Entre ellos, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*, pueden reducir el uso de los fertilizantes químicos, debido a sus mecanismos de acción, tales como producción de ácidos orgánicos, quelatación de elementos responsables de la insolubilidad de los fosfatos y asimilación de fosfatos insolubles (Restrepo-Franco *et al.*, 2015). Por consecuencia aumentan el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos (Raposo y Santos, 2011). Por lo anterior, este estudio tuvo como objetivo evaluar las características físicas, químicas y cuantificación de la comunidad bacteriana en sustratos para producción de plántulas de café en fase de vivero.

6.2 Materiales y métodos

6.2.1 Localización del experimento

La fase experimental se realizó en un vivero de la localidad de Zacamitla, municipio de Ixhuatlán del Café, Veracruz, México, que se ubica entre 19°03'05'' N y 96°58'16'' W, y una altitud de 1180 m.

6.2.1 Establecimiento del semillero

Se establecieron semilleros con una mezcla esterilizada de peat moss y tezontle en relación 1:1, donde se sembró semillas de *C. canephora* P. var. Robusta y un mes después *Coffea arabica* L. var. Colombia. A los tres y dos meses después de la siembra *C. canephora* en la fase mariposa (hojas cotiledonales) se injerto sobre *C. arabica* en fase de soldadito, respectivamente.

6.2.2 Material vegetal

El material vegetal utilizado en la fase experimental fueron plántulas (10-12 cm de altura) de *Coffea arabica* L. var. Colombia injertadas en *Coffea canephora* P. var. Robusta que fueron trasplantadas a los contenedores, acorde al tratamiento correspondiente. Las plántulas en evaluación fueron según las características detalladas en el punto 5.2.2.

6.2.3 Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos (Cuadro 20) se distribuyeron en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 x 2 (2 tamaño de tubetes x 2 sustratos x 2 dosis de bacterias). La unidad fue de 10 plántulas injertadas con seis repeticiones.

Cuadro 20. Tratamientos (combinación de los factores) aplicados a plántulas de café.

Descripción de tratamientos
T1 Tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilización de lenta liberación (7 g L ⁻¹)*
T2 Tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilización de lenta liberación (7 g L ⁻¹) + bacteria
T3 Tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %
T4 Tubete 0.5 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 % + bacteria
T5 Tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilización de lenta liberación (7 g L ⁻¹)
T6 Tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) + fertilización de lenta liberación (7 g L ⁻¹) + bacteria
T7 Tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %
T8 Tubete 1 L con aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 % + bacteria

*Multicote[®] 50 % - liberación 4 meses (18-6-12 + ME) y 50 % - liberación 8 meses (18-6-12+2MgO + ME).

6.2.4 Establecimiento de los tratamientos

Las mezclas y proporciones de los sustratos se detallaron en el punto 5.2.3. La bacteria *Pseudomona putida*, fue proporcionada por el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad Veracruzana en Xalapa, Veracruz; la cual, se propagó en medio de cultivo líquido hasta obtener una concentración de 10⁷ unidades formadoras de colonias (UFC) y se aplicaron 10 mL a cada plántula, después de tres meses del trasplante (Figura 6).



Figura 6. *Pseudomonas putida* en medio líquido (A) y aplicación a plántulas de café (B).

6.2.5 Caracterización de las propiedades físicas y químicas de los sustratos

Al finalizar la evaluación en vivero, se determinaron las características físicas de los sustratos: porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de agua (porosidad de retención de humedad), con el procedimiento descrito por Landis *et al.* (1990) y las propiedades químicas como se indicó en el punto 5.2.5.

6.2.6 Conteo de bacterias

A los 4.5 meses (135 días) después de la inoculación de *Pseudomonas putida*, se tomaron 10 g de sustrato para evaluar la población de bacterias totales en medio agar nutritivo que contenía 5, 2 y 12 g L⁻¹ de peptona, extracto de carne y agar-agar, respectivamente y la *Pseudomonas putida* en medio agar para *Pseudomonas* compuesto de 10, 10, 1.5, 1.5 y 12 g L⁻¹ de peptona de caseína, peptona de carne, sulfato de magnesio, hidrogenofosfato de dipotasio y agar-agar, respectivamente. Las primeras se contabilizaron visualmente, la segunda se observó en un equipo de luz UV Labnet U1002-230V y se registraron las bacterias fluorescentes, después de 24 y 48 horas después de la siembra.

6.2.7 Variables morfológicas evaluadas

Altura de plantas, se midió en centímetros desde la base del tallo hasta la yema terminal; el diámetro del tallo se tomó en el cuello de la raíz de cada plántula; se contó el número de hojas verdaderas presentes en toda la planta; se determinó el volumen de raíz con base en el principio de

Arquímedes (Córdoba-Rodríguez *et al.*, 2011) y el peso seco de la raíz se obtuvo después de su secado a 70°C hasta peso constante.

6.2.8 Análisis nutrimental

El análisis nutrimental se realizó en las hojas de 10 plantas por cada repetición, con tres réplicas por tratamiento, se lavaron con agua destilada y se secaron a 70°C hasta peso constante. Se determinó nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio y magnesio con el procedimiento detallado en el punto 5.2.7. Además, el hierro, el manganeso y el zinc se determinaron por digestión húmeda en ácidos perclórico y nítrico y la cuantificación se realizó por absorción atómica VARIAN 220.

6.2.9 Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó con ayuda del programa SAS para determinar el análisis de varianza y comparación de medias con intervalos de confianza al 95%.

6.3 Resultados y discusión

6.3.1 Características físicas de sustratos para la propagación de plántulas de café

La porosidad total resultó estadísticamente similar en todos los tratamientos (Cuadro 21); al respecto Puerta *et al.* (2012) reportan resultados superiores al 70 %, similares a los obtenidos en estos sustratos. Aunque la aplicación de compost en las mezclas puede afectar la porosidad, esta respuesta se observó únicamente en dos de los tratamientos que contenían compost (T3 y T4), al respecto Ribeiro *et al.* (2007) indican que con el incremento de compost obtuvieron disminución de la porosidad total. En nuestro trabajo, sin embargo, no se presentaron alteraciones y se mantuvieron los rangos adecuados según Cabrera, (1999).

La aplicación de las bacterias *Pseudomona putida* no modificó la porosidad total debido a que no se observaron variaciones entre los resultados obtenidos con o sin la aplicación de bacterias.

Cuadro 21. Características físicas (media \pm desviación estándar) de sustratos para propagación de plántulas de café.

Tratamiento	Porosidad total	Porosidad de aireación	Porosidad de retención de humedad
	%		
T1	81 \pm 3a	40 \pm 7a	41 \pm 6c
T2	75 \pm 4a	35 \pm 8a	40 \pm 8c
T3	74 \pm 5a	32 \pm 4ab	43 \pm 5bc
T4	74 \pm 8a	33 \pm 7ab	45 \pm 4bc
T5	80 \pm 2a	20 \pm 5b	60 \pm 6a
T6	83 \pm 3a	27 \pm 8ab	56 \pm 7ab
T7	78 \pm 2a	21 \pm 7b	55 \pm 7ab
T8	81 \pm 7a	31 \pm 4b	50 \pm 9abc

A - T = aserrín - tezontle; T1 = tubete 0.5 L, A - T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T2 (+ bacteria); T3 = tubete 0.5 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T4 (+ bacteria); T5 = tubete 1 L, A-T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T6 (+ bacteria); T7 = tubete 1 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T8 (+ bacteria). Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$). n = 3.

En la porosidad de aireación sobresalieron los tratamientos T1 y T2 con 40 y 35 % respectivamente, estos tratamientos se encontraban en tubetes de 0.5 L con el sustrato aserrín-tezontle; no obstante, los sustratos que presentaron entre 20 y 30 % de porosidad total se consideran como ideales (Urrestarazu-Gavilán, 2004), destacaron T5, T6 y T7. En relación con la porosidad de retención de humedad sobresalió el tratamiento T5 con 60 % y fue seguido por el tratamiento T6, los cuales se encontraban en tubetes de 1 L con aserrín-tezontle, esta respuesta de aumento de la porosidad de retención de humedad puede relacionarse con el reacomodo de partículas finas disminuyendo la porosidad de aireación. En el medio de cultivo es favorable mantener y proporcionar agua y aire para el crecimiento y calidad del cultivo (Di Benedetto, 2007), así materiales con capacidad de retención de agua mayor a 40 %, se han catalogado como suficiente (Lodolini *et al.*, 2017), lo cual se refleja en los resultados de este estudio con excepción de T2 que presentó un valor inferior. La concentración de bacterias inoculada en los sustratos no modificó la porosidad de aireación y la porosidad de retención de humedad.

6.3.2 Contenido nutrimental en sustrato para la propagación de plántulas de café

Los tratamientos que contenían compost (T3, T4, T7 y T8), presentaron un pH neutro de 6.8 a 7.0, no así los demás tratamientos que presentaron pH ácido (NOM-021, 2000); la conductividad eléctrica también fue superior en los tratamientos señalados con valores entre 0.7 y 1.2 dS m⁻¹; no obstante, se mantienen en el intervalo aceptable para el cultivo de las plantas (Gayosso *et al.*, 2016) y adecuados con base a los reportes de Quintero *et al.* (2016), asimismo el carbono fue superior a 17 % y el nitrógeno mayor a 1 %, en los tratamientos con compost; sin embargo, el nitrógeno fue suficiente en todos los tratamientos, con los porcentajes obtenidos se clasificaron de medio a alto. La tendencia en la mayoría de los tratamientos fue un incremento ligero cuando se aplicó *Pseudomona putida* con excepción del pH en T6, la conductividad eléctrica en T4 y T8, y el nitrógeno en T2 (Cuadro 22). Al respecto, Rivera-Cruz *et al.* (2011) mencionan que los contenidos de carbono, nitrógeno total, fósforo y potasio pueden aumentar con la aplicación de biofertilizante con estiércol de aves y consorcio de bacterias. La concentración de carbono es un parámetro para verificar la evolución en las compostas y disminuye con el tiempo (López-Clemente *et al.*, 2015).

Cuadro 22. Contenido de nutrientes (media ± desviación estándar) de sustratos para propagación de plántulas de café.

Tratamiento	pH	Conductividad eléctrica	Carbono	Nitrógeno	Relación C/N
		dS m ⁻¹		%	
T1	5.7 ± 0.04	0.5 ± 0.0	10.9 ± 1.3	0.10 ± 0.00	115 ± 11
T2	6.0 ± 0.03	0.6 ± 0.1	7.4 ± 0.5	0.12 ± 0.01	64 ± 6
T3	7.0 ± 0.02	1.0 ± 0.1	17.2 ± 1.8	1.03 ± 0.01	17 ± 2
T4	7.0 ± 0.01	0.7 ± 0.0	18.4 ± 0.4	1.19 ± 0.01	16 ± 0
T5	5.7 ± 0.03	0.5 ± 0.0	7.6 ± 1.4	0.12 ± 0.00	66 ± 13
T6	5.7 ± 0.05	0.6 ± 0.0	9.0 ± 0.4	0.16 ± 0.01	55 ± 8
T7	6.8 ± 0.03	1.3 ± 0.1	18.9 ± 1.5	1.12 ± 0.01	17 ± 1
T8	7.0 ± 0.01	0.9 ± 0.0	20.2 ± 0.4	1.26 ± 0.01	16 ± 1

A - T = aserrín - tezontle; T1 = tubete 0.5 L, A - T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T2 (+ bacteria); T3 = tubete 0.5 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T4 (+ bacteria); T5 = tubete 1 L, A-T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T6 (+ bacteria); T7 = tubete 1 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T8 (+ bacteria). Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$). n = 5.

La relación carbono – nitrógeno disminuyó ligeramente en los tratamientos que fueron inoculados con *Pseudomona putida*, debido a que los microorganismos requieren el carbono como fuente de energía, aproximadamente 30 partes de carbono por una de nitrógeno (Uribe *et al.*, 2001). Además se pierde carbono en forma de CO₂ durante la mineralización de la materia orgánica y aumenta el contenido de nitrógeno (López-Clemente *et al.*, 2015); en procesos de compostaje Tortarolo *et al.* (2008) y Camacho *et al.* (2014) obtuvieron una relación carbono-nitrógeno menor cuando se inoculó el sustrato con microorganismos.

El contenido de fósforo, magnesio y calcio fueron superiores en los tratamientos que contenían compost (T3, T4, T7 y T8); sin embargo, tanto el fósforo como el magnesio en todos los tratamientos presentaron altos contenidos de estos nutrientes y el calcio únicamente en los tratamientos que contenían compost debido a que en los demás tratamientos se clasificaron como baja y muy baja (NOM-021, 2000). De acuerdo con la norma mencionada, el potasio en los tratamientos se clasificó de medio a alto (Cuadro 23).

Cuadro 23. Contenido de nutrientes (media \pm desviación estándar) de sustratos para propagación de plántulas de café.

Tratamiento	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
	mg kg ⁻¹ de suelo		cmol (+) kg ⁻¹	
T1	194 \pm 3.2	0.5 \pm 0.01	2.0 \pm 0.1	3.3 \pm 0.1
T2	201 \pm 4.5	0.6 \pm 0.02	2.7 \pm 0.3	3.2 \pm 0.2
T3	3 837 \pm 0.0	1.1 \pm 0.02	32.1 \pm 0.1	8.1 \pm 0.2
T4	3 348 \pm 59.5	0.6 \pm 0.13	38.3 \pm 0.6	7.6 \pm 0.7
T5	253 \pm 3.2	0.4 \pm 0.02	1.7 \pm 0.1	3.5 \pm 0.1
T6	257 \pm 3.0	0.7 \pm 0.03	2.0 \pm 0.0	3.5 \pm 0.1
T7	4 419 \pm 0.0	0.7 \pm 0.03	34.2 \pm 0.2	10.1 \pm 0.3
T8	6 065 \pm 0.0	0.7 \pm 0.14	39.1 \pm 0.3	9.0 \pm 0.6

A – T = aserrín – tezontle; T1 = tubete 0.5 L, A - T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T2 (+ bacteria); T3 = tubete 0.5 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T4 (+ bacteria); T5 = tubete 1 L, A-T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T6 (+ bacteria); T7 = tubete 1 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T8 (+ bacteria). Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey α = 0.05). n = 5.

El nitrógeno y el potasio son los nutrientes más requeridos en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café (Frois de Andrade *et al.*, 2015), asimismo, el fósforo es un nutriente importante en las primeras fases de desarrollo del café, al mejorar y aumentar el sistema de raíces (Cisneros-Rojas *et al.*, 2017).

6.3.3 Comunidades bacterianas en sustratos para la propagación de plántulas de café

La cantidad de bacterias totales no difirieron estadísticamente en los tratamientos evaluados (Cuadro 24), lo que indica que en los materiales de aserrín-tezontle y compost que conformaron los sustratos, están presentes los microorganismos en forma natural. Al respecto Lennox *et al.* (2010) aislaron bacterias del aserrín húmedo en descomposición con alta capacidad para degradar este material, entre ellos: *Cellulomonas* sp., *Micrococcus* sp. y *Pseudomonas* sp. Asimismo (Félix-Herrán *et al.*, 2010) señalan que en las compostas encontraron mayor abundancia de bacterias que hongos, sobresaliendo el crecimiento a pH ácido comparado con el neutro, tal como señala Castrillón *et al.* (2006) que el pH más influyente para el crecimiento de bacterias fue de 5. Cabe señalar que a pH de 5.6, los microorganismos y sus enzimas son activas y las bacterias requieren de exudados de las plantas como nutrientes, ya que no son capaces de usar la materia orgánica como fuente de energía (Calvo *et al.*, 2008).

En todos los tratamientos se encontró la presencia de *Pseudomona putida*, lo que indica la existencia de estas bacterias en los sustratos utilizados; sin embargo, fue superior en los tratamientos T6 y T8 con valores mayores a 20 000 UFC, lo que refleja el aumento de estas bacterias, en los tratamientos inoculados y cuando existía mayor volumen de sustrato. Calvo *et al.* (2008) mencionan que una mayor población de microorganismos no equivale a una mayor diversidad, en ocasiones predomina una especie sobre otra por la competencia entre géneros y especie por un ambiente como la rizósfera.

Cuadro 24. Comunidades bacterianas (media \pm desviación estándar) en sustrato para propagación de plántulas de café.

Tratamiento	Bacterias totales	<i>Pseudomona putida</i>
	Unidades formadoras de colonia (UFC)	
T1	213 333 \pm 132 791a	3 000 \pm 1 000c
T2	133 333 \pm 76 376a	17 667 \pm 3 215ab
T3	196 667 \pm 111 505a	6 000 \pm 1 732c
T4	220 000 \pm 65 574a	17 333 \pm 4 041ab
T5	233 333 \pm 47 258a	6 333 \pm 1 528c
T6	70 000 \pm 34 641a	20 667 \pm 2 309a
T7	103 333 \pm 37 859a	8 333 \pm 4 163bc
T8	153 333 \pm 5 774a	26 667 \pm 5 859a

A - T = aserrín - tezontle; T1 = tubete 0.5 L, A - T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T2 (+ bacteria); T3 = tubete 0.5 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T4 (+ bacteria); T5 = tubete 1 L, A-T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T6 (+ bacteria); T7 = tubete 1 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T8 (+ bacteria). Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$). n = 3.

6.3.4 Variables morfológicas en plántulas de café en vivero

En relación al desarrollo que presentaron las plantas referentes a la altura, al diámetro de tallo, al número de hojas, al volumen y al peso de raíz, el tratamiento T6 obtuvo la mejor respuesta con relación a los demás tratamientos, presentó los valores de 29.9 cm, 5.1 mm, 12 hojas, 11.8 cm³ y 2.3 g, respectivamente, (Cuadro 25), esto permite asegurar que las plantas de café incrementan su desarrollo cuando el tamaño de los tubetes es mayor y como consecuencia el volumen de sustrato. Otros autores han demostrado que los contenedores de mayor capacidad influyen en el aumento de diferentes variables en especies como *Pinus ponderosa* (Pinto *et al.*, 2011); *Coffea arabica* (Gomes de Oliveira *et al.*, 2015); *Solanum lycopersicum* (Bouzo and Favaro, 2015) y *Prosopis alba* (Salto *et al.*, 2016). El sustrato aserrín - tezontle (3:1) y fertilización de lenta liberación también influyó favorablemente en los resultados obtenidos en el T6, asimismo la aplicación de *Pseudomona putida* generó una respuesta positiva en el diámetro de tallo, en el volumen de raíz y el peso de raíz seca, al respecto Zulueta-Rodríguez *et al.* (2014) mencionan que esta bacteria es capaz de promover el crecimiento de las plantas, entre ellos el desarrollo del sistema radicular (Patten y Glick, 2002).

Cuadro 25. Variables morfológicas (media \pm desviación estándar) en los tratamientos para propagación de plántulas de café.

Tratamiento	Altura de planta	Diámetro	Número de hojas	Volumen de raíz	Peso raíz seca
	cm	mm		cm ³	g
T1	22.6 \pm 3.2b	4.0 \pm 0.8bc	5 \pm 2cd	5.9 \pm 2.7cd	1.4 \pm 0.7b
T2	27.0 \pm 2.6a	4.1 \pm 0.6bc	7 \pm 2bc	7.8 \pm 3.0bc	1.5 \pm 0.5b
T3	17.4 \pm 3.3c	2.7 \pm 0.6e	4 \pm 2d	1.9 \pm 1.0f	0.4 \pm 0.3d
T4	20.5 \pm 2.9b	3.3 \pm 0.5d	6 \pm 2bc	3.5 \pm 1.9e	0.7 \pm 0.4c
T5	28.6 \pm 2.6a	4.5 \pm 0.6ab	12 \pm 3a	8.2 \pm 2.8b	1.7 \pm 0.6b
T6	29.9 \pm 3.2a	5.1 \pm 0.6a	12 \pm 3a	11.8 \pm 3.6a	2.3 \pm 0.7a
T7	22.4 \pm 3.9b	3.3 \pm 0.7d	8 \pm 2b	3.7 \pm 1.4e	0.7 \pm 0.3c
T8	22.6 \pm 2.1b	3.5 \pm 0.5cd	8 \pm 2b	4.2 \pm 1.3de	0.9 \pm 0.3c

A - T = aserrín - tezontle; T1 = tubete 0.5 L, A - T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T2 (+ bacteria); T3 = tubete 0.5 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T4 (+ bacteria); T5 = tubete 1 L, A-T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T6 (+ bacteria); T7 = tubete 1 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T8 (+ bacteria). Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$). n = 6.

6.3.5 Contenido de macronutrientes y micronutrientes en hojas de café producidas en vivero

El contenido de macronutrientes en hojas de plántulas de café tuvo una tendencia similar entre tratamientos (Cuadro 26); no obstante, se encontraron diferencias estadísticas en los tratamientos T3 (potasio y calcio), T4 (nitrógeno, fósforo y calcio); T5 y T6 (magnesio); T7 (nitrógeno, potasio y calcio) y T8 (nitrógeno y calcio). Las concentraciones sobresalieron en la mayoría de las plantas establecidas en tratamientos que contenían compost, con excepción del magnesio; el nitrógeno entre 2.5 y 3.5 % fue suficiente (Jones *et al.*, 1991) en los tratamientos T3, T4, T7 y T8; en cuanto al fósforo, potasio y magnesio, las plantas en todos los tratamientos absorbieron suficiente cantidad de estos elementos y en calcio fue alto para T3, T4, T7 y T8; no obstante, los demás tratamientos se clasificaron con bajos contenidos de este elemento (Jones *et al.*, 1991), lo que se relaciona con bajas cantidades registradas en el sustrato que fueron menores a 2.68 cmol (+) kg⁻¹ de calcio. Salamanca-Jiménez *et al.* (2017) reportan contenidos de macronutrientes similares al del presente estudio. La absorción de fósforo en este estudio fue mayor al reporte de Aguirre-Medina *et al.* (2011) al encontrar en plántulas de *Coffea arabica* de siete meses porcentajes entre 0.12 y 0.14 %

y en nitrógeno entre 2.0 y 2.5 %, donde las plantas inoculadas con bacterias o micorrizas y sus respectivas combinaciones superaron al testigo. Aunque la cantidad de nutrientes extraídas por las plantas incrementan con la inoculación de microorganismos (Castro *et al.*, 2015), esta tendencia no se refleja claramente en los resultados de este estudio, aun cuando las *Pseudomonas* spp., influyen en la disponibilidad de nutrientes y en el crecimiento vegetal (Cano, 2011), por lo que el éxito de los inoculantes bacterianos depende de las cepas elegidas, su capacidad de colonizar la rizosfera y de mantener la actividad biológica (Restrepo-Franco *et al.*, 2015).

Cuadro 26. Contenido de macronutrientes (media \pm desviación estándar) en hojas de plantas de café producidas en vivero.

Tratamiento	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
			%		
T1	2.24 \pm 0.17c	0.20 \pm 0.00c	2.45 \pm 0.19ab	0.67 \pm 0.07b	0.42 \pm 0.03ab
T2	2.47 \pm 0.15bc	0.22 \pm 0.01c	2.31 \pm 0.13ab	0.72 \pm 0.06b	0.45 \pm 0.03a
T3	2.86 \pm 0.15ab	0.32 \pm 0.03ab	2.68 \pm 0.19a	1.94 \pm 0.13a	0.37 \pm 0.02bc
T4	3.36 \pm 0.12a	0.34 \pm 0.03a	2.16 \pm 0.14b	1.98 \pm 0.26a	0.42 \pm 0.01ab
T5	2.07 \pm 0.06c	0.19 \pm 0.01c	2.07 \pm 0.17b	0.68 \pm 0.03b	0.44 \pm 0.01a
T6	2.17 \pm 0.19c	0.21 \pm 0.01c	2.16 \pm 0.13b	0.60 \pm 0.02b	0.44 \pm 0.02a
T7	3.00 \pm 0.28a	0.28 \pm 0.02b	2.62 \pm 0.13a	2.07 \pm 0.06a	0.34 \pm 0.01c
T8	3.17 \pm 0.27a	0.29 \pm 0.01b	2.32 \pm 0.07ab	2.02 \pm 0.16a	0.34 \pm 0.00c

A - T = aserrín - tezontle; T1 = tubete 0.5 L, A - T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T2 (+ bacteria); T3 = tubete 0.5 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T4 (+ bacteria); T5 = tubete 1 L, A-T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T6 (+ bacteria); T7 = tubete 1 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T8 (+ bacteria). Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$). n = 3.

Las plantas de café con mayor y suficiente absorción de hierro se encontraban en tubetes de 0.5 L y con cualquiera de las mezclas de sustratos presentando valores entre 117 a 159 ppm; de las plantas establecidas en tubetes de 1 L, únicamente T6 alcanzó el intervalo mencionado (Cuadro 27), por lo tanto, este último fue favorecido por la inoculación de bacterias ya que fue el segundo en presentar las cantidades más elevada de UFC (20 667) en *Pseudomona putida*. De acuerdo con Jones *et al.* (1991), estos tratamientos tuvieron suficiente cantidad de hierro, que va de 90 a 300 ppm.

Cuadro 27. Contenido de micronutrientes (media \pm desviación estándar) en hojas de café.

Combinación	Hierro	Manganeso	Zinc
		ppm	
T1	148.2 \pm 7.32ab	90.0 \pm 6.08a	18.6 \pm 1.53ab
T2	117.5 \pm 1.73ab	100.0 \pm 4.36a	20.3 \pm 0.58ab
T3	134.2 \pm 38.35ab	48.0 \pm 2.65b	23.3 \pm 4.51a
T4	159.8 \pm 48.44a	40.6 \pm 3.21b	19.6 \pm 3.79ab
T5	83.5 \pm 12.44b	88.3 \pm 6.35a	15.0 \pm 2.83b
T6	118.7 \pm 38.83ab	90.3 \pm 12.10a	16.0 \pm 2.65ab
T7	83.0 \pm 8.35b	37.3 \pm 2.52b	16.0 \pm 0.00ab
T8	75.7 \pm 16.40b	32.0 \pm 1.00b	16.3 \pm 0.58ab

A - T = aserrín - tezontle; T1 = tubete 0.5 L, A - T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T2 (+ bacteria); T3 = tubete 0.5 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T4 (+ bacteria); T5 = tubete 1 L, A-T (3:1) + fertilización de lenta liberación y T6 (+ bacteria); T7 = tubete 1 L, A-T (3:1) 25 % + compost 75 % y T8 (+ bacteria). Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$). n = 3.

Según Jones *et al.* (1991) el contenido de manganeso es suficiente en un intervalo de 50 a 300 ppm y las plantas establecidas en los tratamientos T1, T2, T5 y T6 que se encontraban tanto en los tubetes de 0.5 como de 1 L con el sustrato aserrín-tezontle y fertilizante de lenta liberación, entraron en esta categoría, lo que indica que este nutriente estaba disponible para las plantas y se elevó ligeramente cuando se encontraban presentes las bacterias, aunque no se detectaron diferencias estadísticas entre ellos. Cabe señalar que el manganeso es un elemento esencial para las plantas que interviene en la fotosíntesis y como cofactor antioxidante enzimático; sin embargo, en exceso es tóxico para las plantas (Millaleo *et al.*, 2010).

En el contenido de zinc se encontraron diferencias estadísticas siendo T3 el tratamiento que alcanzó más de 23 ppm de este nutriente; no obstante, todas las plantas establecidas en tubetes de 0.5 L presentaron cantidades ligeramente superiores a las establecidas en tubetes de 1 L y de acuerdo con Jones *et al.* (1991) en todos los tratamientos este nutriente fue suficiente, cuyo intervalo va de 15 a 200 ppm. Este micronutriente es esencial para el crecimiento óptimo de la planta, cuando se aplica al suelo una cantidad sustancial se convierte en forma no disponible, por lo tanto, las bacterias solubilizantes de zinc contribuyen a la liberación de este elemento (Kumar *et al.*, 2013); sin embargo, en este estudio no se refleja el efecto por la bacteria aplicada.

6.4 Conclusiones

La producción de plántulas de café en vivero es favorecida positivamente al ser propagadas en sustrato de aserrín-tezontle con fertilizante de lenta liberación en tubete de 1 L e inoculado con *Pseudomona putida*. La utilización de sustrato a base de aserrín-tezontle ofrece mejor porosidad total, porosidad de aireación, porosidad de retención de humedad, contenido nutrimental para el crecimiento y desarrollo de las plántulas de *Coffea arabica* var. Colombia injertada en *Coffea canephora*.

6.5 Literatura citada

- Aguirre-Medina J. F., D. M. Moroyoqui-Ovilla, A. Mendoza-López, J. Cadena-Iñiguez, C. H. Avendaño-Arrazate y J. F. Aguirre-Cadena (2011)** Hongo endomicorrízico y bacteria fijadora de nitrógeno inoculadas a *Coffea arabica* en vivero. *Agronomía Mesoamericana* 22 (1): 71-80.
- Barrett G. E., P. D. Alexander, J. S. Robinson and N. C. Bragg (2016)** Achieving environmentally sustainable media for soilless plant cultivation system – A review. *Scientia Horticulturae* 212: 220-234.
- Bouzo C. A. and J. C. Favaro (2015)** Container size effect on the plant production and precocity in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 21 (2): 325-332.
- Cabrera R. I. (1999)** Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5 (1): 5-11.
- Calvo V. P., L. R. Meneses y D. Zuñiga D. (2008)** Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en zonas Altoandinas. *Ecología Aplicada* 7 (1, 2): 141-148.
- Camacho A. D., L. Martínez, H. Ramírez S., R. Valenzuela y M. Valdés (2014)** Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. *Terra Latinoamericana* 32 (4): 291-300.
- Cano M. A. (2011)** Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Revista U. D. C. A. Actualidad & Divulgación Científica* 14 (2): 15-31.
- Castrillón Q. O., O. Bedoya M. y D. V. Montoya M. (2006)** Efecto del sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. *Producción + Limpia* 1 (2): 87-98.
- Castro B. L., M. Murillo R., L. Uribe L. y R. Mata C. (2015)** Inoculación al suelo con *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum oryzae*, *Bacillus subtilis* y microorganismos de

- montaña (MM) y su efecto sobre un sistema de rotación soya-tomate bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense* 39 (3): 21-36.
- Cisneros-Rojas C. A., M. Sánchez-de Prager y J. C. Menjivar-Flores (2017)** Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café. *Agronomía Mesoamericana* 28 (1): 149-158.
- Córdoba-Rodríguez D., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton y A. Muñoz-Orozco (2011)** Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia* 45: 493-506.
- Di Benedetto A. (2007)** Alternative substrates for potted ornamental plants base on argentinean peat and argentinean river waste: a review. *Floriculture and ornamental Biotechnology* 1 (2): 90-101.
- Félix-Herrán J. A., R. Serrato-Flores, A. D. Armenta-Bojorquez, G. Rodríguez-Quiroz, R. Martínez-Ruiz, H. S. Azpiroz-Rivero y V. Olalde-Portugal (2010)** Propiedades microbiológicas de compostas maduras producidas a partir de diferente materia orgánica. *Ra Ximhai* 6 (1): 105-113.
- Frois de Andrade M. A., P. A. Ramos-Cairo and J. L. Santos (2015)** Water relations and photosynthesis of young coffee plants under two water regimes and different N and K doses. *Agrociencia* 49: 153-161.
- Gayosso R. S., L. C. Borges G., E. Villanueva C., M. A. Estrada B. y R. Garruña H. (2016)** Conductividad eléctrica y sales en lavados de fibra de coco y sargazo. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 4 (1): 18-24 (2016)
- Gomes de Oliveira C. L. L. and E. Miglioranza (2015)** Quality levels of organic coffee seedlings in black and white nonwoven fabric (NWF) containers of various sizes. *African Journal of Agricultural Research* 10 (9): 886-894.
- Jones J. B., B. Wolf and H. A. Mills (1991)** Plant Analysis Handbook a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. United States of America. Micro-macro Publishing, Inc. 213 p.
- Kumar G. P., L. D. Amalraj E., S. Desai and M. H. Ahmed S. (2013)** Prospective zinc solubilising bacteria for enhanced nutrient uptake and growth promotion in maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Microbiology* 2013: 1-7.
- Landis T. D., R. W. Tinus, S. E. MacDonald and J. P. Barnett (1990)** Containers and growing media. Vol. 2. The container tree nursery manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 88 p.
- Lennox J. A., C. Aribra, B. A. Bello and F. C. Akubuenyi (2010)** Comparative degradation of sawdust by microorganism isolated from it. *African Journal of Microbiology Research* 4 (17): 1804-1807.
- Lodolini E. M., F. Pica, F. Massetani and D. Neri (2017)** Physical, chemical and Biological properties of some alternative growing substrates. *International Journal of Soil Science*. 2017: 1-7.

- López-Clemente X. A., C. Robles-Pérez, V. A. Velasco-Velasco, J. Ruiz-Luna, J. R. Enríquez-del Valle y G. Rodríguez-Ortiz (2015)** Propiedades físicas, químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados. *CIENCIA ergo-sum* 22 (2): 145-152.
- M'sadak Y. and E. Hichri N. (2014)** Hydro-physical characterizations of compost for optimal conception of growth substrates in forest nurseries. *Larhyss Journal* 18: 125-141.
- Millaleo R., M. Reyes-Díaz, A. G. Ivanov, M. L. Mora and M. Alberdi (2010)** Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 10 (4): 476-494.
- Patten C. L. and B. R. Glick (2002)** Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and environmental Microbiology* 68 (8): 3795-3801.
- Pinto J. R., J. D. Marshall, R. Kasten Dumroese, A. S. Davis and D. R. Cobos (2011)** Establishment and growth of container seedlings for reforestation: a function of stocktype and edaphic conditions. *Forest Ecology and Management* 261: 1876-1884.
- Puerta A. C. E., T. Russián L. y C. A. Ruiz S. (2012)** Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (2): 298-306.
- Quintero C. M. F., J. M. Guzmán y J. L. Valenzuela (2012)** Evaluación de sustratos alternativos para el cultivo de miniclavel (*Dianthus caryophyllus* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 6 (1): 76-87.
- Raposo M. F. J. y R. M. Santos C. (2011)** *Chlorella vulgaris* as soil amendment: influence of encapsulation and enrichment with rhizobacteria. *International Journal of Agriculture & Biology* 13 (5): 719-724.
- Restrepo-Franco G. M., S. Marulanda-Moreno, Y. Dela Fe-Pérez, A. Díaz-de la Osa, V. Lucia-Baldani y A. Hernández-Rodríguez (2015)** Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 46 (1): 63-76.
- Reyes-Ramírez A., M. López-Arcos, E. Ruiz-Sánchez, L. Latournerie-Moreno, A. Pérez-Gutiérrez, M. G. Lozano-Contreras y M. Zavala-León (2014)** Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia* 48: 285 – 294.
- Ribeiro H. M., A. M. Romero, H. Pereira, P. Borges, F. Cabral and E. Vasconcelos (2007)** Evaluation of a compost obtained from forestry wastes and solid of pig slurry as a substrate for seedlings production. *Bioresource Technology* 98: 3294-3297.
- Rivera-Cruz M. C., P. Rivón-Hernández y A. Trujillo-Narcía (2011)** Soportes orgánicos de bacterias promotoras de crecimiento vegetal y la sustentabilidad del suelo. *Terra Latinoamericana* 29 (2): 179-188.
- Salamanca-Jiménez A., T. A. Doane and W. R. Horwath (2017)** Nitrogen use efficiency of Coffee at the vegetative stage as influenced by fertilizer application method. *Frontiers in Plant Science* 8 (223): 1-11.

- Salto C. S., L. Harrand, G. P. J. Oberschelp y M. Ewens (2016)** Crecimiento de plantines de *Prosopis alba* en diferentes sustratos, contenedores y condiciones de vivero. *BOSQUE* 37(3): 527-537.
- Tortarolo M. F., M. Pereda, M. Palma y N. M Arrigo (2008)** Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. *Ci. Suelo (Argentina)* 26 (1): 41-50.
- Trejo-Téllez L. I., M. Ramírez-Martínez, F. C. Gómez-Merino, J. C. García-Albarado, G. A. Baca-Castillo y O. Tejeda-Sartorius (2013)** Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 863-876.
- Uribe J. F., M. Estrada, S. Cordoba, L. E. Hernández y D. M. Bedoya (2001)** Evaluación de los microorganismos eficaces (E. M.) en producción de abono orgánico a partir del estiércol de aves de jaula. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 14 (2): 164-172.
- Urrestarazu-Gavilán M. (2004)** Tratado de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa. España. 914 p.
- Zulueta-Rodríguez R., M. V. Cordoba-Matson, L. G. Hernández-Montiel, B. Murillo-Amador, E. Rueda-Puente and L. Lara (2014)** Effect of *Pseudomonas putida* on growth and anthocyanin pigment in two Poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*) cultivars. *The Scientific World Journal* 2014: 1-6.

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

7.1 Conclusiones

En *Coffea arabica* el tratamiento pregerminativo de inmersión de las semillas en agua durante 24 horas favorece la germinación, velocidad y porcentaje de emergencia y en *Coffea canephora* la inmersión de las semillas en agua 24 horas y lijado del endocarpo disminuyen el periodo de germinación y aumentan el porcentaje de germinación. Además el periodo de germinación en *Coffea arabica* disminuye al combinar los tratamientos pregerminativos: inmersión 24 horas, lijado más inmersión 24 horas e inmersión a 40 °C por una hora y el sustrato arena y en *Coffea canephora* es favorecido por la inmersión en agua 24 horas, inmersión a 40 °C por una hora e inmersión 48 horas, con el sustrato arena y la inmersión 24 horas e inmersión a 40 °C por una hora en el Promix®.

Las mezclas aserrín - tezontle (3:1) y aserrín - tezontle (3:1) 25 % + compost 75 %, pueden emplearse como sustrato debido a que tienen porosidad total mayor a 70 %. También la mezcla de aserrín - tezontle, el aserrín - tezontle + fertilizante de lenta liberación, el aserrín - tezontle + fertilizante orgánico y el suelo con valores entre 5.3 y 6.5 con pH moderadamente ácido, permiten la absorción de los nutrientes si se emplean como sustratos. Además, el aserrín, el compost y las mezclas presentan alto contenido de materia orgánica y fósforo. Por otro lado, la relación carbono/nitrógeno en los sustratos conformados por aserrín son altos lo que indica que estos se degradan lentamente por lo tanto es posible su empleo como sustrato y en los constituidos por compost y el suelo son bajos, lo que indica que son estables. Asimismo, el compost y las mezclas con este material, destacaron por su alto contenido de calcio y magnesio, por lo tanto si se emplean como sustrato las mezclas sin compost, es necesario suministrar estos nutrientes a las plantas.

El sustrato aserrín - tezontle (3:1) con fertilizante de lenta liberación en tubete de 1 L, las plantas alcanzaron mayor altura, número de hojas, peso seco total y volumen de raíz con cantidades suficientes de fósforo, potasio y magnesio, que son la base de las características deseables para su adaptación y mayor éxito de sobrevivencia en campo después de su trasplante.

El aserrín-tezontle con fertilizante de lenta liberación en tubete de 1 L e inoculado con *Pseudomonas putida* generó la mejor respuesta para la propagación de plántulas de café en vivero

con base en la porosidad total, porosidad de aireación, porosidad de retención de humedad, contenido nutrimental, crecimiento y desarrollo de las plantas, así como absorción de nutrientes.

7.2 Recomendaciones

Debido a que los tratamientos pregerminativos se realizaron en condiciones de laboratorio, se recomienda realizar las evaluaciones en vivero.

Es importante realizar mezclas de aserrín, tezontle y compost diferentes a las realizadas en este estudio y evaluar las propiedades físicas para proponer sustratos con nuevas proporciones.

La mezcla de aserrín – tezontle (3:1) puede emplearse como sustrato para la propagación de plántulas de café.

Es importante evaluar la supervivencia, el crecimiento y el desarrollo de las plántulas de café en campo, después de su producción en sustrato.

Se recomienda realizar evaluaciones de la respuesta de las plantas con la inoculación de la *Pseudomonas putida* desde el momento del trasplante.