



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**COMPARACIÓN DEL CRECIMIENTO DE
CAFETO EN VIVERO BAJO DIFERENTES
CONDICIONES DE SOMBRA, SUSTRATO
Y CONTENEDORES**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

DALIA REYES LANDA

ASESOR: Dr. ESTEBAN ESCAMILLA PRADO

COASESOR: Dr. GUSTAVO MERCADO MANCERA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**



Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

Comparación del crecimiento de cafeto en vivero bajo diferentes condiciones de sombra, sustrato y contenedores.

Que presenta la pasante: **DALIA REYES LANDA**

Con número de cuenta: **41005308-1** para obtener el Título de: **Ingeniera Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 13 de enero de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.A. Vicente Silva Carrillo	
VOCAL	Dr. Gustavo Mercado Mancera	
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier Vega Martínez	
1er SUPLENTE	M.C. Juan Roberto Guerrero Agama	
2do SUPLENTE	M.C. Ana María Martínez García	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.
(Art 127 REP)

LMCF/ntm*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Ángel Reyes y Ninfa Landa, por su apoyo y comprensión incondicional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme la puertas para realizar mis estudios de licenciatura.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por ser mi segundo hogar durante cinco años.

Al Centro Regional Universitario de Oriente (CRUO) de la Universidad Autónoma Chapingo, por darme la oportunidad de participar en el proyecto y realizar mi tesis.

Al Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café (CENACAFÉ) por su apoyo en la realización de este proyecto.

Al Dr. Gustavo Mercado Mancera de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por ser parte importante en mi formación profesional y realización de este trabajo.

Al Dr. Esteban Escamilla Prado del CRUO por abrirme las puertas en su institución, su apoyo, paciencia y comprensión, además de permitir incorporarme al proyecto de investigación.

Al M.C. Víctor M. Cisneros Solano del CRUO por su apoyo y valiosos consejos.

Al M.C. José Domingo Robledo Martínez por su apoyo para la realización del proyecto.

Al personal del CRUO, especialmente para el señor Genaro Arias y Nahúm Paz por ser parte importante en el experimento y la toma de datos.

A mis hermanas Brenda y Monserrath por ayudarme en la toma final de datos.

A los estudiantes de la Universidad Autónoma de México (UAM) por ayudarme en la toma final de mis datos: Alejandro Osorio Contreras, Sandra Lobato Tapia, Andrea Guadalupe Reséndiz Corona, Fernanda Zamora Solares y Víctor Hugo Zarco Alanís.

A mis amigos que alguna vez fueron a ayudarme, Roberto Carlos Almaguer, Ernesto Yobal, Gerardo Yobal, Marco Antonio Xaca, Ariadna Razo y Pablo Aguillón.

Dedicatoria

A mi madre, Ninfa Landa, mami eres ejemplo de trabajo y amor, gracias por siempre confiar en mí y dejarme volar. Te amo siempre.

A mi padre, Ángel Reyes, papi gracias por inculcarme tanto y formar en mi la persona en la que me convertí, eternamente agradecida. Te amo pá.

A mi hermana Brenda, tú y Monse me ayudan a caminar y gracias por tu amor, comprensión, y tu manera de ser tan ocurrente. Te quiero Brem.

A mi hermana Monse, a tu manera también eres inspiración y agradecida porque cada que te nace demostrarme amor lo haces, te amo chiquita.

A mi sobrina Lisseth, porque cada vez que te veo, me veo en ti. A mi cuñado Marco Antonio porque te has convertido como en un hermano para mí.

A mis tíos y abuelitos, por ser inspiración.

A Raúl Sampieri, Rul, eres mi hermano y te agradezco la paciencia y todo lo que me permitiste compartir contigo, te llevo en mi corazón siempre.

A mis amigos de la Universidad, Yoco Muñoz, Gonzalo Velázquez, Maribel Serra, Dafne Sánchez, Karen Torres, Gerardo Romero, Guadalupe Ortega, Gabriela Reyes, Nayeli Mata, Juan Morales, Arturo Chávez, Hilegario Antonio, Miguel Trejo, Iván Martínez, Hugo Ubaldo, Jhanet Espinoza, y Gabriel Cid, los quiero y gracias por su amistad y el tiempo que comparto con ustedes, son especiales y los llevo siempre conmigo.

A mis amigos de Veracruz que no me perdieron la pista, Roberto Carlos Almaguer, Ernesto Yobal, Angel Mexicano, Manuel Mexicano, Rosendo Rafael Figueroa, Hugo Ruiz.

A mis pedacitos de Veracruz, Adriana Medina, Nohemí Córdova, Gabriel Marini, y Miguel Ángel Solís.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>i</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>ii</i>
RESUMEN	<i>iv</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos particulares	2
1.3. Hipótesis	2
II. ANTECEDENTES	3
2.1. La situación del café en México	3
2.2. La cafecultura en Veracruz	4
2.2.1. La cafecultura en Huatusco, Ver.	7
2.2.1.1. Problemática de la cafecultura en Huatusco, Ver.	8
2.2.1.2. La producción de planta en Huatusco, Ver.	8
2.3. Propagación de plantas de café	9
2.3.1. Calidad de las plantas	10
2.3.2. Selección de las semillas	10
2.3.3. Fenología de las plantas de café en vivero	10
2.4. Fisiología de los cultivos, fotosíntesis, crecimiento, desarrollo y productividad	13
2.4.1. Funciones fisiológicas y crecimiento	13
2.4.1.1. Fotosíntesis	14
2.4.1.1.1. Factores externos que influyen a la fotosíntesis	15
2.4.1.1.1.1. Radiación	15
2.4.1.1.1.1.1. Fitocromo	16
2.4.1.1.1.1.2. Fotomorfogénesis	17
2.4.1.1.1.1.3. Penetración de la luz en el cultivo	18
2.4.1.1.1.1.4. Eficiencia del uso de la radiación solar	18
2.5. Mallas sombras especiales	20

	Página
2.5.1. Malla sombra de larga duración	20
2.5.2. Mallas sombra térmicas	20
2.5.3. Malla sombra fotoselectivas	20
2.5.3.1. Malla negra	21
2.5.3.2. Malla aluminizada	21
2.5.3.3. Malla perla	22
2.5.3.4. Malla roja	22
2.5.3.5. Malla gris	22
2.5.3.6. Malla azul	22
2.6. Sustratos	23
2.6.1. Física de sustratos	24
2.6.1.1. Peat moss	25
2.6.1.2. Agrolita	25
2.6.1.3. Micorriza	26
2.6.1.4. PSD	26
2.6.1.5. Lombricomposta	26
2.7. Contenedores	27
2.7.1. Capacidad de contenedor	28
2.7.2. Color de contenedor	29
2.8. Análisis de crecimiento	29
2.8.1. El desarrollo	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Descripción de la zona de estudio	30
3.1.1. Localización del área experimental	30
3.2. Secuencia metodológica	31
3.2.1. Variedad Geisha	31
3.3. Secuencia experimental	32
3.4. Diseño experimental	39
3.4.1. Tratamientos	39
3.4.2. Modelo estadístico	41
3.4.3. Variables a evaluar	41
3.4.4. Análisis estadístico	42

	Página
3.5. Materiales	42
3.5.1. Para los viveros	42
3.5.2. Material vegetal	44
3.5.3. Para la toma de datos	44
IV. RESULTADOS	45
4.1. Altura de la planta	45
4.2. Diámetro del tallo	48
4.3. Número de pares de hojas	50
4.4. Peso de materia en base fresca	52
4.5. Peso de materia en base seca	55
V. DISCUSIÓN	58
5.1. Efecto del color de la malla sombra sobre la altura de la planta	58
5.2. Efecto del tamaño de contenedor sobre la altura de la planta	59
5.3. Efecto del color del contenedor sobre la altura de la planta	60
5.4. Efecto de la mezcla de sustrato sobre la altura de la planta	60
5.5. Efecto del color de la malla sombra sobre el diámetro de tallo	61
5.6. Efecto del tamaño del contenedor sobre el diámetro del tallo	62
5.7. Efecto del color de contenedor sobre el diámetro del tallo	62
5.8. Efecto de la mezcla de sustrato sobre el diámetro del tallo	63
5.9. Efecto del color de la malla sombra sobre la presencia de pares de hojas	64
5.10. Efecto del tamaño de contenedor sobre la presencia de pares de hojas	64
5.11. Efecto del color de contenedor sobre la presencia de pares de hojas	65
5.12. Efecto de la mezcla del sustrato sobre la presencia de pares de hojas	66
5.13. Efecto del color de la malla sombra sobre el peso en materia fresca de toda la planta	66
5.14. Efecto del color de la malla sombra sobre el peso en materia seca de toda la planta	67
5.15. Efecto del tamaño de contenedor sobre el peso en materia fresca de toda la planta	68
5.16. Efecto del tamaño de contenedor sobre el peso en materia seca de toda la planta	69
5.17. Efecto del color de contenedor sobre el peso en materia fresca de toda la planta	70
5.18. Efecto del color de contenedor sobre el peso en materia seca de toda la planta	71

	Página
5.19. Efecto de la mezcla de sustrato sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta	71
5.20. Efecto de la mezcla de sustrato sobre el peso de materia en base seca de toda la planta	72
VI. CONCLUSIONES	73
VII. RECOMENDACIONES	74
VIII. LITERATURA CITADA	75
ANEXO	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Superficie de café sembrada en México (SIAP, 2014).	4
Figura 2. Porcentaje de superficie de café sembrada en las 10 regiones productoras de Veracruz (SAGARPA, 2011).	5
Figura 3. Resultado de los DEP en las fincas veracruzanas (SAGARPA, 2011).	6
Figura 4. Localización del municipio de Huatusco, Ver. (INEGI, 2009).	30
Figura 5. Localización del área experimental (Robledo, 2014).	31
Figura 6. Preparación del terreno.	32
Figura 7. Inicio del establecimiento de los módulos.	33
Figura 8. Establecimiento de los módulos experimentales.	33
Figura 9. Módulos experimentales establecidos.	34
Figura 10. Colocación de perfiles para las mesas de trabajo.	34
Figura 11. Desinfección del sustrato o mezcla 2.	35
Figura 12. Llenado de charolas.	36
Figura 13. Distribución de charolas por color por cada módulo experimental.	36
Figura 14. División por mesa.	37
Figura 15. Acomodo de charolas en los módulos.	37
Figura 16. División por tamaño de charola por mesa.	38
Figura 17. Trasplante de plántulas a las charolas.	38
Figura 18. Diseño de los tratamientos.	40
Figura 19. Altura promedio de la planta de café por color de malla sombra.	45
Figura 20. Altura promedio de la planta de café por tamaño de contenedor.	46
Figura 21. Altura promedio de la planta de café por color de contenedor.	46
Figura 22. Altura promedio de la planta de café por mezcla de sustrato.	47
Figura 23. Diámetro del tallo promedio de plantas de café por color de malla sombra.	48
Figura 24. Diámetro del tallo promedio de plantas de café por tamaño de contenedor.	49
Figura 25. Diámetro del tallo promedio de plantas de café por color de contenedor.	49
Figura 26. Diámetro del tallo promedio de plantas de café por mezcla de sustrato.	50
Figura 27. Pares de hojas promedio de las plantas de café por color de malla sombra.	50
Figura 28. Pares de hojas promedio de las plantas de café por tamaño de contenedor.	51
Figura 29. Pares de hojas promedio de las plantas de café por color de contenedor.	51
Figura 30. Pares de hojas promedio de las plantas de café por mezcla de sustrato.	52
Figura 31. Peso de materia en base fresca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café, por color de malla sombra.	53

	Página
Figura 32. Peso de materia en base fresca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café, por tamaño de contenedor.	53
Figura 33. Peso de materia en base fresca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café, por color de contenedor	54
Figura 34. Peso de materia en base fresca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café por tipo de sustrato.	54
Figura 35. Peso de materia en base seca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café por color de malla sombra.	55
Figura 36. Peso de materia en base seca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café por tamaño de contenedor.	56
Figura 37. Peso de materia en base seca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café por color de contenedor.	56
Figura 38. Peso de materia en base seca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café por tipo de sustrato.	57

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre la altura de planta.	58
Tabla 2. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre la altura de planta.	58
Tabla 3. ANOVA del efecto del tamaño de contenedor sobre la altura de planta.	59
Tabla 4. Prueba de Tukey para el efecto del tamaño de contenedor sobre la altura de la planta.	59
Tabla 5. ANOVA del color del contenedor sobre la altura de planta.	60
Tabla 6. ANOVA del efecto de la mezcla de sustrato sobre la altura de planta.	60
Tabla 7. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre el diámetro de tallo.	61
Tabla 8. Prueba de Tukey del efecto del color de la malla sombra sobre el diámetro de tallo.	61
Tabla 9. ANOVA del efecto del tamaño de contenedor sobre el diámetro de tallo.	62
Tabla 10. Prueba de Tukey del efecto del tamaño de contenedor sobre el diámetro de tallo.	62
Tabla 11. ANOVA del efecto del color del contenedor sobre el diámetro de tallo.	63
Tabla 12. ANOVA del efecto de la mezcla de sustrato sobre el diámetro del tallo.	63
Tabla 13. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre la presencia de pares de hojas.	64
Tabla 14. Prueba de Tukey para efecto del color de la malla sombra sobre la presencia de pares de hojas.	64
Tabla 15. ANOVA del efecto del tamaño de contenedor sobre la presencia de pares de hojas.	65

	Página
Tabla 16. Prueba de Tukey para el efecto del tamaño de contenedor sobre la presencia de pares de hojas.	65
Tabla 17. ANOVA del efecto del color de contenedor sobre la presencia de pares de hojas.	66
Tabla 18. ANOVA del efecto de la mezcla del sustrato sobre la presencia de pares de hojas.	66
Tabla 19. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta.	67
Tabla 20. Prueba de Tukey para el efecto del color de la malla sombra sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta.	67
Tabla 21. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre el peso de materia en base seca de toda la planta.	68
Tabla 22. Prueba de Tukey para el efecto del color de la malla sombra sobre el peso de materia en base seca de toda la planta.	68
Tabla 23. ANOVA del efecto del tamaño del contenedor sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta.	69
Tabla 24. Prueba de Tukey para del tamaño del contenedor sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta.	69
Tabla 25. ANOVA del efecto del tamaño del contenedor sobre el peso de materia en base seca de toda la planta.	70
Tabla 26. Prueba de Tukey para efecto del tamaño del contenedor sobre el peso de materia en base seca de toda la planta.	70
Tabla 27. ANOVA del efecto del color del contenedor sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta.	71
Tabla 28. ANOVA del efecto del color del contenedor sobre el peso de materia en base seca de toda la planta.	71
Tabla 29. ANOVA del efecto de la mezcla de sustrato sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta.	72
Tabla 30. ANOVA del efecto de la mezcla de sustrato sobre el peso de materia en base seca de toda la planta.	72

RESUMEN

Nuevas tecnologías se implementan para mejorar la producción de plantas de café, entre ellas el manejo de viveros tecnificados. Por tal razón el objetivo de este trabajo fue el de analizar el crecimiento y la producción de plantas de café en vivero bajo diferentes condiciones de sombra, sustrato y tipo de contenedor, en Huatusco, Veracruz. Se utilizó la variedad de café Geisha, bajo diferentes condiciones de colores de malla sombra, de tamaño y color de contenedor, mezclas de sustratos. Las variables de respuesta fueron la altura de planta, el diámetro de tallo, el número de pares de hojas, el peso de materia en base fresca y seca. Los resultados indicaron diferencias significativas para la mayoría las variables. La malla sombra de color perla presentó los valores más altos, sin embargo, la malla sombra de color rojo es la que presentó las plantas con mayor altura. En el contenedor grande se obtuvo los valores más altos en todas las variables de respuesta. El color del contenedor no tuvo significancia estadística; mientras que la mezcla de sustrato S1 fue la que influyó más en el desarrollo de las plantas de café. Se concluye que la introducción de nuevos elementos tecnológicos en la construcción y manejo de viveros cafetaleros, son una opción técnica viable para incrementar y mejorar la calidad de las plantas de café, bajo las condiciones en las que se desarrolló la presente investigación. Ante la grave problemática que presenta el sector cafetalero en todo México, se sugiere establecer más cantidad de viveros tecnificados; los resultados obtenidos en este estudio pueden servir de base para nuevas y futuras investigaciones en el área.

I. INTRODUCCION

La cafecultura en México representa una importante actividad económica, ya que se comercializa en el mercado internacional y en exportaciones en México alcanza 897 millones de dólares al año, cifra sólo superada por el petróleo, en lo que se refiere a exportaciones de materia prima (Escamilla, 2014). Desde 1998, el sector cafetalero nacional enfrenta una crisis relacionada con la caída de los precios en el mercado internacional por la sobreproducción mundial (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2001).

La crisis mundial del café ha repercutido en las regiones cafetaleras mexicanas, donde se observan problemas tales como: aumento de la migración, impacto ambiental por la tala de cafetales para cambio de cultivo, pérdida de empleos, abandono de las plantaciones y alta incidencia de plagas y enfermedades que afectan la calidad y rendimiento del grano (Aragón, 2006).

Entre las enfermedades de mayor importancia económica en el cultivo de café se encuentran: la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), ojo de gallo (*Mycena citricolor*) nematodos (*Meloidogyne spp*; *Pratylenchus sp.*) la broca del fruto (*Hypothenemus hampei*) y la roya (*Hemileia vastratix*).

Ésta última ha tomado importancia, ya que el sector cafetalero se ha visto amenazado por este hongo que ataca a las hojas de los cafetos, afectando los niveles de producción, ya que se estima que en 2013, en México dejó pérdidas que ascienden a 60 millones de dólares (Pérez, 2014).

La renovación de cafetales se hace necesaria ante el panorama de cafetales defoliados que dejó esta enfermedad y aunado a esto, la innovación en el establecimiento de viveros para una alta producción de plantas de calidad para establecer plantaciones sanas, vigorosas, que por consiguiente, y con un buen manejo, capaces de producir altos rendimientos.

Es por ello que en este trabajo se busca comparar el efecto de seis diferentes colores de sombra, dos diferentes mezclas de sustratos, tres diferentes capacidades de contenedores, y cuatro diferentes colores en contenedores, sobre el crecimiento de plántulas de cafeto

(*Coffea arabica* L.) en etapa de vivero en Huatusco, Veracruz, para ofrecer recomendaciones en el manejo de la producción de plántulas. Por tal razón se plantearon los siguientes objetivos.

1.1 Objetivo general

- Analizar el crecimiento y la producción de plantas de café en vivero bajo diferentes condiciones de sombra, sustrato y tipo de contenedor, en Huatusco, Veracruz.

1.2. Objetivos particulares

1. Contrastar el crecimiento de plantas en vivero de café con diferentes colores de sombra.
2. Comparar el crecimiento de plantas de café en vivero con diferentes sustratos.
3. Contrastar el crecimiento del sistema radicular de las plantas de café a nivel vivero en contenedores con diferentes capacidades.
4. Describir la diferencia del crecimiento de las plantas de café en vivero con distintos colores de contenedores.
5. Analizar la relación costo-beneficio y su correlación con la producción y calidad de plantas de café de bajo estas condiciones.
6. Hacer una recomendación de acuerdo con los resultados para viveros de la región de Huatusco, Veracruz.

1.3 Hipótesis

H₀: El crecimiento de las plantas de café en la etapa de vivero está influenciado por el uso de diversos colores de malla sombra, sustrato y tipo de contenedor, lo que se traduce en diferencias significativas en la producción y calidad de plantas.

II. ANTECEDENTES

2.1 La situación del café en México

Los países con mayor producción de café a nivel mundial son: Brasil, Vietnam, Colombia e Indonesia, los cuales reúnen el 63 % del total mundial. México ha tenido una participación en la producción mundial de café, que ha ido en descenso, con la producción más baja en los últimos años (SAGARPA, 2011); pasó de ocupar el 7° lugar al 9° lugar a nivel mundial (SAGARPA 2016).

En México, el café representa una actividad estratégica, ya que emplea a más de 500 mil productores, involucra exportaciones por 867 millones de dólares al año y es el principal productor de café orgánico del mundo, destinando a esta el 10 % de la superficie; además, vincula directa e indirectamente a cerca de 3 millones de personas y genera un valor en el mercado de alrededor de 20 mil millones de pesos por año (SAGARPA, 2013).

El café es el 7° cultivo agrícola con mayor superficie cultivada en México (Figura 1). En 2013, alcanzó 737,376.45 hectáreas con un valor de casi 6 mil millones de pesos. En 2014 se obtuvo una producción nacional de 1'166,025.82 toneladas. Dando un rendimiento promedio de 1.67 T ha⁻¹. Ocupa el lugar 14° de los cultivos de acuerdo con su valor de producción, sin embargo ocupa el lugar 129 de acuerdo con la PMR (Precio Medio Rural) con un valor de \$4,797.45 T⁻¹ (SIAP, 2015).

El café se cultiva en quince estados de la República, concentrándose el 91.4 % del volumen y 93.3 % del valor en cuatro de ellos: Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca. Las entidades restantes, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Colima, México, Tabasco, Morelos, Querétaro y Michoacán, concentran el 8.6 % del volumen y 6.7 % del valor (SIAP, 2015).

La SAGARPA (2011) reporta que el 53 % del café que se produce en México, es consumido internamente en el país, quedando en el 12° lugar a nivel mundial de países consumidores, aunque se mencionó que el consumo va en aumento.

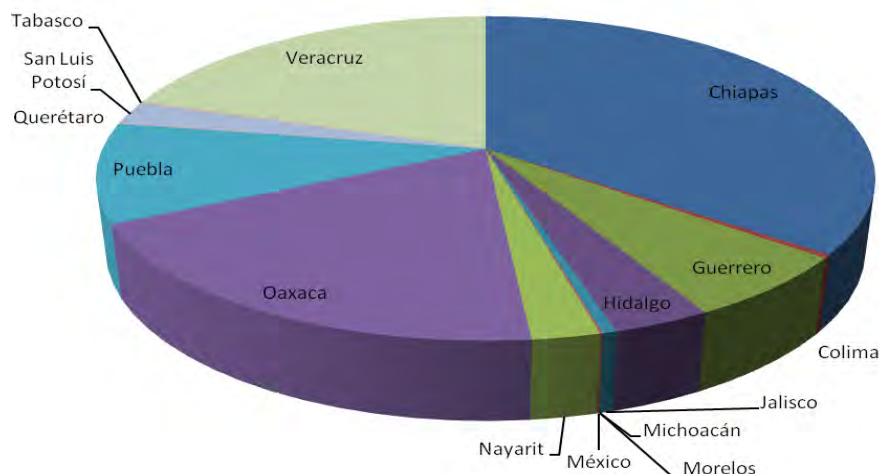


Figura 1. Superficie de café sembrada en México (SIAP, 2014).

Las regiones cafetaleras se concentran en cuatro grandes zonas: las vertientes del Golfo de México (San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Veracruz, parte de Oaxaca y Tabasco); la del Océano Pacífico (Colima, Guerrero, Jalisco, Nayarit y parte de Oaxaca); la zona Centro-Norte y la del Soconusco en Chiapas, en el sureste mexicano, que en total, éstas zonas abarcan 398 municipios en los doce estados productores (SAGARPA, 2016).

En los principios de una Nueva Política de Renovación se incluye la consideración de la renovación con variedades mejoradas pero con materiales que se adapten a la zona, diversidad regional, las preferencias de productores y la demanda del mercado (SAGARPA, 2011).

2.2 La cafecultura en Veracruz

El estado de Veracruz es el segundo estado productor de café del país con una superficie sembrada de 146,619.41 hectáreas y con una producción de 353,697.22 toneladas. El rendimiento promedio en Veracruz reportado por el SIAP (2016) es de 2.55 T ha⁻¹, rendimiento superado por Michoacán con 3.75 y Puebla con 2.65 T ha⁻¹.

Para Veracruz, las estadísticas de la cafecultura indican que se cuenta con 94,608 productores, 146,619.41 hectáreas, 10 regiones productoras, 82 municipios cafetaleros y 842 comunidades cafetaleras, de las cuales se realizaron 1,872 DEP (SAGARPA, 2011).

El café en Veracruz representa el 4° cultivo de superficie sembrada, seguido del maíz grano, la caña de azúcar, y la naranja. Sin embargo, cae al 6° lugar de acuerdo a su valor de la producción (SIAP, 2016).

Existen en Veracruz 10 Regiones productoras de café y son:

Región Huatusco, Coatepec, Córdoba, Atzalan, Misantla, Zongolica, Los Tuxtlas, Papantla, Chicontepec, y Tezonapa. Cuya superficie cafetalera se indica en la Figura 2.

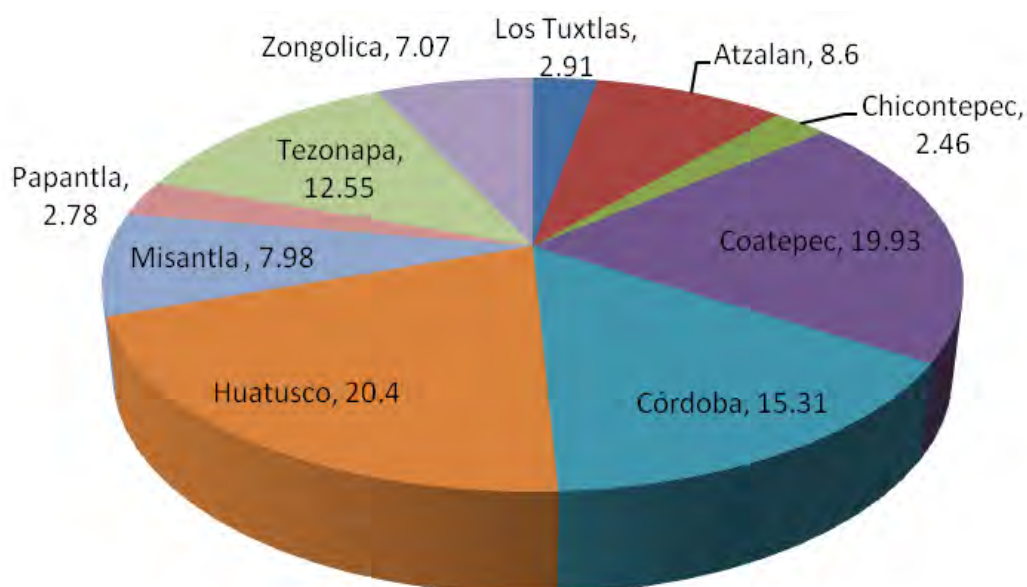


Figura 2. Porcentaje de superficie sembrada de café en las 10 regiones productoras de Veracruz (SAGARPA, 2011).

En 2010, AMECAFÉ en conjunto con la SAGARPA, COFUPRO, CRUO-UACH, Sistema Producto café, e INCA Rural, desarrollaron un Plan de innovación de la cafecultura de México en el que en primer lugar hizo un diagnóstico que incluye el Diagnóstico de Estructura Productiva (DEP) y un Diagnóstico Rápido Participativo (DRP) en los que se

buscaba ubicar la problemática para trazar la estrategia de innovación hacia la competitividad en la cafeticultura.

El DEP consiste en ubicar un número de sitio de muestreo de 10 m x10 m, de acuerdo a la superficie del predio a muestrear, y categorizar las plantas de acuerdo a su situación.

La categoría I incluye a los cafetos normales o que están produciendo; II: cafetos que requieren algún tipo de poda; III: cafetos que requieren recepa; IV: cafetos que requieren renovación; V: cafetos pre-productivos; y VI: fallas o cafetos que no existen en el lugar.

Los DEP permiten obtener información actual y verídica del estado en que se encuentran las plantaciones de café, y así proponer acciones de innovación en el manejo integral de las mismas, adecuando a las características propias de los sistemas de cultivo.

Este diagnóstico arrojó la situación actual de los cafetales para el estado de Veracruz (Figura 3).

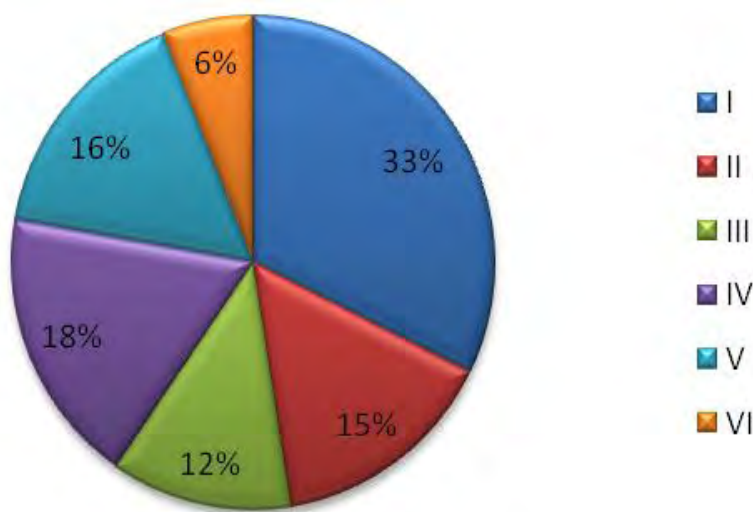


Figura 3. Resultado de los DEP en las fincas veracruzanas (SAGARPA, 2011).

Categoría: I: Cafetos normales. Categoría II: cafetos que requieren algún tipo de poda. Categoría III: cafetos que requieren recepa. Categoría IV: cafetos que requieren renovación. Categoría V: cafetos pre-productivos. Categoría VI: fallas o cafetos que no existen en el lugar.

Los principales problemas en las zonas productoras de Veracruz son: cafetales viejos, falta de asistencia técnica, apoyos insuficientes y la fluctuación de los precios del café. Para lo cual, como prioridad SAGARPA propone gestionar asistencia técnica y capacitación por objetivos, seguido del establecimiento de viveros de planta injertada para realizar sustitución de plantas viejas mediante renovación, y apoyo social, jurídico y económico para crear figuras asociativas, comercialización y gestión de recursos.

2.2.1. La cafecultura en Huatusco, Ver.

La orografía de la región de Huatusco, la hace una región apta para la producción del cultivo de café, considerándose una de las mejores regiones cafetaleras del país (SAGARPA, 2011).

Es la región que ocupa la mayor superficie cafetalera de Veracruz, comparativamente con las demás regiones (20.4 %) y con el tercer lugar en el número de productores, después de Coatepec y Córdoba (SAGARPA, 2011).

Esta región tiene una red de carreteras entre las comunidades cafetaleras lo que hace que tenga una condición favorable para la accesibilidad a centros importantes de acopio comercial como lo son Huatusco, Coscomatepec y Totutla. Sin embargo, hay comunidades y municipios dentro de esta región que presentan problemas de accesibilidad a las fincas cafetaleras, lo que trae consigo una serie de problemas como los intermediarios, y el incremento en los precios de los insumos (SAGARPA, 2011).

Esta región presenta un mayor impacto en la adopción tecnológica, manejo integrado de algunos problemas fitosanitarios, tecnología de beneficiado húmedo, prácticas de conservación de suelos y se usan nuevas variedades. Aunque no se tiene preferencia por una sola variedad de café, existe una clara tendencia al cambio con interés a las variedades Garnica, Caturra, Costa Rica, y Colombia. Entre el 95 y 98 % de las plantas sembradas en los últimos tres años, son injertos sobre patrones de *C. canephora* var. Robusta, debido al problema acentuado de nematodos en la zona, problemática que causa pérdidas anuales de hasta un 35 % de las plantas (Escamilla, *et al.* 2014).

2.2.1.1. Problemática de la cafecultura en Huatusco, Ver.

Entre la problemática por factores técnicos que la SAGARPA reporta en la producción de café en la Región de Huatusco, destaca por orden de importancia: cafetales viejos, deficiencia nutricional, nematodos, barrenador del tallo, plagas en árboles de sombra, alta densidad de sombra, condiciones topográficas adversas, cafetales abandonados, renovación insuficiente, falta de manejo de tejido productivo, mala calidad del café, especies no aptas para sombra de café-escasez de sombra, plantaciones de baja producción, falta de beneficio para café y variedades y densidades no aptas para la región (SAGARPA, 2011).

El problema priorizado que respecta a los cafetales viejos y la falta de nutrición están muy relacionados y conllevan al abandono de cafetales, lo que acarrea consigo problemas fitosanitarios, ya que al descuidarse algunas fincas, resulta un foco de infección para fincas vecinas.

En este sentido, como alternativa que expone SAGARPA, es el establecimiento de viveros de planta de variedades tolerantes al hongo de la roya de café (*Hemileia vastatrix*) para la sustitución de cafetales viejos mediante la renovación (resiembra). Se han establecido 32 viveros tecnificados en los 13 estados productores de café en todo el país, para la producción de más de 16 millones de plantas. Se contrataron 400 técnicos de campo que brindan asesoría, capacitan y otorgan seguimiento a la producción y comercialización de café. En la zona se establecieron 3, uno en el municipio de Huatusco, localidad La Patrona, otro en el municipio de Totutla y uno más pequeño en el Centro Regional Universitario de Oriente (CRUO) y Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico de Café (CENACAFÉ).

2.2.1.2. La producción de planta en Huatusco, Ver.

La producción de planta se ve influida por varios factores, como la importancia del valor del café, es decir, que cuando el café no resulta redituable, el productor no hace renovación de cafetales y la producción disminuye considerablemente, la lejanía de las fuentes de agua y la lejanía de las parcelas en las comunidades, lo cual hace que los productores prefieran el “arranque del manchón”, es decir, que arranquen planta que nace bajo los cafetos, que por

lo general representa planta de mala calidad, y sin embargo, un 48 % de los productores refieren hacer esta práctica (SAGARPA, 2011).

Los diagnósticos estatales indican que existe una baja tendencia a la elaboración de viveros comunitarios o individuales.

La renovación de cafetales es de alta prioridad nacional, ya que se refleja en los diagnósticos de estructura productiva que el 14 % necesitan renovación y el 6 % existen fallas y deben rellenarse los espacios vacíos (SAGARPA, 2011).

2.3. Propagación de plantas de café

La propagación en café puede ser de manera sexual y asexual. La primera incluye la producción de semillas viables que dan lugar a más plantas, y la segunda, se refiere a clones sacados de tejidos que pueden dar lugar a otra planta, como estacas, esquejes o injertos.

Anteriormente, las plantas de café usadas para la renovación de cafetales, eran los que crecían naturalmente de las plantaciones de café. Estas plantas provenían de los frutos de los arbustos en producción caídos durante la cosecha (Monroing, 2000). Sin embargo, las desventajas en el uso de este tipo de plántulas son.

- No hay una selección de semilla.
- Pobre y deficiente desarrollo del sistema radical.
- Rotura del sistema radical al arrancar las plantas del suelo.
- Mayores riesgos de infestación por hongos y nematodos.
- Mayor porcentaje de mortandad.

Después se desarrolló un nuevo método de propagación de plantas de café usando bolsas de polietileno. Este método fue muy bien acogido por los productores debido a las ventajas que ofrece (Monroing, 2000):

- Se puede seleccionar la semilla.
- Se provee a las plantas un medio adecuado para su crecimiento y desarrollo.
- Se obtienen plantas más fuertes y vigorosas.
- Se facilita el riego y lo hace más económico.
- Las bolsas son de bajo costo y durables.

- Se puede supervisar cuidadosamente un gran número de plantas con poca mano de obra.

Últimamente se ha investigado más a fondo la propagación asexual, ya que Iracheta (2004) asegura que es posible generar nuevas técnicas de propagación masiva, con la obtención de plántulas de calidad en un menor tiempo y con costos más bajos.

Para producir planta en vivero con las características morfológicas y fisiológicas deseables, es necesario que en las prácticas de manejo se consideren dos aspectos principales: calidad de la semilla (aspecto genético) y calidad del manejo del material en vivero (Sánchez *et al.*, 2004).

2.3.1. Calidad de las plantas

La calidad de las plantas de vivero se define como la capacidad de éstas para sobrevivir en el campo. Está determinada por factores climáticos y de manejo en el vivero. Para determinar si una planta podrá sobrevivir en el campo se miden algunas variables que determinan sus características morfológicas como: diámetro del cuello de la raíz, altura de la planta, formación de raíces y sanidad (Santiago *et al.*, 2007).

2.3.2. Selección de las semillas

La semilla de café es de forma semicircular, está formada por la almendra o la semilla sin pergamino, dura, de color verdoso constituida por un albumen córneo. En un extremo de la semilla se encuentra un embrión de raicilla cónica y cotiledones cordiformes (Coa *et al.*, 2014).

2.3.3. Fenología de las plantas de café en vivero

Las plántulas de café nacen seis semanas después de la siembra. Tres meses después de nacer, las dos primeras hojas de las plantitas están bien desarrolladas. En ese momento se sacan del almácigo y se trasplantan al vivero.

Conocer la fenología de los cultivos es fundamental para la planeación del manejo del cultivo. Existen varias descripciones de las etapas del desarrollo del cafeto, sin embargo, no se ha establecido una descripción uniforme y general del crecimiento de café.

Existe un código decimal uniforme para la descripción de los estados de desarrollo de los cultivos, conocido como la “escala BBCH” que en café se llama “escala BBCH ampliada”, la cual identifica los estados principales del crecimiento y desarrollo del café y sus correspondientes estados secundarios mediante un código decimal compuesto por dos dígitos, de 0 a 9. Los estados principales se identifican mediante el primer dígito y los secundarios mediante el segundo. Ésta escala, incluye los 10 estados principales e inicia con la germinación de la semilla o el desarrollo de brotes (en el caso de estacas) o los tocones (Estado 0). El crecimiento vegetativo incluye tres estados principales que corresponden al desarrollo foliar en el almácigo y en las ramas de plantas en el campo (Estado 1), la formación de ramas (Estado 2) y su elongación (Estado 3). El crecimiento reproductivo que inicia con el desarrollo de la inflorescencia y de la flor se considera en el Estado 5 y la floración se incluye en el Estado 6. El desarrollo del fruto se considera como el Estado 7 y cuando madura, Estado 8. El Estado 9 incluye los procesos de senescencia o envejecimiento de la planta, con lo cual, completa la escala. (Centro Nacional de Investigaciones del Café, 2013).

En este trabajo sólo se describe el estado principal de crecimiento 1, ya que el estado principal de crecimiento 2, incluye a las plantas ya establecidas en el campo.

Escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas de la planta de café *Coffea* sp:

Estado principal de crecimiento 0:

Germinación, propagación vegetativa

00 Semilla seca (11-12 % de humedad), de color amarillento si el pergamino está presente o verde; azulado

si se ha removido el pergamino y la película plateada (trillado).

Estaca (ortotrópica, mononodal, 60 mm de largo, dos hojas recortadas a la mitad).

01 Se inicia la imbibición de la semilla, la almendra aparece hinchada, color blanquecino, la radícula no es visible.

Estaca plantada en el medio de enraizamiento, no hay brotes ni formación de callos.

03 Se completa la imbibición de la semilla, la almendra aparece blanca y con un ligero abultamiento en el extremo donde se ubica el embrión.

Comienza la formación de callo en las estacas.

05 La radícula brota de la semilla y aparece curvada.

Brotes visibles en las estacas.

06 Elongación de la radícula, formación de raicillas y raíces laterales en la semilla y las estacas.

07 El hipocótilo sobresale del suelo y se observan los cotiledones todavía encerrados en el pergamino.

Las estacas han formado brotes y tienen raíces ramificadas.

09 Emergencia: Las semillas han surgido desde el suelo y se ven los hipocótilos con los cotiledones emergiendo a través del pergamino.

Las estacas muestran raíces de 6 a 7 cm de largo y brotes con 1 o 2 nudos.

Estado principal de crecimiento 1:

Desarrollo de la hoja, en el tallo de la planta de almácigo o en las ramas del árbol.

10 Cotiledones completamente abiertos. Primer par de hojas verdaderas

sin abrir se separan del ápice del tallo o el primer par de hojas verdaderas sin abrir se separan del ápice de la rama.

11 Primer par de hojas abierto pero aún no alcanzan su tamaño final. Hojas de color verde claro o bronceadas.

12 Dos pares de hojas abiertas pero sin alcanzar su tamaño final. Hojas de color verde claro o bronceadas.

13 Tres pares de hojas abiertas pero sin alcanzar su tamaño final. El tercer par de hojas a partir del ápice es de color verde oscuro.

14 Cuatro pares de hojas abiertas. El cuarto par de hojas a partir del ápice es de color verde oscuro y ha alcanzado su tamaño final.

Los estados continúan hasta...

19 Nueve o más pares de hojas abiertas visibles.

En este caso se diferenció entre el desarrollo de la hoja en las plantas de almácigo y el desarrollo de la hoja en las ramas del árbol, por esta razón, en las plantas jóvenes se cuenta cada par de hojas mientras que para el árbol se considera el conjunto de hojas nuevas (Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2013).

En México existen términos técnicos para clasificar las etapas principales por las que pasan las plántulas de café:

- a) Soldadito: Que va desde la emergencia de la planta hasta antes de abrir los cotiledones.
- b) Mariposa: que se caracteriza por la aparición del par de cotiledones.
- c) Pesetilla: Que es cuando cuenta con un par de hojas verdaderas.
- d) Plantón: que se caracteriza por poseer de dos a cuatro cruces o pares de ramas.

2.4. Fisiología de los cultivos, fotosíntesis, crecimiento, desarrollo y productividad

Las hojas son los receptores de la energía solar para su conversión en biomasa (materia vegetal) mediante la fotosíntesis. El intercambio de gases necesario para la fotosíntesis se efectúa a través de los estomas de las hojas, al igual que la transpiración (transferencia de agua desde las hojas al aire circundante). Las raíces, además del anclaje de la planta al suelo o al sustrato, se ocupan de la absorción de agua y elementos minerales y pueden ser órganos de almacenamiento de reservas. El tallo y sus ramificaciones, además de cumplir una función de sostén, contienen los conductos por los que circula la savia ascendente y descendente entre los diversos órganos de la planta. Los meristemos apicales son responsables, al multiplicar sus células, de la formación de nuevos órganos. Otros meristemos se ocupan de la ramificación y de diversas funciones de crecimiento. Los meristemos tienen una intensa actividad bioquímica, especialmente en la síntesis de hormonas que regulan el crecimiento armónico de la planta (Castilla, 2007).

2.4.1 Funciones fisiológicas y crecimiento

Las principales funciones fisiológicas implicadas son la absorción de agua y elementos minerales por las raíces, la transpiración de vapor de agua por las hojas, junto con la fotosíntesis y la respiración (Castilla, 2007).

La absorción de agua está influida por las condiciones climáticas (radiación, temperatura), las condiciones de la planta (estado hídrico) y las condiciones de suelo (disponibilidad de

agua, aireación). Para optimizar la absorción de agua y de elementos minerales es necesario disponer de un suelo o sustrato adecuado (bien drenado), una solución de suelo equilibrada y unos aportes de agua y nutrimentos que cubran las necesidades del cultivo, efectuados con la frecuencia apropiada (Castilla, 2007).

La transpiración es la evaporación de agua por la planta a través, principalmente, de los estomas de las hojas. La energía necesaria para evaporar el agua procede básicamente de la radiación solar, por lo que la transpiración está directamente relacionada con la radiación solar (Castilla, 2007).

La fotosíntesis permite a las plantas convertir en materia orgánica vegetal (o biomasa) diversas sustancias inorgánicas, usando la energía del sol. La respiración suministra a las plantas la energía necesaria para su funcionamiento, degradando parte de la biomasa generada por la fotosíntesis. Cuando la fotosíntesis es mayor que la respiración, esta diferencia positiva de biomasa (biomasa generada en fotosíntesis menos biomasa degradada en respiración) la emplea la planta en crecer. Del peso fresco de las plantas, aproximadamente el 90% suele ser agua y de restante 10% la mitad es carbono (Castilla, 2007).

2.4.1.1. Fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas, utilizando la energía solar, sintetizan compuestos orgánicos a partir de sustancias inorgánicas. La fotosíntesis puede describirse como el proceso de conversión de energía solar en energía química en los tejidos vegetales. Esta energía química es almacenada en forma de diversos compuestos (hidratos de carbono, principalmente, ATP y NADPH). Mediante este proceso se fija el carbono en las moléculas de los hidratos de carbono y se liberan oxígeno (O₂) y compuestos altamente energéticos (ATP y NADPH), que serán posteriormente utilizados por las plantas para formar aminoácidos, ácidos orgánicos. Todos estos compuestos son transportados a las zonas de crecimiento, donde pasarán a formar parte de la estructura de las plantas, contribuyendo a la generación de biomasa.

La fotosíntesis depende de una serie de factores externos e internos. Los factores internos son las características de hoja (estructura, contenido en clorofila) la acumulación de productos asimilados en los cloroplastos de las hojas, la disponibilidad de agua, de nutrientes minerales y de enzimas, entre otros.

Los factores externos más relevantes son la radiación incidente en las hojas (cantidad y calidad), la temperatura, la humedad ambiental y la concentración de dióxido de carbono y de oxígeno en el entorno.

No obstante, existe cierta compensación entre factores climáticos en ciertos estados de desarrollo y temporalmente, como es el caso de luz y temperatura, de modo que unas peores condiciones de luz pueden compensarse con mejores condiciones térmicas y viceversa (Castilla, 2007).

2.4.1.1.1. Factores externos que influyen la fotosíntesis

Entre los factores más importantes se tienen los siguientes:

2.4.1.1.1.1. Radiación

La cantidad de fotosíntesis realizada por una planta es influida por tres propiedades de la luz: la “calidad” de la luz, su intensidad y su duración.

Solamente una fracción de la radiación solar global es empleada en la fotosíntesis. Esta fracción se conoce como radiación PAR (del inglés “Photosynthetic Active Radiation”). En el rango PAR (400 a 700nm) no todos los fotones de distinta longitud de onda tienen la misma eficiencia fotosintética. En el rango de 500 a 600 nm (color verde) la radiación no es bien absorbida por la clorofila (reflejando parte) dando a las plantas el típico color verde).

El espectro de absorción de los pigmentos fotosintéticos muestra que la luz verde es menos efectiva, estando los picos principales (intervalos de mayor efectividad) en el rojo y en el azul, debido a la absorción de luz por los carotenoides que acompañan a la clorofila en las membranas cloroplásticas. La luz roja es más eficiente que la luz azul, para la fotosíntesis. En un dosel o cubierta vegetal, los estratos interiores reciben radiación con mayor proporción de luz verde que los estratos superiores, que filtran la luz.

Existe una respuesta curvilínea de la fotosíntesis de hojas individuales a la radiación PAR absorbida, si no son limitantes otros factores como CO₂ y temperatura. A baja radiación, la fotosíntesis puede ser inferior a las pérdidas por respiración. Ganancias y pérdidas se igualan en el punto de compensación de radiación. Una planta no puede subsistir mucho tiempo por debajo del punto de compensación. Con alta radiación el aumento de fotosíntesis deja de ser proporcional al crecimiento de radiación, llegando a alcanzar un máximo, que es el punto de saturación de radiación. Cuando la radiación es muy baja la iluminación artificial es más eficiente incrementar la fotosíntesis que cuando la radiación es alta. El exceso de radiación puede dañar el aparato fotosintético; las hojas pueden blanquearse y disminuye la tasa de fotosíntesis.

La radiación controla la fotosíntesis no sólo por su intensidad, sino también a través de las longitudes de onda disponibles y su duración. El nivel de radiación adecuado para saturar el sistema fotosintético de muchas plantas tipo C₃ es alrededor de 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, cuando se suministra durante 16 horas al día, mientras que otras plantas tipo C₄ requieren niveles de 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ o mayores para maximizar su crecimiento. Por el contrario, algunas plantas ornamentales se desarrollan bien con niveles de 10 a 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ durante 8 horas. Se distingue entre plantas de sombra y plantas exigentes en luz, según su respuesta a la radiación. En las plantas de sombra, el punto de saturación se alcanza con poca radiación, lo que no ocurre en plantas exigentes en luz, en las cuales el punto de compensación es más alto (Castilla, 2007).

Las plantas reaccionan a los cambios que ocurren en el espectro de la radiación electromagnética a la que están expuestas a través de las alteraciones en la morfología y funciones fisiológicas que resultan en la adaptación a diferentes condiciones ambientales. (Kasperbauer *et al.*, 1984). Tales alteraciones están medidas por pigmentos, conocidos como fitocromos que tienen picos de absorción, en el rojo y azul ultravioleta regiones del espectro. (Li *et al.*, 2000).

2.4.1.1.1.1. El fitocromo

El fitocromo se ubica en las partes no verdes (y etioladas) de las plantas. El fitocromo parece estar asociado con muy diferentes tipos de respuesta de las plantas. Está constituido

por una molécula muy grande y compleja que puede adoptar diversas formas según el tipo de radiación que recibe.

Bajo la influencia de luz roja (650 nm) el fitocromo (P) adopta una forma (PFR), mientras que si se ilumina con luz roja lejana (FR “far red”, 725 nm) adopta la forma (PR).

La cantidad de fitocromo presente en la planta en forma de PFR se expresa por la relación PFR/PTOTAL. Para producir un determinado efecto morfogénico o bioquímico se debe alcanzar un cierto valor de PFR/PTOTAL. El cociente de PFR respecto al total del fitocromo (PTOTAL) varía entre 0.1 cuando prevalece la radiación roja lejana (FR) y de 0.75 a 0.89 cuando prevalece la radiación roja.

La proporción de radiación roja/roja lejana se altera al ser filtrada la luz por las hojas de los estratos superiores de un dosel vegetal. Por ello los diversos estratos reciben luz con distintos valores de la proporción roja/roja lejana, alterando su fitocromo. Ello se traducirá en una reacción morfogénica o bioquímica diferente.

La cantidad de la luz (distribución de su espectro) es relevante, por tanto, en su acción sobre el fitocromo. Normalmente se requiere poca intensidad de luz para conseguir una respuesta inducida por el fitocromo.

El sistema fitocromo puede detectar la duración de la iluminación diaria (parámetro ambiental constante para cada ubicación) lo que es relevante en aquellas latitudes donde las diferencias en iluminación diaria son grandes a lo largo del año. La intensidad de radiación necesaria para algunas respuestas fotomorfogénicas es tan solo el nivel de luna llena ($0.01 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) pero la mayoría de las respuestas están controladas por niveles mayores de 0.1 a $1.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ (Castilla, 2007).

2.4.1.1.1.2. Fotomorfogénesis

Las plantas utilizan la radiación solar como un suministro de energía y como una fuente de información. La fotomorfogénesis define el efecto de la radiación en el desarrollo de las plantas. La presencia de luz, independientemente de su intensidad siempre que se superen

unos niveles mínimos, genera diversas respuestas en floración, germinación o fototactismos.

La mayor parte de las reacciones fotomorfológicas están inducidas por longitudes de onda en la región del azul (400 a 500 nm) o en la del rojo y rojo lejano (600 a 700 nm y 700 a 800 nm, respectivamente) y controladas por el pigmento “fitocromo”. Las longitudes de onda más relevantes están en torno a 660 nm (en rojo) y a los 725 nm (en el rojo lejano).

Hay tres grupos principales de pigmentos asociados a las principales foto-respuestas de las plantas 1) clorofilas, 2) fitocromo, implicadas en algunos cambios morfológicos, en la percepción de la duración de la luz y en los ritmos diarios que afectan a algunos movimientos de las plantas 3) el β -caroteno o las flavinas, relacionadas con el fototropismo (Castilla, 2007).

2.4.1.1.1.3. Penetración de la luz en el cultivo

Una fracción de la radiación que incide en la parte superior de un cultivo penetra en la vegetación, dependiendo de la cantidad de hojas (es decir, del IAF) y de su disposición en la cubierta vegetal. El coeficiente de extinción, representa la eficiencia con la que la cubierta vegetal intercepta la radiación en sus distintos estratos.

Un cultivo de hojas horizontales necesita menor superficie foliar para interceptar la misma proporción de radiación que otro cultivo con hojas más erectas (que dejan pasar más luz a los estratos inferiores) (Castilla, 2007).

2.4.1.1.1.4. Eficiencia de uso de la radiación solar

Existe una relación lineal entre la acumulación de biomasa (materia seca) en un determinado periodo y la radiación PAR acumulada durante este periodo, que fue interceptada por el cultivo, siempre que no haya otros factores limitantes. La eficiencia de conversión de la radiación interceptada en materia seca, en condiciones de cultivo no limitantes, depende del tipo de planta: plantas C_4 , plantas CAM, plantas C_3 leguminosas, plantas C_3 no leguminosas.

Las plantas C₄ son convertidores de luz en biomasa menos eficientes que las plantas C₃, pero su mecanismo C₄ les permite limitar las pérdidas por foto-respiración (respecto a plantas C₃) por lo que son más productivas (Castilla, 2007).

Mientras que los efectos de la calidad de la luz en las plantas son bien conocidos, la respuesta de las diferentes especies de gestión de la luz es variable (Kim *et al.*, 2004). El café tiene sus orígenes en los bosques de Etiopía, por lo que se cultiva bajo árboles de sombra de la misma forma que el lugar de origen (Anacafé, 2012). Cuando la intensidad lumínica es alta ocurre el cierre de estomas en las hojas del cafeto para protegerse de una transpiración excesiva, lo que trae como consecuencia una disminución en el proceso de fabricación de alimentos de la planta (Monroing, 2000).

Hace algunos años se acostumbraba el uso de hierba para el techo o con largas cañas hechas con material local disponible, como hojas de palma o helecho. Aunque una mejor cobertura puede ser hecha con una malla de plástico, especialmente manufacturada para este mismo uso (Wintgens *et al.*, 2004).

El uso de la malla sombra de color negro es una estrategia utilizada para proteger a las plántulas de café de la radiación directa, reducir la temperatura y evitar quemaduras del sol.

La sombra tradicional para los viveros de café consiste en un techo colocado sobre postes de madera, y con una altura de 2-2.5m de altura a fin de permitir a las personas entrar sin agacharse. Los lazos para los postes y las rejas para el techo son hechos con alambre liso galvanizado (Wintgens *et al.*, 2004).

En la última década han surgido en el mercado mallas de colores que debido a sus propiedades fotométricas mejoran el aprovechamiento de la luz solar. En las mallas de colores, una mayor fracción de la radiación solar pasa a través de los hilos plásticos y es filtrada selectivamente (Ayala *et al.*, 2011).

2.5. Mallas sombra especiales

A continuación se describen algunas de ellas.

2.5.1. Mallas sombra de larga duración

La incorporación de aditivos fotoestabilizadores es práctica común en la fabricación de filmes para prolongar su vida útil. La garantía que suele darse para la duración de estos filmes está condicionada al uso no abusivo de pesticidas, cuantificando en forma de un contenido máximo admisible en cloro y azufre sobre el filme.

2.5.2. Mallas sombra térmicas

Para mejorar la transmisividad del IR-largo de los filmes de PE normal se incorporan aditivos bloqueadores del IR-largo, obteniéndose el polietileno térmico o infrarrojo (PE-IR) que limita la inversión térmica en invernadero, respecto al polietileno normal.

2.5.3. Malla sombra fotoselectivas

Hay muy diversos tipos de filmes fotoselectivos. Los filmes antitérmicos o escudos térmicos estáticos filtran la radiación NIR (IR corta) del espectro solar con lo que limitan la entrada de energía al invernadero, reduciendo la temperatura. Tienen aplicación en zonas de clima cálido o durante el verano, pero no se han extendido por su limitado efecto reductor de temperatura diurna y alto costo.

Una variante de estos escudos térmicos son los filmes termocrómicos o escudos térmicos dinámicos, actualmente en estudio, que filtran la radiación NIR en función de la temperatura. Así, en verano, cuando las temperaturas son altas, filtrarían la radiación NIR limitando el calentamiento del invernadero, mientras que en invierno la dejarían entrar en el invernadero contribuyendo su calentamiento (Castilla, 2007).

Sin embargo, la mayoría de mallas en el uso de los viveros de café son negras, que reducen tanto la transmisión de radiación fotosintéticamente activa como la del infrarrojo cercano (Bastida *et al.*, 2008) y no contribuyen a optimizar la fotosíntesis y fotomorfogénesis, procesos trascendentales en el crecimiento y desarrollo vegetal.

Las mallas de colores pueden fomentar la estimulación diferencial de algunas respuestas fisiológicas reguladas por la luz, tales como la fotosíntesis que producen efectos sobre el crecimiento del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y metabolitos secundarios en respuesta a la incidencia de luz roja (600 a 700 nm) y roja lejana (700 a 800 nm) percibidas por fotoreceptores biológicos, principalmente fitocromos y criptocromos, presentes en pequeñas cantidades en las plantas (Devlin *et al.*, 2007).

2.5.3.1. Malla negra

Las mallas negras transmiten sólo la radiación que pasa a través de los orificios de la malla, ya que los hilos de plástico negro son esencialmente opacos. Las plantas bajo una malla de color con 30 % de sombra realmente captan más luz, que aquellas bajo una malla sombra negra al 30 % (Ayala *et al.*, 2011).

Rodríguez *et al.* (2014) aseguraron que el sombreado de las mallas de acuerdo a su color, altera el desarrollo fenológico de las plantas, extendiendo la duración de sus etapas, en frutos de arándano.

2.5.3.2. Malla aluminizada

La utilización de mallas sombra negras y aluminizadas son utilizadas principalmente en cultivos protegidos de plantas hortícolas para el control de la luz y la temperatura (Ayala *et al.*, 2011). Las mallas aluminizadas se caracterizan por modificar el espectro de transmitancia de la luz, dependiendo de la textura, pigmentación, densidad y porosidad del tejido (Rodríguez *et al.*, 2014).

En las mallas aluminizadas, parte de la luz es reflejada y dispersa (Ayala *et al.*, 2011). En investigaciones con diferentes cítricos de vivero en Brasil crecidos bajo sombreado de malla aluminizada, se observó que el uso de la malla sombra aluminizada adelantó en cuatro meses la producción de plantas preparadas para el trasplante, comparado al tiempo normal. Sin embargo, otros autores, en evaluaciones sobre el crecimiento y producción de flores de anturio (*Anthurium andraeanum* Lindman) cultivadas bajo malla sombra aluminizada en Brasil, afirman que no afecta el inicio de producción en este cultivo ni causó precocidad en la fenología de la flor (Rodríguez *et al.*, 2014).

2.5.3.3. Malla perla

La malla perla tiene una mayor difusión de luz (Shahak *et al.*, 2004). De Acuerdo a Ayala *et al.* (2011) las plantas de tomate crecidas bajo malla sombra perla presentan tallos más gruesos y menos largos, una menor área foliar específica, mayores contenidos de clorofila foliar, un mayor rendimiento y mejor calidad de tomate, comparados con los crecidos con mallas roja, gris, azul, negra y aluminizada. Otras investigaciones, en las que se utilizaron mallas “raschel” de colores rojo, amarillo y perla con 30 a 40 % de sombra, se obtuvieron rendimientos de pimiento morrón de 115 a 135 % más altos, en comparación con los obtenidos con la malla sombra.

2.5.3.4. Malla roja

La malla sombra roja transmite luz del espectro de ondas rojo y rojo lejano por sobre 590 nm (Oren-Shamir *et al.*, 2001) además de que en comparación con la malla sombra negra, difunde más luz, y protege contra radiación UV, evitando la fotodegradación de los cloroplastos (Leite, 2005). El sombreado de las mallas rojas, mejora la relación de luz rojo-rojo lejano en el ambiente. De tal forma que ésta mejor relación de la luz, influye particularmente en los procesos mediados por el fitocromo y también en el proceso fotosintético.

2.5.3.5. Malla gris

La malla sombra color gris no modifica el espectro en el rango visible (Ayala, 2011). Sin embargo, en investigaciones realizadas en arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en Chile, muestran un mayor número de frutos en plantas cuya sombra era emitida por mallas blancas, gris y rojas, en contraste con bayas observadas bajo malla sombra negra, las cuales fueron menores (Retamales *et al.*, 2008).

2.5.3.6. Malla azul

En ornamentales, la malla sombra color azul, crea el efecto de enanismo (Shahak, 2003). Al usar una malla sombra azul, que provea de luz azul, se le atribuye la participación en las respuestas mediadas por fototrópicos, fototropinas y la radiación en otras longitudes de

onda que puede influir en el crecimiento y desarrollo de la planta (Stamps, 2009). Sin embargo, en investigaciones en árboles de durazno con malla, sombra de los colores azul, gris, perla, rojo, amarillo y blanca, aumentaron su crecimiento vegetativo (Shahak *et al.*, 2004).

El crecimiento de los cultivos, en general sigue un patrón de curva sigmoideal. Inicialmente, cuando las plantas son jóvenes y el factor limitante es la intercepción de radiación (poca área foliar), el crecimiento es exponencial. Cuando el área foliar aumenta, la interceptación de radiación depende menos del área foliar y el crecimiento es aproximadamente lineal. Finalmente, al aproximarse la senescencia se frena el crecimiento.

En los órganos complejos, como un tallo compuesto por numerosos entrenudos, cada entrenudo tiene su cinética propia, pero la suma de los crecimientos elementales mantiene la forma sigmoide.

A corto plazo (a escala de horas), el crecimiento de las plantas depende de la fotosíntesis y respiración (balance de carbono) y del estado hídrico de la planta, principalmente. A largo plazo, el proceso productivo está determinado por la acumulación de materia seca, por las fases de desarrollo de la planta, por la distribución de esa materia seca a los órganos cosechables y por la calidad del producto.

2.6. Sustratos

Un buen sustrato es esencial para la producción de plantas de alta calidad. Sus componentes deben poseer propiedades físicas y químicas que, combinadas con un buen manejo, permitan un crecimiento óptimo y desarrollo radicular.

Los nematodos fitoparásitos están ampliamente distribuidos en suelos naturales y cultivados de todas las regiones del mundo. Cualquier planta cultivada puede sufrir un perjuicio importante en su crecimiento cuando existen elevadas densidades de población de estos microorganismos en el suelo o raíces de sus huéspedes (Webster, 1987).

El comercio de plantas de café con sustrato contaminado de nematodos, puede llevar consigo problemas al lugar del establecimiento del cafetal. El uso de material de plantación libre de patógenos es una medida clave para el manejo de enfermedades que afectan a frutales propagados con el uso de sustratos tomados de recursos locales.

De acuerdo con tecnología nueva, se está usando sustratos profesionales a base de turbas y bandejas forestales, en lugar de germinadores llenados con arena de río y trasplantes a bolsas plásticas que contienen mezclas caseras (tierra, gallinaza, etc.) con el fin de reducir en forma drástica los costos, el tiempo de la reproducción, y un manejo amigable con el medio ambiente (Durán, 2009).

Casi nunca se utiliza como sustrato un único material, la razón principal radica en la dificultad de encontrar materiales que tengan por sí solos características adecuadas para el cultivo (Burés, 2007). Por lo general, se usan mezclas de diferentes tipos buscando una textura liviana que facilite el drenaje y la aireación, y que presenten un medio apropiado donde la planta desarrolle un sistema radicular adecuado para prosperar en el terreno definitivo.

2.6.1. Física de sustratos

Existen dos factores principales que, desde el punto de vista físico, distinguen a los sustratos de los suelos naturales; uno es el hecho de que los sustratos tienen en general mayor porosidad, puesto que la mayoría de los materiales que se utilizan como sustratos tienen poros dentro de sus partículas, además de los poros interparticulares, lo que permite aumentar el espacio de poros respecto a un suelo donde los poros se encuentran situados solamente entre las partículas; el segundo factor es que en los sustratos existe un porcentaje más elevado de poros de mayor tamaño. Estas características de los sustratos (más poros y más grandes) son las que determinan su adecuación para el cultivo en contenedor, justificando de este modo que el desarrollo histórico de los sustratos hortícolas tengan su origen en el propio cultivo en contenedor.

2.6.1.1. Peat moss

Turba es un nombre genérico que se aplica a diversos materiales que proceden de la descomposición de los vegetales, dependiendo su naturaleza del origen botánico y de las condiciones climáticas predominantes durante su formación, que determinan a su vez el estado de descomposición. Principalmente, son el régimen hídrico y el flujo de agua los que regulan el tipo de vegetación y por lo tanto la turba formada.

El *Sphagnum* es un musgo que continúa su crecimiento por yemas apicales mientras que las partes bajas de la planta mueren, así se van depositando capas de este musgo que van creciendo sobre sus propios restos, conformando finalmente las turberas. Las turbas de *Sphagnum* pueden estar formadas por diversas especies de este musgo, como el *Sphagnum papillosum*, *S. imbricatum*, *S. magellanicum*, *S. rubellum*, *S. plumulosum* o *S. fuscum*. Las plantas que pertenecen al género *Sphagnum* se caracterizan por un sistema de transporte único constituido por células lignificadas que permanecen mecánicamente estables después de la muerte de la planta. Las paredes celulares del sistema de transporte son porosas, permitiendo el movimiento vertical y horizontal del agua y de los solutos, incluso si la planta está muerta. Esta característica es la que proporciona la propiedad más apreciada de las turbas de *Sphagnum*, su gran capacidad de retención de agua.

Parece que no hay ningún microorganismo capaz de descomponer el Sphagnol (sustancia de los musgos parecida a la lignina) anaeróbicamente, por lo que la estructura principal de las plantas que forman la turba queda inalterada. Las células de *Sphagnum* son de pared gruesa lignificada en forma de anillos, espirales o placas, hecho que evita que se colapsen cuando se secan (Burés, 1997).

2.6.1.2. Agrolita

La agrolita es una roca volcánica inerte, con un pH de 7-7.5, que no tiene capacidad de intercambio iónico o de amortiguador, mantiene el agua en su superficie de área irregular, de forma similar a la arena, no se deteriora, es rígida y no se comprime fácilmente, creando buena porosidad.

2.6.1.3. Micorriza

El término micorriza, fue propuesto en 1885 por Frank, significa literalmente hongo-raíz, y define asociaciones simbióticas, mutualistas, no patógenas, entre raíces de plantas y micelios de hongos, en las que ambos resultan beneficiados.

El carácter heterótrofo de los hongos les condiciona a obtener su fuente carbonada a partir de otros organismos. Los hongos micorrícicos reciben de las plantas los azúcares que necesitan para desarrollarse, y captan del suelo los nutrientes minerales y el agua que las plantas necesitan para crecer, y se los ceden a éstas (Honrubia, 2009).

2.6.1.4. PSD

El potenciabilizador solubilizador dihidro (PSD) es un fertilizante orgánico que contiene y libera los nutrientes necesarios para ayudar a que el suelo y el cultivo tenga un buen desenvolvimiento y un excelente aprovechamiento además de que funciona como mejorador de suelos. El PSD también contribuye a (Robledo, 2014):

- Estabiliza el pH.
- Aporta calcio, potasio, azufre, fósforo y silicio solubles.
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico.
- Incrementa la disponibilidad de nutrientes.
- Mejora la amonificación.
- Desmineraliza el suelo.
- Facilita la disponibilidad de agua para las plantas.
- Evita la reproducción de flora y fauna nociva.
- Mejora la oxigenación del suelo.
- Propicia el enraizamiento.
- Solubilliza el fósforo y potasio.

2.6.1.5. Lombricomposta

El compostaje es un proceso de fermentación bajo condiciones controladas que tiene por finalidad transformar la materia orgánica en compuestos estables desde el punto de vista químico y obtener una configuración física del sustrato no variable a medio plazo. El producto final del compostaje se denomina compost o material compostado. Es fuente de

humus y materia orgánica, y representa una alternativa ambiental y económicamente viable como material de producción de plantas en vivero (Burés, 1997).

2.7. Contenedores

La producción de plantas en contenedor es un conjunto de tecnologías generadas para hacer eficientes los procesos de producción masiva de plantas de calidad. La palabra contenedor proviene del inglés *container*, que significa recipiente o envase. En México, se le denomina producción en contenedor a la utilización de envases rígidos, principalmente de polietileno de alta densidad y poliestireno expandido (unicel), que pueden colocarse en soportes de manera individual (tubete) o formando un solo bloque denominado charola. El número de celdas que forman la charola determina el tamaño y capacidad de la misma, es decir el número de plantas por charola y el volumen del contenedor.

En el sistema de producción de plantas en contenedor, se sustituyen las bolsas negras de plástico tradicionales y se utilizan sustratos como la turba de musgo (peat moss), agrolita y vermiculita que reemplazan a la tierra de monte, mitigando el impacto que la extracción de grandes cantidades de ésta, tiene sobre el medio ambiente.

Entre las ventajas de la producción de plantas en contenedor están la obtención de grandes cantidades de plantas en poco espacio, optimización de mano de obra, sistema que evita la malformación de las raíces, reducción de costos y de tiempo de producción (Santiago *et al.*, 2007).

Los contenedores más usados son las bolsas. El tamaño de las bolsas varía de acuerdo a la planta que permanecerá en la bolsa y al tamaño que alcance al momento de trasplantarse.

También se han usado tubetes plásticos o conos maceteros que tiene como ventaja la reducción de costos de producción por planta, debido a que al compararla con otra modalidad requiere menor espacio, tiempo, volumen de suelo, fertilizantes, plaguicidas, agua, mano de obra y costo de transporte.

Para llenar, el sustrato debe de estar ligeramente húmedo para que al llenar los tubetes, se apelmace a través de golpes suaves en su parte inferior. Con un metro cúbico de sustrato se puede llenar 5,000 a 5,500 tubetes (PROCAFÉ, 2006).

2.7.1. Capacidad de contenedor

Las bolsas de propagación utilizadas en los viveros de café permiten producir plantas en menor tiempo, con una mayor capacidad de soportar el estrés debido al trasplante a campo y una mayor eficiencia de recursos, ya que se puede modificar el ambiente de la plántula mediante el uso de diferentes tamaños de bolsas, lo que repercute en la morfología y fisiología de la planta (Birchler *et al.*, 1998).

El tamaño del contenedor depende de la duración de la planta en el vivero, ya que éste determina la cantidad de agua y nutrientes minerales que están disponibles para el crecimiento de la planta, los contenedores más grandes, ocupan más espacio, ya que hay una mayor reserva de agua y nutrientes, y alargan el tiempo necesario para producir un cepellón firme, sin embargo, los costos de producción aumentan (Arizaleta *et al.*, 2008; Luna *et al.*, 2012).

Para disminuir costos, se busca que provean un menor volumen, pero sin afectar el crecimiento de las plantas (Prieto *et al.*, 2007).

De acuerdo con Arizaleta *et al.* (2008), el tamaño del contenedor, afecta las variables de crecimiento, ya que en bolsas de menor tamaño, las raíces fueron de menor longitud y mayor diámetro, y en bolsas de mayor tamaño, hubo mayor acumulación de biomasa en la raíz.

Como ejemplo, en la producción de especies forestales tropicales, el tubete de 310 mL es el más adecuado para la producción de plantas en vivero, ya que por su capacidad, pueden alcanzar el diámetro necesario para sobrevivir en el campo, tienen unas líneas verticales llamadas costillas, que sirven de guía a las raíces, evitando malformaciones, permite una producción de 225 plantas por m², son reutilizables, y presentan una vida útil de entre cinco y ocho años (Santiago *et al.*, 2007).

2.7.2. Color de contenedor

La temperatura del medio del crecimiento de la raíz, está determinada por el color y las propiedades aislantes del contenedor. Los contenedores negros pueden traer consigo temperaturas letales cuando se encuentran a pleno sol, mientras que los blancos, reflejan más y se calientan menos (Luna *et al.*, 2012).

En viveros, por lo regular, los contenedores son de color negro, mientras que los colores utilizados por los floricultores son variados, como el color ocre, verde, entre otros.

2.8. Análisis de crecimiento

El peso seco o biomasa de una planta o de un órgano de la planta (y su evolución a lo largo del tiempo) es el parámetro comúnmente usado para cuantificar el crecimiento.

La tasa de crecimiento de cultivo (TCC, expresada en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) o tasa neta de crecimiento del cultivo o de acumulación de materia seca cuantifica la producción de biomasa por unidad de superficie de suelo y tiempo. A veces, se designa como tasa de acumulación de materia seca o biomasa.

Algunos indicadores usados para caracterizar el crecimiento son la tasa de crecimiento del tallo principal y la tasa de aparición de hojas.

2.8.1. El desarrollo

El desarrollo es una noción cualitativa del estado de la planta. Es el cambio ordenado hacia un estado más elevado o complejo de la planta. Los intervalos de tiempo entre distintos estados del desarrollo constituyen las fases del desarrollo. El desarrollo de un cultivo sigue un patrón básico en función de sus propiedades genéticas, que puede ser modificado, aunque no cambiado, por el medio.

La diferenciación floral es un estado de desarrollo y tiene lugar cuando se cumplen una serie de condiciones. Unas son de orden interno.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

El municipio de Huatusco se encuentra entre los paralelos 19°04' y 19°13' de latitud norte; los meridianos 96°41' y 97°04' de longitud oeste; y comprende una altitud que va de los 400 a 2000 msnm (Figura 4). Colinda al norte, con el estado de Puebla, y los municipios de Totutla, Sochiapa y Comapa; al este con los municipios de Comapa y Zentla; al sur con los municipios de Zentla, Tepatlaxco, Ixhuatlán del café y Coscomatepec; al oeste con el municipio de Coscomatepec y el estado de Puebla. Presenta un rango de temperatura de 16 a 26°C y un rango de precipitación de 1,100 a 1,600 mm anuales.



Figura 4. Localización del municipio de Huatusco, Ver. (INEGI, 2009).

3.1.1. Localización del área experimental

El trabajo de campo se llevó a cabo en el Centro Regional Universitario de Oriente (Figura 5), que se encuentra en el municipio de Huatusco, Ver., en la longitud Oeste 96°57'00" y en la latitud norte 19°08'48" a 1,344 msnm. La zona de estudio se caracteriza por tener

clima templado húmedo con la fórmula climática C(m)'b(i)'g, con una temperatura media anual de 17.12°C, el mes más caliente es mayo con 25.8 y el mes más frío es enero con 19.2 °C (Servicio Meteorológico Nacional, 2010).

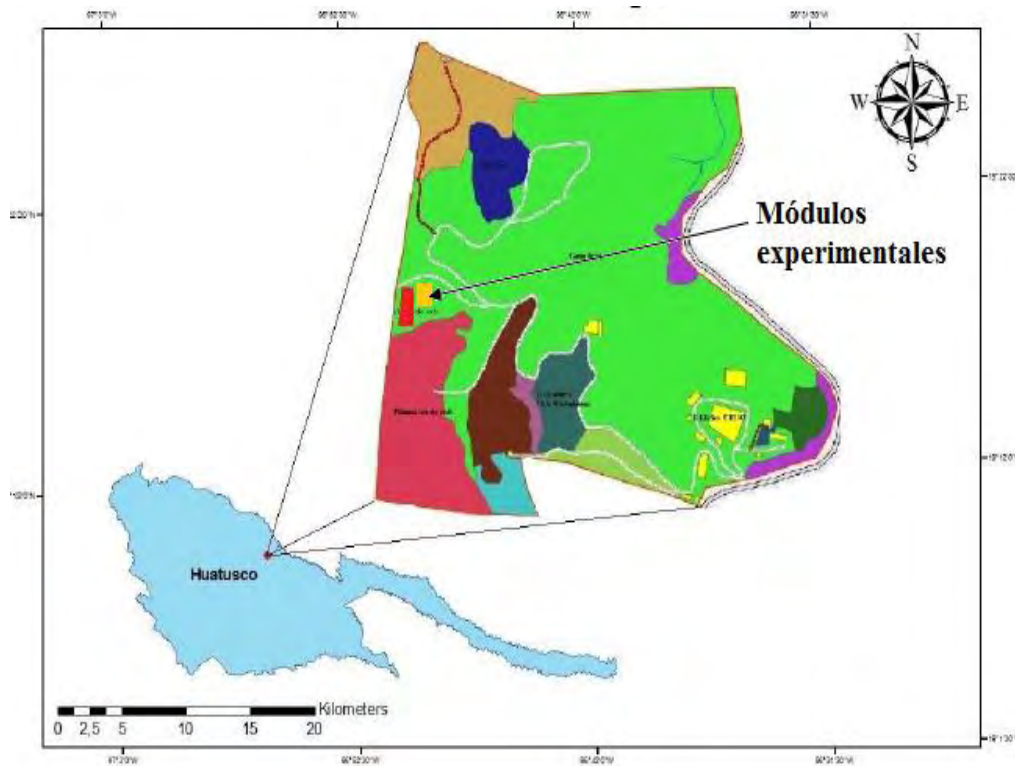


Figura 5. Localización del área experimental (Robledo, 2014).

3.2. Secuencia metodológica

A continuación se describen las actividades de forma secuencial y los materiales empleados en la presente investigación.

3.2.1. Variedad Geisha

Material seleccionado por Sylvain en 1952, cuando exploraban Etiopía, buscando materiales con resistencia a la roya. Es una planta vigorosa con abundante ramificación. Sus ramas se desarrollan en un ángulo de 45°. Las hojas nuevas son bronceadas, las hojas adultas son gruesas coriáceas, cóncavas, oscuras y de color mate. Las ramas presentan una

curvatura característica en forma de S. Frutos más grandes y largos que los de la variedad Typica, de color rojo y presenta una maduración tardía.

En México esta variedad fue introducida por el INMECAFÉ y se cultiva en algunas regiones cafetaleras de Veracruz y Oaxaca. Existe interés por esta variedad debido a sus características de resistencia, productividad y calidad. Esta variedad se evaluó en Oaxaca, el peso del fruto maduro de 1.8 g, rendimiento agroindustrial de cereza a pergamino, 277 kg de pergamino a oro (55.7kg), con 85 % de granos normales y 21.6 % de grano superior a zaranda 19. En la evaluación sensorial destacan notas aromáticas a caramelos, frutales y chocolates (Escamilla, 2007).

3.3. Secuencia experimental

Para establecer el experimento, se aplanó el terreno con maquinaria pesada y se procedió a la instalación de los módulos: trazado, la preparación de los hoyos donde van los postes que sostienen la estructura de la malla sombra y los hoyos donde se colocaron las mesas que soportan las charolas con las plantas (Figuras 6-9).



Figura6. Preparación del terreno.



Figura 7. Inicio del establecimiento de los módulos.



Figura 8. Establecimiento de los módulos experimentales.



Figura 9. Módulos experimentales establecidos.

Luego se colocaron las mallas sombra de manera aleatoria. Se prosiguió a la colocación de las mesas, con sus respectivos perfiles (Figura 10).



Figura 10. Colocación de perfiles para las mesas de trabajo.

Ya establecidos los módulos experimentales, se hizo las mezclas correspondientes a evaluar, las cuales fueron:

- a) Mezcla de sustrato 1: la mezcla se preparó con 22.58 % de Peat Moss, 11.67 % de Agrolita, 63.3 % de lombricomposta, 0.97 % de micorriza o Peat coffee y 1.45 % de PSD.
- b) Mezcla de sustrato 2: la mezcla se preparó con el 61 % de tierra, 36.5 % de lombricomposta, 1.45 % de PSD y 0.97 % de Peat coffee. Para esta mezcla en especial se hizo una desinfección con agua con temperatura aproximada a los 100 °C, como método de prevención de problemas fitosanitarios (Figura 11).



Figura 11. Desinfección del sustrato o mezcla 2.

Seguido de esto, se llenaron las charolas y se pusieron sobre las mesas. Cada módulo tuvo seis mesas, de las cuales, cuatro se utilizaron para este experimento, (las cuatro mesas centrales). En cada mesa se tenía un color de contenedor. El acomodo de los colores de las charolas en los módulos es diferente, se aleatorizó la distribución (Figuras 12 a la 15).



Figura 12. Llenado de charolas.

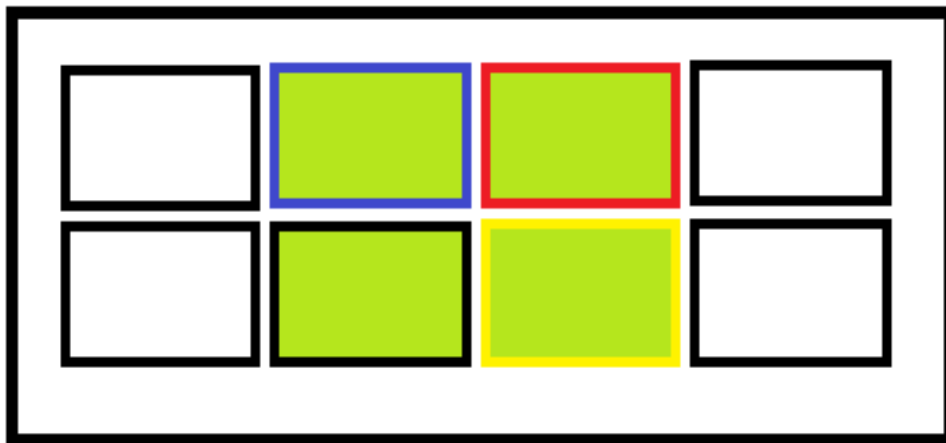


Figura 13. Distribución de charolas por color por cada módulo experimental.



Figura 14. División por mesa.

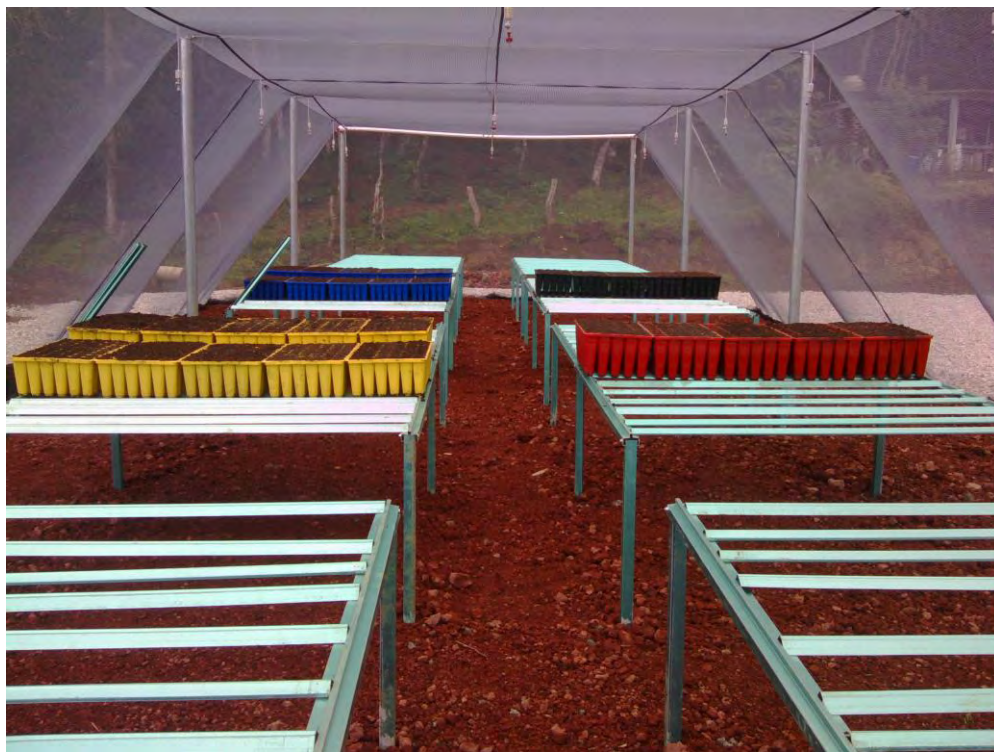


Figura 15. Acomodo de charolas en los módulos

Dentro de cada mesa, se tenía a su vez dividido en dos el factor Sustrato. A su vez, ese factor se dividió en tres tamaños de contenedor (Figura 16).

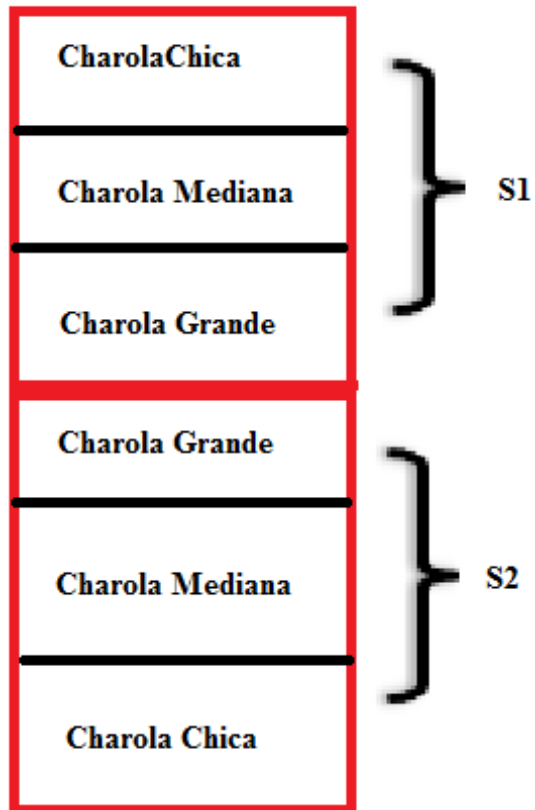


Figura 16. División por tamaño de charola por mesa.

Ya establecidas las charolas, se procedió al trasplante de plántula (Figura 17)



Figura 17. Trasplante de plántulas a las charolas.

3.4. Diseño experimental

El diseño experimental fue un factorial distribuidos los tratamientos en bloques completos. Los bloques corresponden al color de malla sombra (gris, aluminizada, azul, negra, roja, perla), los cuales incluyen los factores color de contenedor (con los niveles azul, amarillo, negro, rojo), factor sustrato (con los niveles mezcla de sustrato 1 y 2) y el factor tamaño de contenedor que incluyó los niveles chico, mediano y grande.

3.4.1. Tratamientos

El diseño de tratamientos se presenta en la Figura 18.

		Factor sustrato						
		S1			S2			
Factor: sombra	Malla	Factor: Color de contenedor	Factor tamaño de contenedor					
Gris		Azul	Chico	Mediano	Grande	Chico	Mediano	Grande
		Negro	Chico	Mediano	Grande	Chico	Mediano	Grande
		Rojo	Chico	Mediano	Grande	Chico	Mediano	Grande
		Amarillo	Chico	Mediano	Grande	Chico	Mediano	Grande
Aluminizada		Azul						
		Negro						
		Rojo						
		Amarillo						
Azul		Azul						
		Negro						
		Rojo						
		Amarillo						
Negra		Azul						
		Negro						
		Rojo						
		Amarillo						
Roja		Azul						
		Negro						
		Rojo						
		Amarillo						
Perla		Azul						
		Negro						
		Rojo						
		Amarillo						

Figura 18. Diseño de los tratamientos.

3.4.2. Modelo estadístico

El modelo empleado en esta investigación considera el efecto de cada variable considerada en campo, bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + S_j + C_k + CC_p + E_{ij}$$

Dónde:

μ = Media general

Y_{ijkp} = Respuesta del i -ésimo tratamiento, de la j -ésima subtratamiento, de la k -ésimo factor del p -ésimo subfactor.

B_i = Efecto bloque.

S_j = Efecto Sustrato.

C_k = Efecto tamaño contenedor.

CC_p = Efecto color contenedor.

E_{ijkp} = Error experimental.

3.4.3. Variables a evaluar

Las variables consideradas en este estudio fueron las siguientes:

- a) Altura de la planta (cm): Los valores de esta variable se determinaron midiendo la distancia desde el cuello de la raíz (punto donde termina la raíz y comienza el tallo) hasta la yema apical. Esta medición se realizó cada 15 días a partir del estado de mariposa (DPEM).
- b) Diámetro del tallo (mm): Se midió en el cuello de la raíz, igual que la variable anterior, cada 15 días DPEM.
- c) Número de par de hojas: Se contó el número de hojas presentes en las plantas de cada unidad experimental, cada 15 DPEM.
- d) Peso de materia en base fresco total (g). Fue el peso total de la planta, es decir de la parte aérea y del sistema radicular. Esta variable se evaluó al momento de que la planta estuvo en

condiciones para trasplante al campo, esto es, al finalizar el trabajo de vivero. La muestra fue de seis plantas por unidad experimental.

e) Peso de materia en base fresco aéreo (g): Se pesó la parte aérea de las mismas plantas muestreadas, separada del sistema radicular; al final del trabajo en vivero, como se señaló antes.

f) Peso de materia en base fresco radicular (g): Se pesó la parte de la raíz de dichas plantas, libre de sustrato, al término del trabajo en vivero.

g) Peso de materia en base seco total (g): Se secaron las seis plantas que fueron pesadas en fresco, considerando la parte aérea y el sistema de raíz, en una estufa a 40 °C por 24 horas. Posterior a esto, se separaron la parte aérea y radicular para determinar sus pesos de forma individual en una balanza digital Mca. Esnova.

Durante el desarrollo de la investigación en campo, el tamaño de muestra considerado fue de cuatro plantas por unidad experimental, esto es, por color y tamaño de contenedor, y sustrato empleado. En total se tuvieron 96 datos por cada malla sombra considerada, que fueron seis colores.

3.4.4. Análisis estadístico

Se realizaron los análisis de varianza y la prueba de separación de medias por el método de Tukey, a una significancia del 0.05 y 0.01, para todas las variables de estudio. Para ello se utilizó como herramientas una hoja de cálculo de Excel y el programa estadístico R Project versión 3.3.2; y el programa IBM SPSS STATISTICS 22.

3.5. Materiales

3.5.1. Para los viveros

Maquinaria pesada

Flexómetro

Postes de acero

Cemento

Alambre de acero

Malla sombra color aluminizada

Malla sombra color gris

Malla sombra color azul

Malla sombra color negra

Malla sombra color perla

Malla sombra color roja

Sistema de riego

Agujas de plástico

Tubos cuadrados de aluminio

Perfiles de aluminio

Contenedores hidropónicos de 60 cavidades (170 ml.) color azul, rojo, amarillo y negro

Contenedores hidropónicos de 54 cavidades (220 ml.) color azul, rojo, amarillo y negro

Contenedores hidropónicos de 40 cavidades (400 ml.) color azul, rojo, amarillo y negro

Peat Moss

Agrolita

Lombricomposta

Micorriza o Peat coffee

PSD. (Potencializador Solubilizador Dihidro)

Suelo

Termómetros marca HTC-1

Termómetros de suelo marca TFA Análogos

Luxómetro marca Steren

Agribon

3.5.2. Material vegetal

Plántulas variedad Geisha

3.5.3. Para la toma de datos:

Libreta de campo

Regla

Vernier

Cámara fotográfica

Báscula marca Esnova

Periódico

Cartón

Deshidratador

IV. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante la presente investigación, donde se evaluaron seis colores de malla sombra, dos mezclas de sustrato, cuatro colores y tres tamaños de contenedor, para la producción de planta de café. En el Anexo 1 se presenta un collage de imágenes para ilustrar el desarrollo de esta investigación.

4.1. Altura de planta

Las plántulas se transplantaron en un lapso de una semana y al inicio del experimento presentaban una altura de 5 cm, excepto las del módulo azul, que ya mostraban una ligera ventaja al mes de su trasplante con 6 cm de altura.

La toma de datos de altura de planta se realizó cada 15 días; en la Figura 19 se presentan los datos promedio por color de la malla sombra. Se observa una mayor altura en las plantas de de malla sombra de color azul, sin embargo, al final las de la malla de color rojo son las de mayor altura. Al final, el color de malla sombra rojo es el que presenta una mayor altura con 29.85 cm, en segundo lugar, el color azul con 29.10 cm, enseguida la de color perla con una altura promedio de 28.66 cm, después la de color aluminio con 27.53 cm, después la color negra con 26.21 cm y al final la de color gris con 25.01 cm. Asimismo se observó un mayor crecimiento a partir del mes de marzo, debido al incremento de la temperatura ambiente.

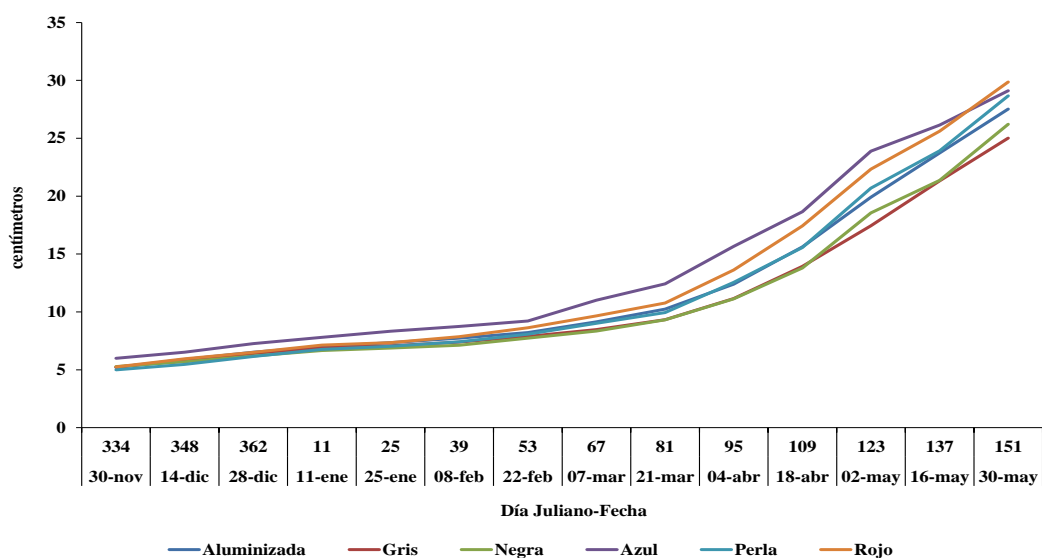


Figura 19. Altura promedio de la planta de café por color de malla sombra.

En función del tamaño del contenedor (Figura 20), la altura de planta presentó diferencias al final del trabajo, las plantas en el contenedor grande tuvieron la mayor altura con 32.2 cm en promedio, seguido del mediano y chico con 27.5 y 23.5 cm, respectivamente.

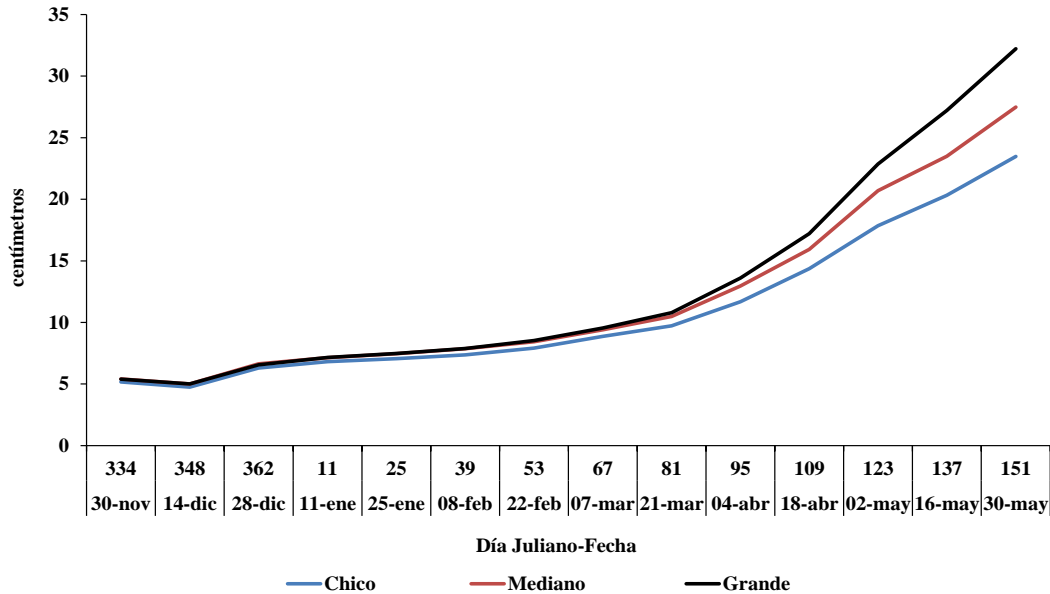


Figura 20. Altura promedio de la planta de café por tamaño de contenedor.

La altura de planta no presenta diferencias debidas al color de contenedor (Figura 19), puede decirse que estos colores son indiferentes y no afectan el crecimiento de las plantas.

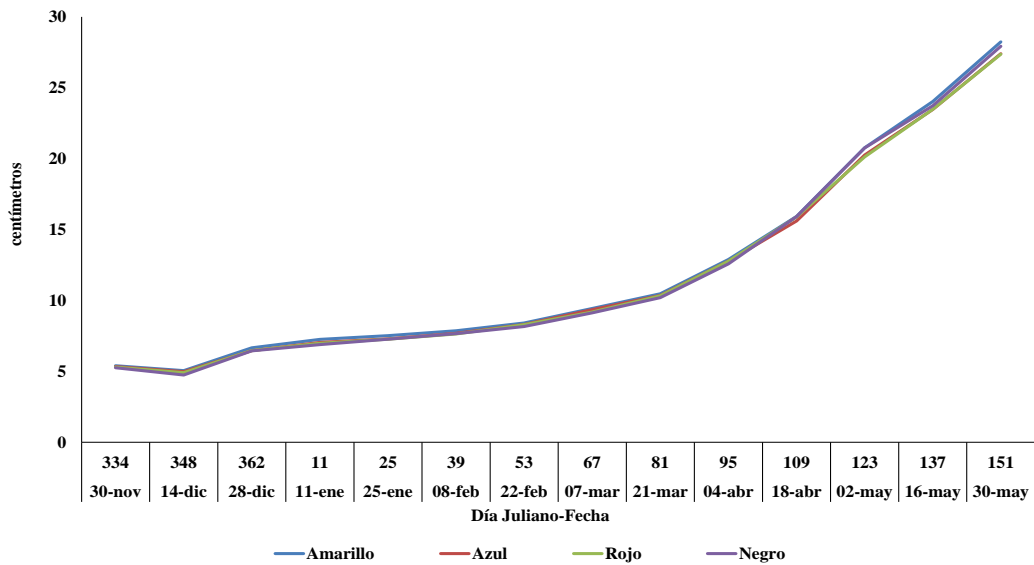


Figura 21. Altura promedio de la planta de café por color de contenedor.

La altura promedio de las plantas con respecto a las dos mezclas de sustratos presentaron una tendencia similar al inicio del trabajo, sin embargo, la mezcla del sustrato 1 presentó al final el mayor efecto sobre esta variable, donde se tuvo una altura promedio de 29.11 cm, y en la mezcla del sustrato 2 fue de 26.34 cm (Figura 22).

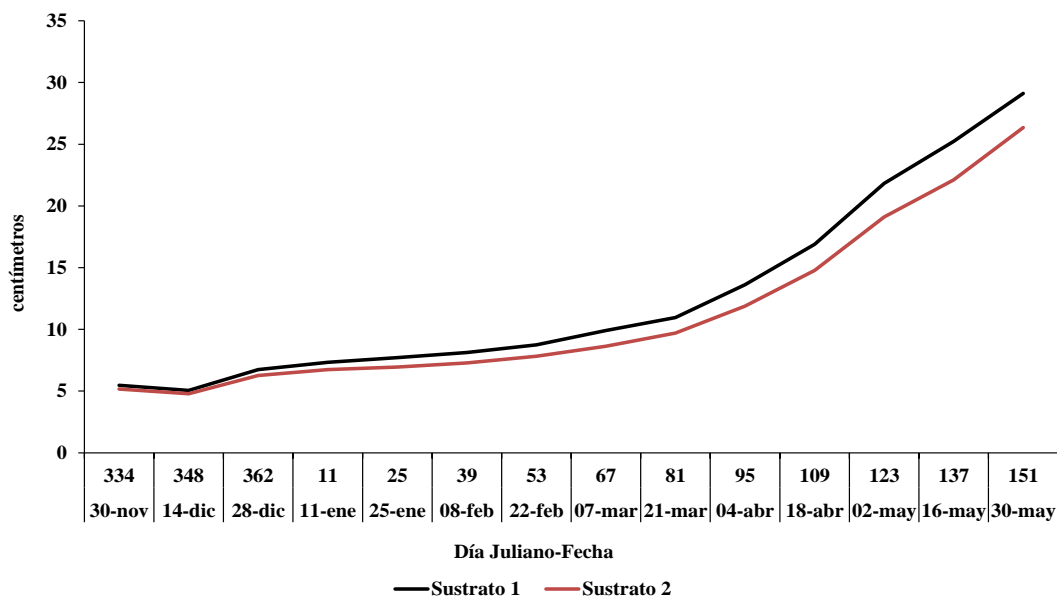


Figura 22. Altura promedio de la planta de café por mezcla de sustrato.

4.2. Diámetro de tallo

En la Figura 23, se muestra el crecimiento del diámetro del tallo de acuerdo a cada color de malla sombra, donde el color de malla sombra perla es la que presentó el mayor diámetro con 3.34 mm, y el menor valor en la de color azul con 2.73 mm.

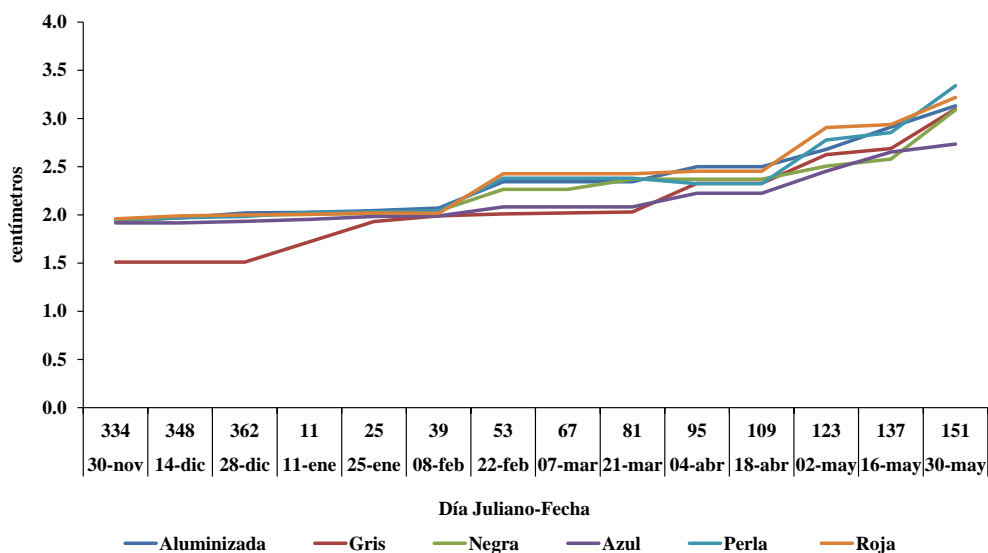


Figura 23. Diámetro del tallo promedio de plantas de café por color de malla sombra.

En la Figura 24 se presentan los datos del diámetro del tallo por tamaño de contenedor durante el desarrollo del experimento, y es notable que en los primeros tres meses tuvieron un comportamiento muy similar, sin embargo, las diferencias se empezaron a hacer evidentes a mediados de febrero, muy relacionado con el incremento de la temperatura ambiental. Al final de las evaluaciones, las plantas con mayor diámetro se tuvieron en el contenedor grande con un diámetro de 3.3 mm, seguidas del tamaño mediano con un promedio de 3.0 mm, y el tamaño chico con 2.9 mm.

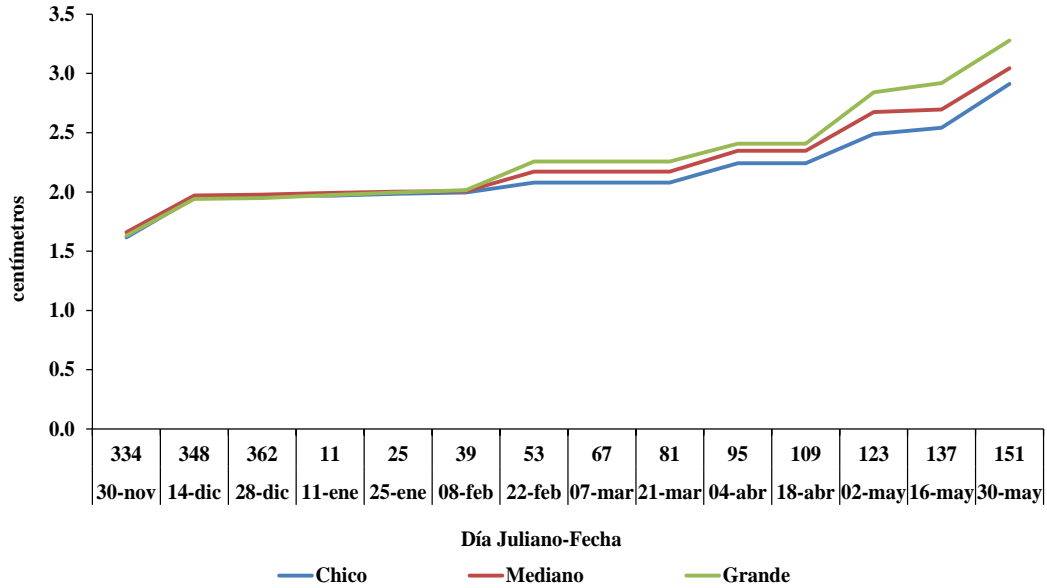


Figura 24. Diámetro del tallo promedio de plantas de café por tamaño de contenedor.

El diámetro de las plantas de café por color de contenedor (Figura 26), no presentó diferencias al final del trabajo, por lo cual se deduce que este factor no influye en el desarrollo de esta variable.

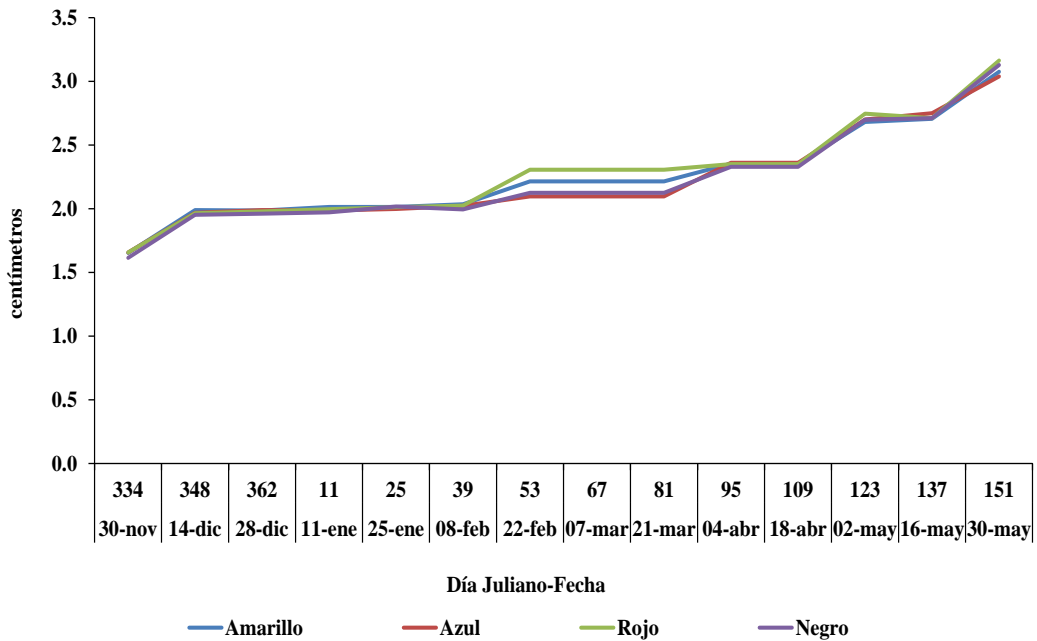


Figura 25. Diámetro del tallo promedio de plantas de café por color de contenedor.

Para el factor tipo de sustrato, las plantas de café presentaron mayor diámetro de tallo en el sustrato 1 con 3.17 mm, mientras que las del sustrato 2 alcanzaron un diámetro menor con 3.03 mm (Figura 26).

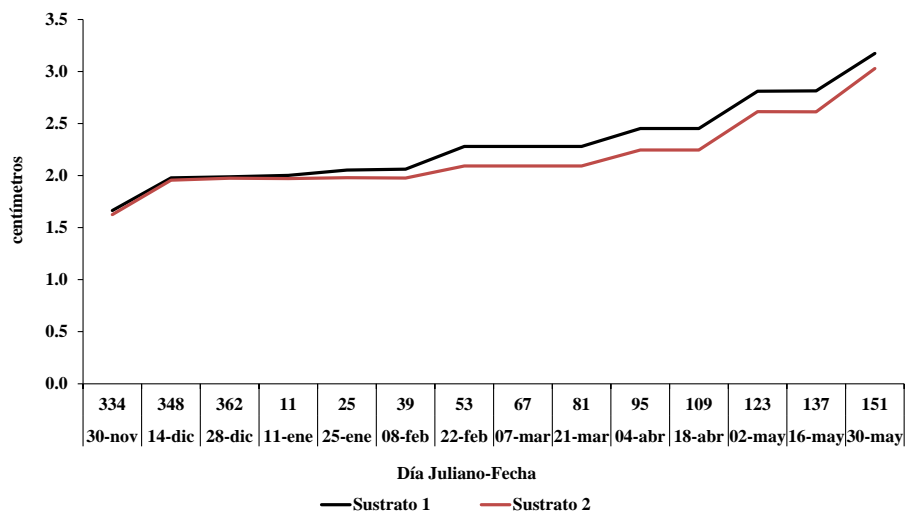


Figura 26. Diámetro del tallo promedio de plantas de café por mezcla de sustrato.

4.3. Número de pares de hojas

Esta variable mostró una diferencia en función del color de la malla sombra (Figura 27). El mayor número de pares de hojas se presentó en la malla de color perla con 6.7 y el menor en la malla de color azul con 6.40.

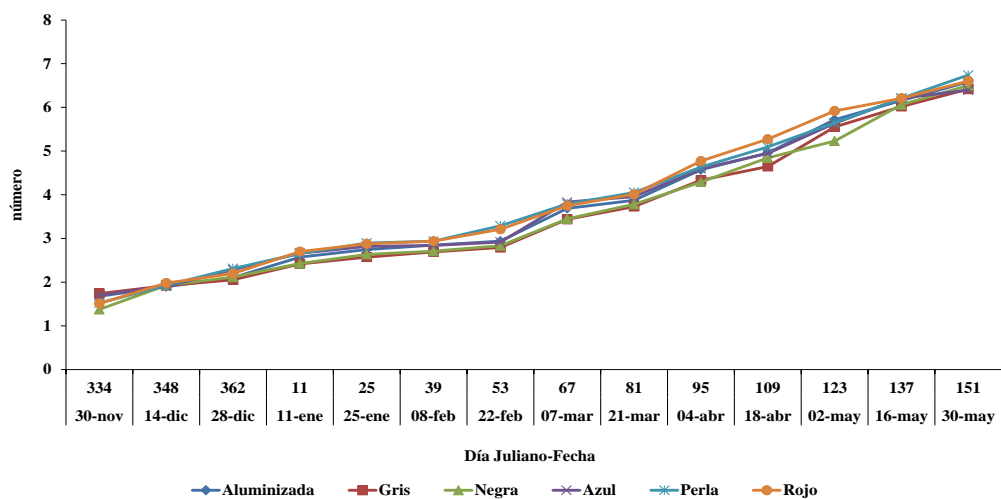


Figura 27. Pares de hojas promedio de las plantas de café por color de malla sombra.

Para el factor tamaño del contenedor el mayor número de pares de hojas en las plantas de café se presentó en el de tamaño grande, el cual también exhibieron mayor altura y diámetro las plantas de este cultivo. El valor final fue de 7.1 pares de hojas para el tamaño grande, 6.5 para el tamaño mediano y 6.1 para el tamaño chico (Figura 28).

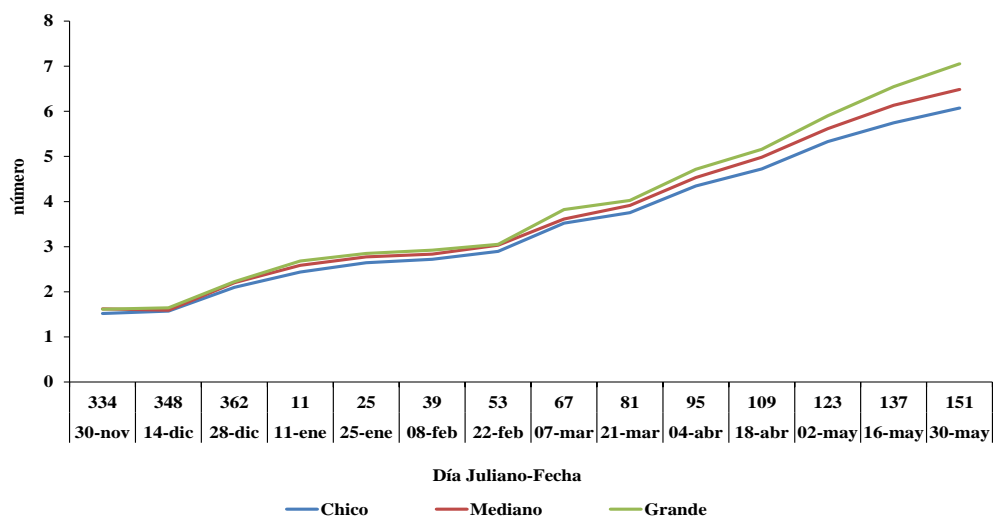


Figura 28. Pares de hojas promedio de las plantas de café por tamaño de contenedor.

El número de pares de hojas por color del contenedor no presentaron diferencias, los valores obtenidos fueron similares, lo cual permite observar que el color del contenedor no influye en la aparición de pares de hojas (Figura 29).

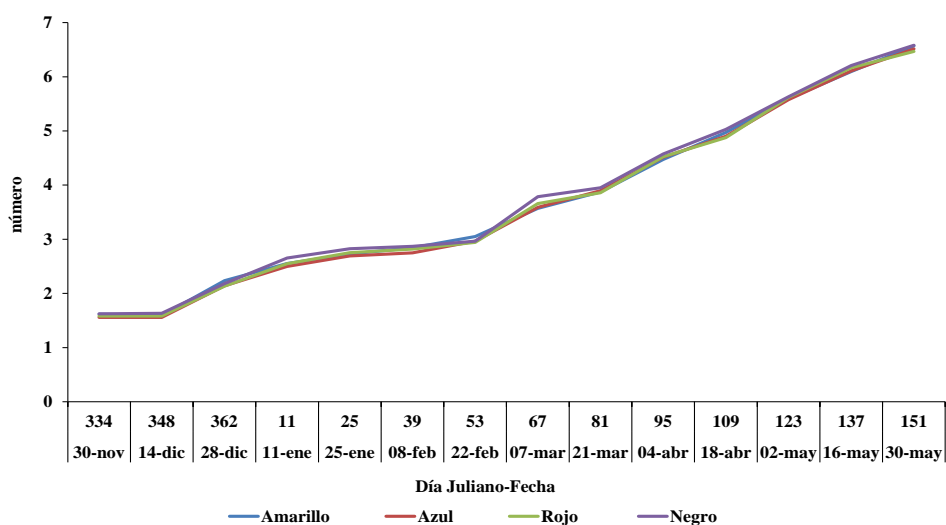


Figura 29. Pares de hojas promedio de las plantas de café por color de contenedor.

En la Figura 30 se presentan los valores obtenidos con el factor mezcla de sustrato, donde se observó un promedio mayor en el sustrato 1 con 6.62 pares de hojas y de 6.46 para la mezcla de sustrato 2.

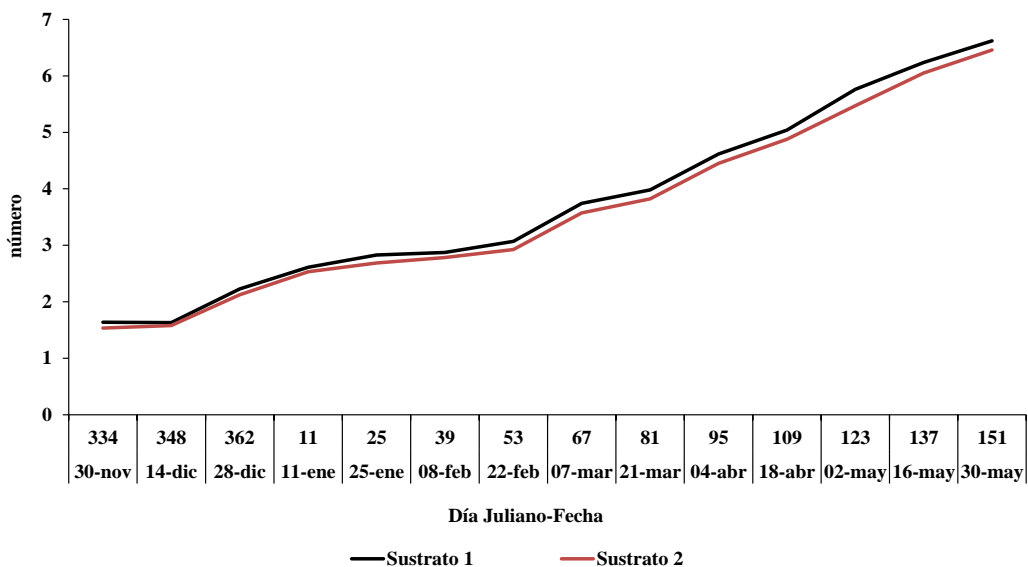


Figura 30. Pares de hojas promedio de las plantas de café por mezcla de sustrato.

4.4. Peso de materia en base fresca

Se consideró el peso fresco total de las plantas muestreadas por cada tipo de malla sombra evaluada, y después se separó la parte aérea de la raíz para tener sus pesos de forma individual. Los resultados mostraron que las mallas de color perla y roja sobresalieron con respecto a los otros cuatro colores, con valores de 12.34 y 12.33 g, respectivamente. El promedio de peso fresco total de las mallas de color aluminizada, gris, negra y azul fueron de 10.49, 10.05, 9.82 y 9.75, respectivamente, (Figura 31).

El peso de raíz tuvo un valor promedio el 60 % menor con respecto al peso aéreo de todas las plantas de café, en las mallas sombras evaluadas, esto es, 3.23 y 7.69 g, respectivamente. El mayor peso de raíz fue en la malla color perla y el mayor peso aéreo fue en la malla color rojo.

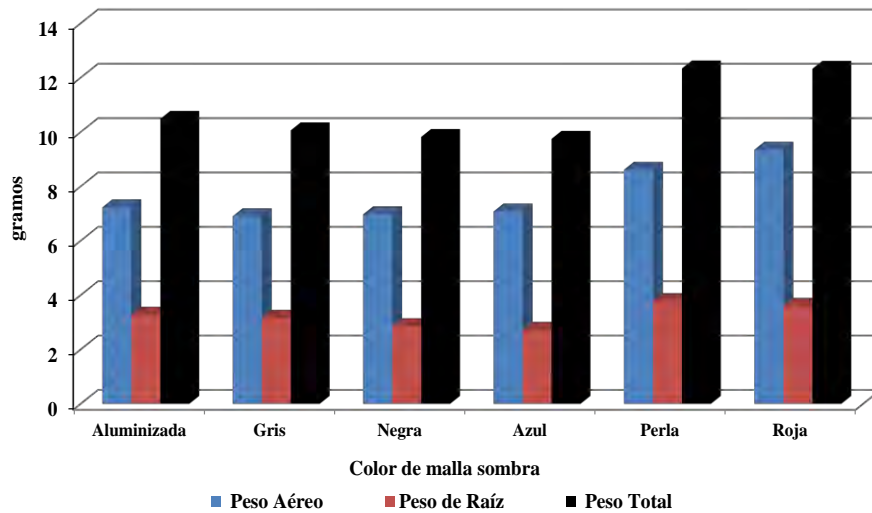


Figura 31. Peso de materia en base fresca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café, por color de malla sombra.

En función del contenedor evaluado, el de tamaño grande generó el mayor peso fresco total con 13.69 g y el menor peso fue el de tamaño chico con 8.64 g (Figura 32).

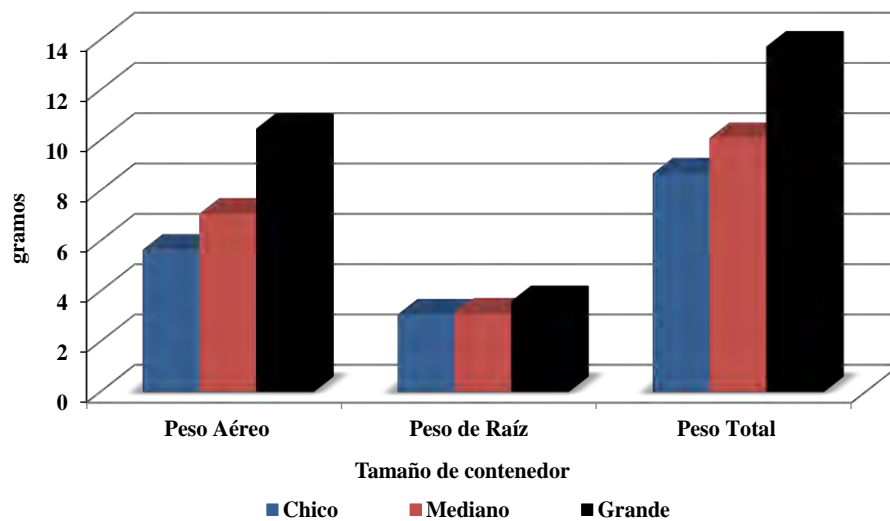


Figura 32. Peso de materia en base fresca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café, por tamaño de contenedor.

En el contenedor de color azul se obtuvo el mayor peso fresco total de la planta de café, con 11.15 g y en el rojo sólo 10.34 g (Figura 33).

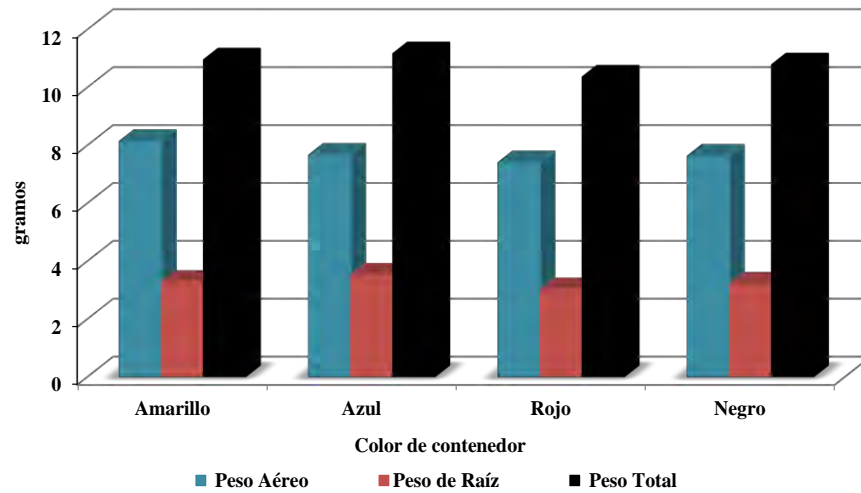


Figura 33. Peso de materia en base fresca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café, por color de contenedor.

En función del tipo de sustrato empleado, el mayor peso fresco total se obtuvo en el sustrato 1 con 11.5 g y en el sustrato 2 con 10.1 g (Figura 34).

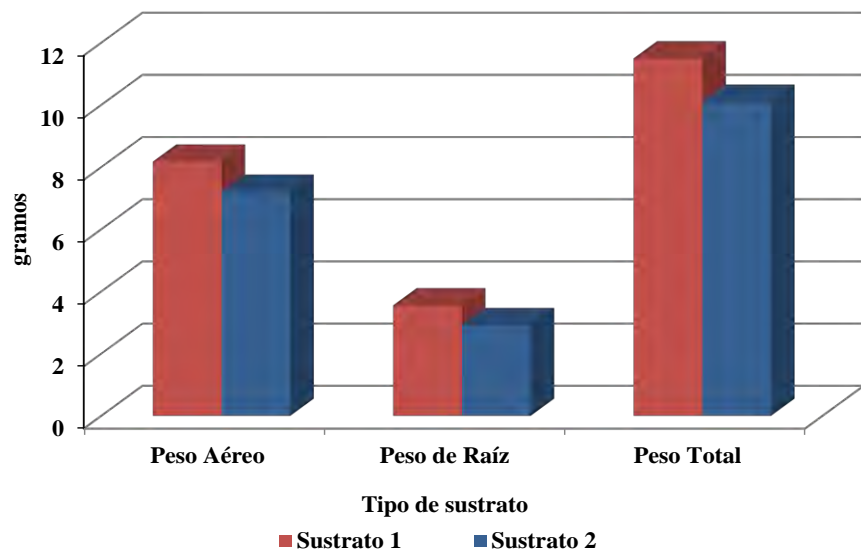


Figura 34. Peso de materia en base fresca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café, por tipo de sustrato.

4.5. Peso de materia en base seca

Una vez determinado el peso fresco de las plantas se procedió a secarlas y obtener así el peso seco total y de la parte aérea y la raíz.

De acuerdo al tipo de malla sombra evaluada, los resultados mostraron que las mallas de color roja y perla sobresalieron con respecto a los otros cuatro colores, con valores de 3.3 y 3.2 g, respectivamente. El promedio de peso fresco total de las mallas de color aluminizada, gris, negra y azul fueron de 2.4, 2.26, 2.41 y 2.31, respectivamente (Figura 35).

La tendencia del peso seco fue similar al del peso fresco, descrito anteriormente.

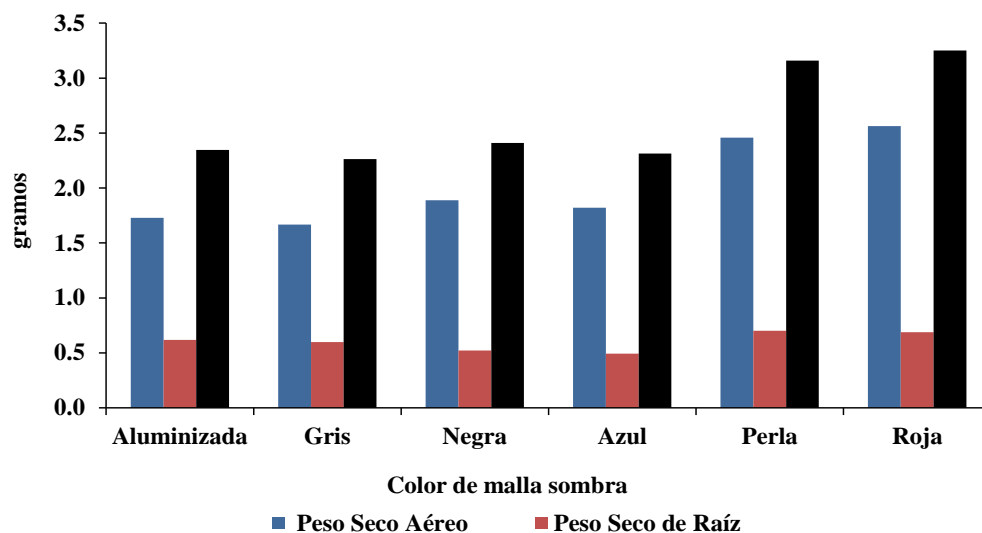


Figura 35. Peso de materia en base seca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café, por color de malla sombra.

Igualmente se reporta la tendencia del peso seco con respecto al peso fresco, en función del tamaño de contenedor. Es así que el contenedor grande presentó el mayor peso seco con 3.51 g y el de tamaño chico fue el menor peso con 1.93 g (Figura 36).

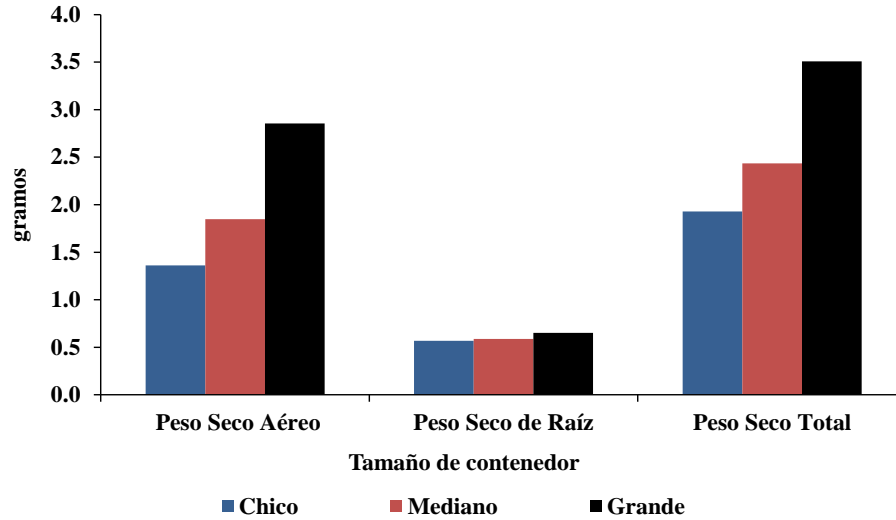


Figura 36. Peso de materia en base seca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café, por tamaño de contenedor.

En relación al color del contenedor, se observó que las plantas del contenedor de color amarillo presentaron el mayor peso seco con 2.70 g, mientras que en de color rojo fue el menor con 2.56 g (Figura 37).

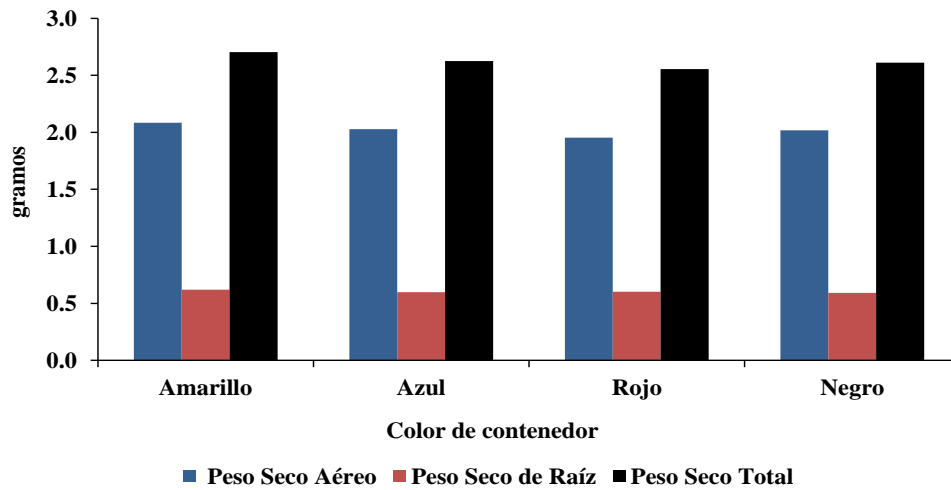


Figura 37. Peso de materia en base fresca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café, por color de contenedor.

Finalmente, con los dos sustratos evaluados se obtuvo el mayor peso seco total con 2.78 g en el sustrato 1 y el sustrato 2 reportó el menor valor con 2.47 g (Figura 38).

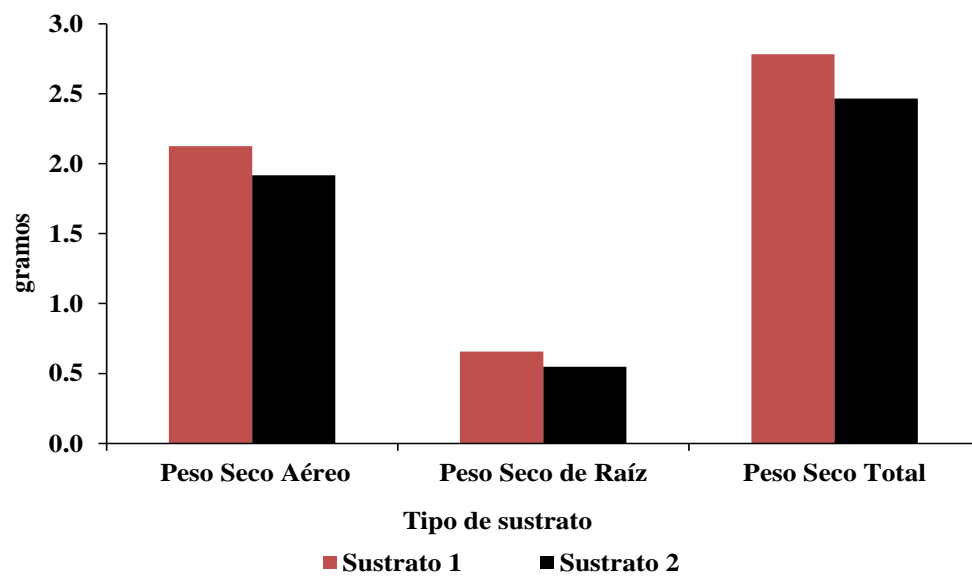


Figura 38. Peso de materia en base seca de la parte aérea, de raíz y total de plantas de café, por tipo de sustrato.

V. DISCUSIÓN

A continuación se describen los resultados de forma estadística y la interpretación de las observaciones encontradas en el estudio, a través del análisis de varianza y la prueba de separación de medias cuando existió significancia estadística a un $p=0.05$ o 0.01 , según fue el caso. Para la evaluación del comportamiento en sustrato, se realizó la prueba t de student, para un par de muestras independientes, por sólo tener dos grupos.

5.1. Efecto del color de la malla sombra sobre la altura de planta

Este efecto tuvo una diferencia estadística altamente significativa (Tabla 1). La prueba de comparación de medias por el método Tukey ($p<0.05$) (Tabla 2), reportó que el tratamiento con mayor altura de planta fue la malla sombra de color rojo con 29.85 cm.

Tabla 1. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre la altura de planta.

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Entre grupos	5	68.123	13.625	6.42**	0.001
Dentro de grupos	18	38.224	2.124		
Total	23	106.347			

Tabla 2. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre la altura de planta.

Color de Malla	Altura Promedio (cm)	Categoría Estadística
Roja	29.9	a
Azul	29.1	ab
Perla	28.7	ab
Aluminizada	27.5	abc
Negra	26.2	c
Gris	25.0	c

Nota: letras iguales presentan igualdad estadística $p=0.05$

Estos resultados muestran concordancia con lo señalado con Castilla (2007) en donde la luz roja favoreció una mayor altura de planta, debido a la absorción de luz por los carotenoides que acompañan a la clorofila en las membranas cloroplásticas, elementos importantes en el proceso fotosintético, que como resultado generan una mayor expresión fenotípica.

5.2. Efecto del tamaño del contenedor sobre la altura de planta

El efecto del tamaño del contenedor es altamente significativo para la variable de respuesta altura de la planta (Tabla 3). La prueba de comparación de medias, mostró que el tratamiento con mayor altura fue el de contenedor grande, con 32.21 cm (Tabla 4). Tal como lo afirman Arizaleta *et al.*(2008) y Luna *et al.* (2012), los contenedores con mayor capacidad, permiten una mayor reserva de humedad y nutrientes que están disponibles para la planta. Robledo (2014) planteó que el PSD adiciona un alto contenido de calcio y minerales, lo cual promueve un mayor crecimiento en la pared celular del tallo, y plantas con mayor altura, lo que en este trabajo se observó.

Tabla 3. ANOVA del efecto del tamaño de contenedor sobre la altura de planta.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	2	153.05	76.52	24.57**	0.000
Dentro de grupos	9	28.02	3.11		
Total	11	181.07			

Tabla 4. Prueba de Tukey para el efecto del tamaño de contenedor sobre la altura de la planta.

Tamaño de Contenedor	Altura Promedio (cm)	Categoría Estadística
Grande	32.2	a
Mediano	27.5	b
Chico	23.5	c

Nota: letras iguales presentan igualdad estadística $p=0.05$

5.3. Efecto del color del contenedor sobre la altura de planta

Se observó que el color del contenedor (Tabla 5) no presentó diferencia estadística significativa sobre la altura de la planta. Por lo tanto, el color no influyó sobre la altura de las plantas de café.

Tabla 5. ANOVA del color del contenedor sobre la altura de planta.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	3	2.09	0.69	0.15 ^{NS}	0.921
Dentro de grupos	12	52.57	4.38		
Total	15	54.65			

5.4. Efecto de la mezcla de sustrato sobre la altura de planta

Sí existió diferencia estadística significativa en esta variable (Tabla 6), esto es, se observó mayor altura de planta con el sustrato S1 (22.58 % de Peat Moss, 11.67 % de Agrolita, 63.3% de lombricomposta, 0.97 % de micorriza o Peat coffee y 1.45 % de PSD).

Tabla 6. ANOVA del efecto de la mezcla de sustrato sobre la altura de planta.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	1	15.31	15.31	4.17 ^{**}	0.080
Dentro de grupos	6	22.04	3.67		
Total	7	37.33			

Hasta el momento se observa una mayor influencia del color rojo de la malla sombra, del tamaño grande del contenedor y del sustrato 1, factores que influyen directamente en la fisiología y crecimiento de la planta de café.

5.5. Efecto del color de la malla sombra sobre el diámetro de tallo

El efecto del color de la malla sombra presentó diferencia estadística altamente significativa (Tabla 7).

Tabla 7. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre el diámetro de tallo.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	5	0.81	0.16	6.61**	0.001
Dentro de grupos	18	0.44	0.03		
Total	23	1.25			

La prueba de comparación de medias (Tabla 8), evidenció que la malla sombra color perla presentó el mayor diámetro promedio con 3.3 mm. Esto puede deberse a que existe una mayor difusión de la luz (Shahak *et al.*, 2004) y las plantas no entran en una competencia por luz, entonces, su tallo no presenta etiolación, tal como sucedió con plantas de tomate probadas por Ayala *et al.* (2011), que además presentaron una menor área foliar.

Tabla 8. Prueba de Tukey del efecto del color de la malla sombra sobre el diámetro de tallo.

Color de Malla	Diámetro Promedio (mm)	Categoría Estadística
Perla	3.3	a
Roja	3.2	a
Aluminizada	3.1	a
Gris	3.1	a
Negra	3.1	ab
Azul	2.7	b

Nota: letras iguales presentan igualdad estadística $p=0.05$

5.6. Efecto del tamaño de contenedor sobre el diámetro de tallo

Existió diferencia estadística altamente significativa en esta variable (Tabla 9). La prueba de medias (Tabla 10) mostró que en el contenedor grande se obtuvo el mayor diámetro promedio con 3.3 mm.

Tabla 9. ANOVA del efecto del tamaño de contenedor sobre el diámetro de tallo.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	2	0.39	0.19	7.15**	0.013
Dentro de grupos	9	0.25	0.02		
Total	11	0.64			

Tabla 10. Prueba de Tukey del efecto del tamaño de contenedor sobre el diámetro de tallo.

Tamaño de Contenedor	Diámetro Promedio (mm)	Categoría Estadística
Grande	3.3	a
Mediano	3.0	ab
Chico	2.9	b

Nota: letras iguales presentan igualdad estadística $p=0.05$

Estas observaciones coinciden con lo reportado por Santiago *et al.* (2007), que en especies forestales tropicales, atribuyeron un diámetro del tallo mayor a una mayor capacidad del contenedor.

5.7. Efecto del color del contenedor sobre el diámetro de tallo

Este efecto no presentó diferencia estadística significativa (Tabla 11). El color del contenedor no influyó en el diámetro de tallo, por lo cual da lo mismo usar cualquier color, de acuerdo a los datos obtenidos en este trabajo, y bajo las condiciones en las que se trabajó.

Tabla 11. ANOVA del efecto del color del contenedor sobre el diámetro de tallo.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	3	0.02	0.01	0.13 ^{NS}	0.940
Dentro de grupos	12	0.50	0.04		
Total	15	0.52			

5.8. Efecto de la mezcla de sustrato sobre el diámetro del tallo

Se observó que esta variable tuvo diferencia estadística significativa (Tabla 12).

Tabla 12. ANOVA del efecto de la mezcla de sustrato sobre el diámetro del tallo.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	1	0.04	0.04	1.25 [*]	0.305
Dentro de grupos	6	0.2	0.03		
Total	7	0.24			

Como la altura de la planta, el diámetro del tallo está influenciado por la mezcla del sustrato, el cual aporta los nutrimentos necesarios para el desarrollo de la planta. Así el sustrato 1, el cual está compuesto por 22.58 % de Peat Moss, 11.67 % de Agrolita, 63.3 % de lombricomposta, 0.97 % de micorriza o Peat coffee y 1.45 % de PSD, presentó el mayor diámetro de tallo. Varios elementos de lo que se compuso esta mezcla beneficiaron el desarrollo radicular y de la planta, como son la micorrizas, el abono de lombricomposta, quienes mejoran la capacidad de intercambio catiónico en el sustrato. El Peat Moss y la Agrolita mejoran la estructura del sustrato, favoreciendo la aireación y el flujo de humedad.

5.9. Efecto del color de la malla sombra sobre la presencia de pares de hojas

Se encontró diferencia estadística altamente significativa de esta variable (Tabla 13), La prueba de medias (Tabla 14) muestra que el color de malla sombra Perla es el que tiene mayor número de pares de hoja. Se reconoce que el color de la malla sombra tiene influencia sobre la altura de la planta y por lo tanto, promueve la aparición de nuevos pares de hojas.

Tabla 13. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre la presencia de pares de hojas.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	5	0.33	0.07	1.83**	0.150
Dentro de grupos	18	0.66	0.03		
Total	23	0.99			

Tabla 14. Prueba de Tukey para efecto del color de la malla sombra sobre la presencia de pares de hojas.

Color de Malla	Pares de hojas Promedio	Categoría Estadística
Perla	6.7	a
Roja	6.6	ab
Aluminizada	6.6	ab
Negra	6.5	b
Gris	6.4	c
Azul	6.4	c

Nota: letras iguales presentan igualdad estadística $p=0.05$

5.10. Efecto del tamaño de contenedor sobre la presencia de pares de hojas

El efecto del tamaño de contenedor tuvo un efecto altamente significativo (Tabla 15).

Tabla 15. ANOVA del efecto del tamaño de contenedor sobre la presencia de pares de hojas.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	2	1.91	0.95	150.52**	0.000
Dentro de grupos	9	0.05	0.006		
Total	11	1.96			

La prueba de medias (Tabla 16), mostró que el tamaño de contenedor grande, presentó un mayor número de pares de hojas con 7.1 en promedio. Sin embargo, en la variedad caturra evaluada por Arizaleta *et al.* (2008), quienes manejaron tres medidas de bolsa (13x15 cm; 15x19 cm; 18x23 cm), no encontraron un efecto en el número de pares de hojas, pero en otras variables evaluadas, las bolsas de mayor capacidad, presentaron ventajas sobre las bolsas más pequeñas.

Tabla 16. Prueba de Tukey para el efecto del tamaño de contenedor sobre la presencia de pares de hojas.

Tamaño de Contenedor	Pares de hojas Promedio	Categoría Estadística
Grande	7.1	a
Mediano	6.5	b
Chico	6.1	c

Nota: letras iguales presentan igualdad estadística $p=0.05$

5.11. Efecto del color de contenedor sobre la presencia de pares de hojas

El color de contenedor no tuvo un efecto estadístico significativo (Tabla 17). Similar respuesta se tuvo en las otras variables evaluadas con relación al color del contenedor empleado en este trabajo.

Tabla 17. ANOVA del efecto del color de contenedor sobre la presencia de pares de hojas.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	3	0.02	0.01	0.26 ^{NS}	0.855
Dentro de grupos	12	0.23	0.02		
Total	15	0.25			

5.12. Efecto de la mezcla del sustrato sobre la presencia de pares de hojas

Esta variable sí presentó una diferencia estadística significativa en los pares de hojas (Tabla 18).

Tabla 18. ANOVA del efecto de la mezcla del sustrato sobre la presencia de pares de hojas.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	1	0.05	0.052	6.16 ^{**}	0.047
Dentro de grupos	6	0.05	0.008		
Total	7	0.1			

Las mezclas empleadas en esta investigación sí tuvieron un efecto en el desarrollo y aparición de pares de hojas. En la Figura 31 podemos observar que el S1 muestra valores superiores.

5.13. Efecto del color de la malla sombra sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta

El efecto del color de la malla sombra fue altamente significativo, sobre el peso de materia en base fresca de la planta (Tabla 19). La prueba de medias (Tabla 20) reportó que los tratamientos con mayor peso promedio de materia en base fresca, fueron los colores de malla sombra perla y roja, con 12.3 g. Como lo reportaron Casierra *et al.* (2011) en un

estudio hecho en remolacha, en el que las plantas expuestas a estos colores se vieron favorecidas por una mayor absorción de luz por parte de las clorofilas, ya que al proporcionar luz roja y menor permeabilidad a la luz solar, la tasa de fotosíntesis es mayor, y por lo tanto, existe una mayor acumulación de materia en base fresca.

Tabla 19. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	5.00	29.66	5.93	10.48**	0.000
Dentro de grupos	18.00	10.19	0.57		
Total	23.00	39.85			

Tabla 20. Prueba de Tukey para el efecto del color de la malla sombra sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta.

Color de Malla	Peso Fresco Promedio (g)	Categoría Estadística
Perla	12.3	a
Roja	12.3	a
Aluminizada	10.5	b
Gris	10.1	b
Negra	9.8	b
Azul	9.7	b

Nota: letras iguales presentan igualdad estadística $p=0.05$

5.14. Efecto del color de la malla sombra sobre el peso de materia en base seca de toda la planta

El efecto del color de la malla sombra presentó un alto valor significativo (Tabla 21). En la prueba de medias (Tabla 22), se observó que el tratamiento con mayor peso promedio de materia en base seca de las plantas fue en la malla sombra color perla, con 3.3 g. Este dato tiene la misma tendencia que lo obtenido en el peso de materia en base fresca.

Tabla 21. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre el peso de materia en base seca de toda la planta.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	5	4.11	0.82	25.38**	0.000
Dentro de grupos	18	0.58	0.03		
Total	23	4.70			

Tabla 22. Prueba de Tukey para el efecto del color de la malla sombra sobre el peso de materia en base seca de toda la planta.

Color de Malla	Peso Seco Promedio (g)	Categoría Estadística
Perla	3.3	a
Roja	3.2	a
Aluminizado	2.4	b
Gris	2.3	b
Negro	2.3	b
Azul	2.3	b

Nota: letras iguales presentan igualdad estadística $p=0.05$

5.15. Efecto del tamaño del contenedor sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta

El efecto de los diferentes tamaños de contenedor fue altamente significativo (Tabla 23). Tal como Arizaleta *et al.* (2008) reportaron en la variedad Caturra, en el tratamiento de bolsas de mayor capacidad, hubo una mayor acumulación de biomasa aérea y radicular; como se comentó anteriormente, existe una mayor reserva de nutrimentos y de humedad, factores que benefician el desarrollo y crecimiento de las plantas.

Tabla 23. ANOVA del efecto del tamaño del contenedor sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	2	54.03	27.01	26.09**	0.000
Dentro de grupos	9	9.31	1.03		
Total	11	63.35			

En la prueba de medias (Tabla 24), se reporta que el tratamiento con mayor peso de materia en base fresca promedio fue el tamaño de cavidad grande con 13.7 g.

Tabla 24. Prueba de Tukey para del tamaño del contenedor sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta.

Tamaño de Contenedor	Peso Fresco Promedio (g)	Categoría Estadística
Grande	13.7	a
Mediano	10.0	b
Chico	8.7	b

Nota: letras iguales presentan igualdad estadística $p=0.05$

5.16. Efecto del tamaño del contenedor sobre el peso de materia en base seca de toda la planta

El efecto del tamaño de contenedor fue altamente significativo (Tabla 25). La prueba de medias (Tabla 26) reportó que el tamaño de contenedor grande presentó el valor más alto de peso de materia en base seca promedio con 3.5 g. Arizaleta *et al.* (2008) señalaron que contenedores (bolsas) de mayor capacidad usados en la variedad caturra no sólo mostraron mayores valores en peso seco radicular, sino también en peso seco aéreo.

Tabla 25. ANOVA del efecto del tamaño del contenedor sobre el peso de materia en base seca de toda la planta.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	2	5.18	2.59	14.83**	0.001
Dentro de grupos	9	1.57	0.17		
Total	11	6.75			

Tabla 26. Prueba de Tukey para efecto del tamaño del contenedor sobre el peso de materia en base seca de toda la planta.

Tamaño de Contenedor	Peso Seco Promedio (g)	Categoría Estadística
Grande	3.5	a
Mediano	2.4	b
Chico	1.9	b

Nota: letras iguales presentan igualdad estadística $p=0.05$

5.17. Efecto del color del contenedor sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta

Esta variable no presentó diferencia estadística significativa en el peso de materia en base fresca (Tabla 27), por lo tanto, no importa el color de contenedor que se utilice en los viveros de café.

Tabla 27. ANOVA del efecto del color del contenedor sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	3	2.49	0.82	0.41 ^{NS}	0.744
Dentro de grupos	12	23.84	1.98		
Total	15	26.32			

5.18. Efecto del color del contenedor sobre el peso de materia en base seca de toda la planta

Tampoco existió diferencia estadística significativa en esta variable (Tabla 28), misma respuesta que en el efecto sobre el peso de materia en base fresca.

Tabla 28. ANOVA del efecto del color del contenedor sobre el peso de materia en base seca de toda la planta

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	3	0.18	0.06	0.27 ^{NS}	0.845
Dentro de grupos	12	2.68	0.22		
Total	15	2.86			

5.19. Efecto de la mezcla de sustrato sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta

Esta variable sí presentó diferencia estadística significativa (Tabla 29). En el capítulo anterior en la Figura 35, podemos observar que la mezcla de sustrato S1 presenta los valores más altos del peso en materia en base fresca.

Tabla 29. ANOVA del efecto de la mezcla de sustrato sobre el peso de materia en base fresca de toda la planta.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	1	3.69	3.69	3.52*	0.109
Dentro de grupos	6	6.3	1.05		
Total	7	10			

5.20. Efecto de la mezcla de sustrato sobre el peso de materia en base seca de toda la planta

Asimismo, no se tuvo diferencia estadística significativa en esta variable (Tabla 30).

Tabla 30. ANOVA del efecto de la mezcla de sustrato sobre el peso de materia en base seca de toda la planta.

Fuente de variación	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	1	0.19	0.19	1.24*	0.307
Dentro de grupos	6	0.94	0.15		
Total	7	1.13			

Son múltiples los factores que pueden afectar o beneficiar el desarrollo de las plantas de café dentro de un vivero, y con base a los resultados obtenidos se dio cumplimiento a los objetivos planteados y la hipótesis se acepta.

VI. CONCLUSIONES

1. La hipótesis de trabajo se acepta, bajo la afirmación de que el crecimiento de las plantas de café en la etapa de vivero está influenciado por el uso de diversos colores de malla sombra, sustrato y tipo de contenedor, lo que se tradujo en diferencias significativas en la producción y calidad de plantas.
2. Para las variables de respuesta: diámetro de tallo, número de par de hojas, peso de materia en base fresca y en base seca, la malla sombra que presentó los mayores valores fue la de color perla; sólo en la altura de las plantas la malla sombra de color roja fue superior, bajo las condiciones de trabajo, en la zona de Huatusco, Veracruz.
3. La transición del uso de nuevos colores de malla sombra en los viveros de la región de Huatusco, resulta conveniente de acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, por lo que deberá ser considerado el color perla para la instalación de nuevos viveros bajo este concepto tecnológico.
4. El tamaño del contenedor que presentó los valores más positivos en todas las variables de respuesta fue el grande, con capacidad de 400 ml.
5. El color de contenedor no presentó ningún efecto sobre las variables evaluadas.
6. Los contenedores son relativamente nuevos en los viveros de café, sin embargo, su característica de ser reutilizados y su duración (8-10 años) presenta una ventaja ambiental, ya que en las fincas es muy común encontrar bolsas de plástico, las cuales tienen menor tiempo de vida útil.
7. Asimismo, la mezcla de sustratos presentó efecto en las variables de respuesta evaluadas, donde sobresalió la mezcla de sustrato S1.
8. La introducción de nuevos elementos tecnológicos en la construcción y manejo de viveros cafetaleros, son una opción técnica viable para incrementar y mejorar la calidad de las plantas de café, bajo las condiciones en las que se desarrolló la presente investigación.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar con la evaluación de mezclas de sustratos, esto en busca de materiales locales y sobre todo sustentables, que generen plantas con mayor calidad.
2. Se recomienda continuar con evaluaciones de color de malla sombra en otras zonas cafetaleras del estado de Veracruz, para encontrar la que mejor característica presente bajo condiciones ambientales semejantes o no a las de la zona de estudio de la presente investigación.
3. Ante la grave problemática que presenta el sector cafetalero en todo México, se sugiere establecer más cantidad de viveros tecnificados; los resultados obtenidos en este estudio pueden servir de base para nuevas y futuras investigaciones en el área.

VII. LITERATURA CITADA

1. Aguirre, F. 1998. El cultivo del café en México. En: <http://vinculando.org/mercado/cafe/cafemex.html>. Fecha de consulta: 28 de marzo de 2016.
2. Anacafe. 2012. Importancia de la sombra en el cultivo de café. En: https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=13NOT:NT_Importancia_sombra_cafe. Fecha de consulta el 1 de junio de 2015.
3. Aragón, G.C. 2006. Cafeticultura, inequidad y pobreza. Productores indígenas de café de la sierra nororiente de Puebla. Problemas y alternativas. CONACYT. Colegio de Posgraduados. 25 pp.
4. Arizaleta, M., Pire, R. 2008. Respuesta de plántulas de cafeto al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia*. 42(1): 47-55.
5. Ayala, T.F., Zatarain, L.D.M., Valenzuela, L.M., Partida, R.L., Velázquez, A.T.J., Díaz, V.T., Osuna, S.J A. 2011. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por malla sombra. *Revista Terra Latinoamericana*. 29(4): 403-410.
6. Bastida, T.A., Ramírez, A.J.A. 2008. Los invernaderos en México. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo. 233 pp.
7. Birchler, T., Rowse, R.W., Royo, A., Pardos, M. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definatorios e implementación práctica. *Inv. Agr. Sist. Recur. For.* 7 (1-2): 109-121.
8. Burés, S. 1997. Substratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid. 208 pp.
9. Coa, U.M., Méndez, N.J.R., Silva, A.R., Mundarain, P.S. 2014. Evaluación de métodos químicos y mecánicos para promover la germinación de semillas y producción de fosforitos en café (*Coffea arabica*) var. Catuaí Rojo. *Idesia*. 32(1): 43-53.
10. Escamilla, P.E. 2004. Cultivo del café. Políticas y Paradigmas. I Foro Nacional Investigación y Transferencia de Tecnología Para la Innovación en el Sector Agroalimentario. México, D.F.

11. Escamilla, P.E., Castillo, P.G., Díaz, C.S. 2014. Veracruz, Agricultura e Historia. Aspectos agroecológicos del café en Veracruz. 172 pp.
12. Casierra, P.F., Pinto, C.J.R. 2011. Crecimiento de Plantas de Remolacha (*Beta vulgaris* L. var. Crosby Egipcia) Bajo Coberturas de Color. Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín 64(2): 6081-6091.
13. Castilla, P.N. 2007. Invernaderos de plástico, Tecnología y manejo. 2ª edición. España.
14. Castillo, P., Nico, A.I., Jiménez, D.R.M. 2003. Control de Nematodos en Viveros de Olivo en la Agricultura Sostenible. Fruticultura Profesional. Especial Producción Integrada III. No. 136. pp 76-80.
15. Castillo, P.G. 2011. Plan de innovación de la cafeticultura en el estado de Veracruz. SAGARPA, COFUPRO, INCA RURAL, AMECAFÉ, SISTEMA PRODUCTO CAFÉ y CRUO-UACH. Huatusco, Ver.
16. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. 2001. El Mercado del Café en México. En: www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefpcefp0542001.pdf Fecha de consulta el 14 de julio de 2015.
17. Centro Nacional de Investigaciones de Café. 2013. Sistemas de producción. En <http://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf>. Fecha de consulta el 16 de marzo de 2016.
18. Devlin, P.F.; Christie, J.M.; Terry, M.J. 2007. Many hands make light work. Journal of Experimental Botany. 58(12): 3071-3077.
19. Durán, F. 2009. Cultivo del café. Bogotá, Colombia. Grupo Latino Editores S.A.S. 512 pp.
20. Honrubia, M. 2009. Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. Anales del Jardín Botánico de Madrid. 66(1): 133-144.

21. INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. En <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/30/30071.pdf>. Fecha de consulta el 02 de abril de 2016.
22. Iracheta, D.L. 2004. Establecimiento de técnicas de propagación in vitro de genotipo de elite de café (*Coffea spp*) a través de diferentes rutas morfogénicas como vía para cubrir la demanda en México. Convención Internacional del café 2015. México, D. F.
23. Kasperbauer, M.J., Hamilton, J. 1984. Chloroplast structure and starch grain accumulation in leaves that received different red and far-red levels during development. *Plant Physiology*. 74(4): 967-970.
24. Kim, S.J., Hahn, E.J., Heo, J.W., Paek, K.Y. 2004. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. *Scientia Horticulturae*. 101: 143-151.
25. Li, S., Rajapakse, N.C., Young, R.E., Oi, R. 2000. Growth responses of chrysanthemum and bell pepper transplants to photoselective plastic films. *Scientia Horticulture*. 84(3): 215-225.
26. Leite, C.A. 2005. Las mallas en el contexto de un vivero. *Revista Horticultura Internacional* 1: 66-73.
27. Lemaire, F., Dartigues, A., Riviére, L.M., Morel, P. 2005. Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones. México, D. F. Mundi Prensa México, S.A. de C.V. México. 232 pp.
28. Luna, T., Landis, T.D., Kasten, R.D. 2012 Contenedores: Aspectos técnicos, biológicos y económicos. Producción de plantas en viveros forestales. En: http://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2012_luna_t001.pdf. Fecha de consulta el 1 de agosto de 2015.
29. Mantalla, G.A., Montero, C.J.I. 2001. Invernaderos. Diseño, Construcción, Ambientación. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España. 159 pp.

30. Monroig, M. 2000. Ecos del café. Manual de Propagación del Cafeto en Puerto Rico: En: <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id24.htm>. Fecha de consulta el 1 de junio de 2015.
31. Oren, S.M., Gussakovsky, E.E., Shpiegel, E., Nissim, L.A., Ratner, K., Ovadia, R., Giller, Y.E., Shahak, Y. 2001. Colored shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 76(3): 353-367.
32. Pérez, L.H., Gómez, M.F.C., Trejo, T.L.I., García, M.S., Rivera, O.Y. 2014. Agricultural lignocellulosic waste and volcanic rock combinations differentially affect seed germination and growth of pepper (*Capsicum annuum* L.) *BioResources*. 9(3): 3977-3992.
33. Pérez, U.M. 2014. Pérdidas por 60 millones de dólares encienden la alarma de cafeticultores. *La Jornada*. Pág. 20.
34. Prieto, R.J.A., Domínguez, C.P.A., Cornejo, O.E.H., Návar, C.J.J. 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.
35. PROCAFÉ. 2006. Las semillas, plántulas y plantas de vivero de las variedades de PROCAFÉ garantizan pureza genética, producción y calidad de su café. En <http://www.procafe.com.sv/menu/ArchivosPDF/HojaTecnicaViveros.pdf>. Fecha de consulta el 26 de marzo de 2016.
36. Retamales, J.B., Montecino, J.M., Lobos, G.A., Rojas, L.A. 2008. Colored shading nets increase yields and profitability of highbush blueberries. *Acta Horticulturae*. 770: 193-197.
37. Robledo, L.P. 2014. Evaluación de biofertilizantes y mejoradores de suelo en la propagación de café (*Coffea arabica* L) var. Blue Mountain, en Huatusco, Veracruz. Universidad Autónoma Chapingo. 93 pp.
38. Rodríguez, B.M.M., Morales, U.D.M. 2014. Efecto de mallas sombreadoras sobre la producción y calidad de frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. *Scientia Agropecuaria*. 6(1): 41-50.

39. SAGARPA. 2011. Plan de innovación en caficultura en México. En <http://amecafe.org.mx/downloads/PLAN%20DE%20INNOVACION%20NACIONAL.pdf>. Fecha de consulta el 30 de marzo de 2016.
40. SAGARPA. 2013. Cultivos agroindustriales. Impactos del café. En <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/Cultivos%20Agroindustriales/Impactos%20Caf%C3%A9.pdf>. Fecha de consulta el 14 de julio de 2015.
41. SAGARPA. 2016. El libro Café de México, origen y destino. En <http://www.mexicocafe.mx/situacion-actual-del-cafe/>. Fecha de consulta el 29 de marzo de 2016.
42. Sánchez, S., Murillo, O. 2004. Desarrollo de un método para controlar la calidad de producción de plántulas en viveros forestales: estudio de caso con Ciprés (*Cupressus lusitancia*). Agronomía Costarricense. 28(2): 95-106.
43. Santiago, T.O., Sánchez, M.V., Monroy, C.R.R., Salazar, J.G.G. 2007. Manual de producción de especies forestales tropicales en contenedor. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental El Palmar, Folleto Técnico Núm. 44, Veracruz, México. 73 p.
44. Shahak, Y. 2003. Colored Shade Nets A New Agro-Technology. Horticultura: Industria, comercio, distribución y economía hortícolas. Pataforma Horticom. En <http://www.horticom.com/pd/imagenes/55/146/55146.pdf>. Fecha de consulta el 1 de agosto de 2015.
45. Shahak, Y., Gussakovsky, E.E., Cohen, Y., Lurie, S., Stern, R., Kfir, S., Naor, A., Atzmon, I., Doron, I., Greenblat-Avron, Y. 2004. Color Nets: A new approach for light manipulation in fruit trees. Acta Hort. 636: 609-616.
46. Servicio Meteorológico Nacional. 2010. SMN-Veracruz. En: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=164&tmpl=component. Fecha de consulta el 1 de Junio de 2015.

47. SIAP. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por cultivo. En: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Fecha de consulta el 20 de Junio de 2015.
48. SIAP. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. En: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Fecha de consulta el 14 de Julio de 2015.
49. Stamps, R.H. 2009. Use of colored shade netting in horticulture. *HortScience*. 44(2): 239-241.
50. Webster, J.M. 1987. Introduction. In principles and practice of nematode control in crops. Sidney. Academic Press. pp 1-11.
51. Wintgens, J. 2004. Coffee: Growing, processing, sustainable production. Editorial Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA. República de Alemania. 1040 pp.

A N E X O

ANEXO 1. Imágenes del desarrollo de la investigación en campo.



a) Instalación de las mallas sombras.



b) Instalación del experimento.

Continuación del Anexo 1.



c) Desarrollo de las plantas de café, en los contenedores de diferente color.

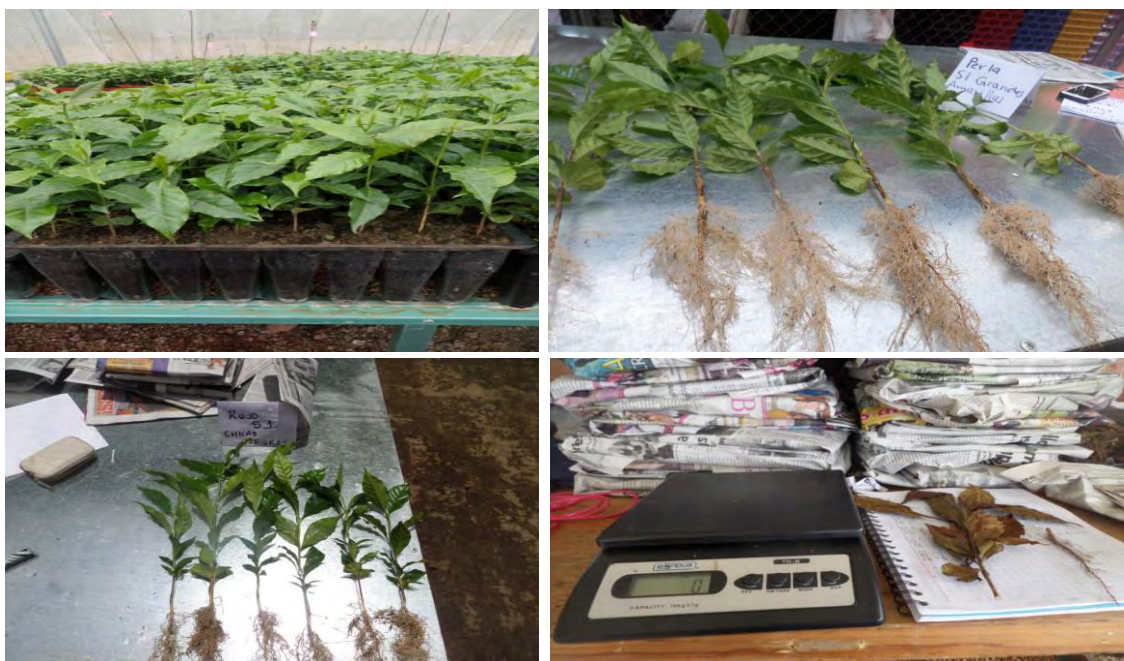


d) Toma de datos de altura de plantas de café en el vivero.

Continuación del Anexo 1.



e) Registro del peso de materia en base fresca, de las plantas de café. Aspecto del cepellón en función del tamaño de contenedor.



f) Preparando muestras para el secado. Registro del peso de materia en base seca, de las plantas de café.