



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**CRECIMIENTO DE PLANTAS INJERTADAS DE CAFÉ
BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MALLA SOMBRA
Y CONTENEDORES EN VIVERO TECNIFICADO
EN HUATUSCO, VERACRUZ**

BRAULIO COUTIÑO MENDOZA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO

DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO.

2018

La presente tesis, titulada: **Crecimiento de plantas injertadas de café bajo diferentes condiciones de malla sombra y contenedores, en vivero tecnificado en Huatusco, Veracruz**, realizada por el alumno: **Braulio Coutiño Mendoza**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

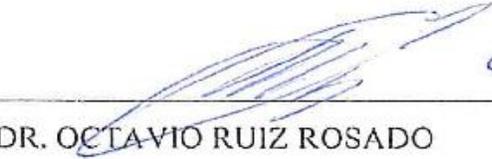
MAESTRO EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. ELISEO GARCÍA PEREZ

ASESOR: 
DR. ESTEBAN ESCAMILLA PRADO

ASESOR: 
DR. JOSAFHAT SALINAS RUIZ

ASESOR: 
DR. OCTAVIO RUIZ ROSADO

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, 03 de diciembre de 2018

**CRECIMIENTO DE PLANTAS INJERTADAS DE CAFÉ BAJO DIFERENTES
CONDICIONES DE MALLA SOMBRA Y CONTENEDORES EN VIVERO
TECNIFICADO EN HUATUSCO, VERACRUZ.**

Braulio Coutiño Mendoza, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2018

La presencia de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) y el nematodo agallador del cafeto han ocasionado severos daños, afectando de manera significativa los niveles de producción en México. El estado de Veracruz, presenta 50 000 ha de café infectadas con nematodos, lo que implica reducciones del 35 % del potencial productivo. La práctica agronómica de injertar variedades comerciales de *Coffea arabica* L. sobre un patrón de *C. canephora* P., es una buena medida para el control de nematodos. El objetivo fue evaluar el crecimiento de plantas de café formadas con portainjertos de *Coffea canephora* P. e injerto de *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca, bajo diferentes mallas sombra y tamaño de contenedores, en un vivero tecnificado en Huatusco, Veracruz. El estudio se realizó de junio 2017 a abril 2018. Los factores estudiados fueron: Malla sombra color negro con 50% de sombra y color perla y rojo con 35% de sombra; contenedores con capacidad de 400, 420 y 800 ml; portainjertos de café robusta clones (C1-C4) y variedad Nemaya (C5). El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas en los factores e interacciones. La interacción de los factores malla sombra roja, contenedor de 420 ml y el clon C5 presentaron los valores más altos para las variables de crecimiento, lo que tiene relación con la selectividad de la radiación solar, las características y diseño del contenedor. Se concluye que con este tipo de tecnología se pueden obtener plantas injertadas de café de calidad a los 11 meses, lo que puede contribuir a la mejora del agroecosistema café.

Palabras clave: *Coffea arabica* L., injerto hipocotiledonar, malla sombra, contenedores.

**GROWTH OF GRAFTED PLANTS OF COFFEE UNDER DIFFERENT CONDITIONS
OF SHEAR MESH AND CONTAINERS IN TECHNICAL NURSERY IN HUATUSCO,
VERACRUZ.**

Braulio Coutiño Mendoza, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2018

The presence of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) and the coffee root-knot nematode have caused severe damage, significantly affecting production levels in Mexico. The state of Veracruz has 50 000 ha of coffee infected with nematodes, which implies reductions of 35% of the productive potential. The agronomic practice of grafting commercial varieties of *Coffea arabica* L. on a pattern of *C. canephora* P., is a good measure for the control of nematodes. The objective was to evaluate the growth of coffee plants formed with rootstocks of *Coffea canephora* P. and graft of *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca, under different shade meshes and size of containers, in a technified nursery in Huatusco, Veracruz. The study was carried out from June 2017 to April 2018. The factors studied were: Black shade mesh with 50% shade and pearl color and red with 35% shade; containers with a capacity of 400, 420 and 800 ml; Robusta coffee rootstock clones (C1-C4) and Nemaya variety (C5). The analysis of variance showed significant statistical differences in the factors and interactions. The interaction of the factors red shadow mesh, container of 420 ml and clone C5 presented the highest values for the growth variables, which is related to the selectivity of the solar radiation, the characteristics and design of the container. It is concluded that with this type of technology grafted plants of quality coffee can be obtained at 11 months, which can contribute to the improvement of the coffee agroecosystem.

Key words: *Coffea arabica* L., hypocotyledonar graft, shade mesh, containers.

DEDICATORIA

A los productores de café y sus familias, por su incansable trabajo día a día para el desarrollo de la cafecultura del país.

A mis padres Virgilio Javier Coutiño Rivas y María Teodora Mendoza Ortega.

A mis hermanas Natalia y Araceli; y a mis sobrinos Santiago y Elisa.

A la familia Gonzales Fuentes.

A Facundo Gonzales Fuentes.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca que me permitió realizar los estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz; profesores, investigadores, administrativos y compañeros estudiantes, que contribuyeron directa o indirectamente a mi formación académica y humana.

A la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento “Recursos naturales, agroecosistemas y cambio climático”.

Al Centro Regional Universitario Oriente de la Universidad Autónoma Chapingo, por las facilidades otorgadas para hacer la investigación. De igual forma mi agradecimiento al personal administrativo y de apoyo en campo.

A los productores y viveristas de café del municipio de Huatusco, Veracruz, por aportar sus valiosos conocimientos y su gran experiencia.

A mi consejero Dr. Eliseo García Pérez gracias por la confianza brindada desde el primer momento, la atención y dedicación a esta investigación y a mi formación en el postgrado.

Al Dr. Esteban Escamilla Prado, por la confianza brindada para la realización de este trabajo, por sus acertados comentarios y por su enorme sentido de compromiso y responsabilidad.

Al Dr. Josafhat Salinas Ruiz por su importante aportación en la construcción del trabajo y su paciencia para enseñarme y guiarme en la redacción y manejo de datos.

Al Dr. Octavio Ruiz Rosado por su valiosa colaboración y sus relevantes aportaciones al estudio.

Al Ing. Jorge Jiménez Zilli por su contribución en el material de contenedores y permitirnos evaluar este tipo de tecnología para el desarrollo de la cafecultura de Veracruz.

A la Dra. Blanca Flor Solís Guzmán por guiarme desde el inicio y por su apoyo incondicional.

A Anayeli Torres, Carlos Nahin, Cecilio Méndez, Eduardo Kraus, Emanuel Garduño, Gabriela Zamora, Nancy Nazario, Nancy Soto, Rafael Ruiz y Victoria Cessa por brindarme la oportunidad de compartir experiencias de trabajo y personales.

A Rafael Zayed Rodríguez por permitirme aprender de él, lo que es la tenacidad, valor y fuerza para seguir adelante.

A Dalia Reyes, Florentino López, Gerardo Moreno, Hugo Villatoro, Jesús Peña, Paola Mendoza, Uriel Pérez y Zuleima Chacon, por su aportación al trabajo y por ser parte importante de este gran equipo de investigación.

A Amadeo López Morales por su amistad y sencillez al compartir sus conocimientos y experiencias sobre el café.

A la familia Gonzales Monruga por sus atenciones en todo momento, en La Curva de Paso Real, Veracruz.

A la familia Zamora Chacón por su apoyo y afecto incondicional en mi estancia por Huatusco.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Planteamiento del problema.....	2
2. Hipótesis general.....	5
2.1. Hipótesis particulares.....	5
3. Objetivo general.....	5
3.1. Objetivos particulares.....	5
4. Proceso metodológico general.....	6
5. Revisión de literatura.....	8
5.1. Marco teórico conceptual.....	8
5.1.1. Teoría de sistemas.....	8
5.1.2. Agroecosistema café.....	9
5.1.3. Agroecología.....	10
5.1.4. Agricultura protegida.....	12
5.1.5. Injerto.....	14
5.1.6. Radiación fotosintéticamente activa.....	15
5.1.7. Fotosíntesis.....	16
5.1.8. Crecimiento vegetal.....	17
5.2. Marco de referencia.....	19
5.2.1. Importancia internacional del café.....	19
5.2.1.1. Importancia del café en México.....	21
5.2.1.1.1. Importancia del café en el Estado de Veracruz.....	23
5.2.1.1.1.1. El café en la región de Huatusco.....	24
5.2.2. Problemática de la cafecultura en México.....	25
5.2.3. Origen y distribución del café.....	27
5.2.4. Clasificación taxonómica.....	28
5.2.5. Botánica del café.....	29
5.2.5.1. Raíz.....	29
5.2.5.2. Tallo.....	30
5.2.5.3. Hojas.....	31

5.2.5.4. Flores.....	32
5.2.5.5. Frutos	34
5.2.5.6. Semilla	35
5.2.6. Requerimientos edafoclimáticos.....	35
5.2.6.1. Altitud y latitud	35
5.2.6.2. Suelo.....	36
5.2.6.3. Temperatura	37
5.2.6.4. Precipitación.....	39
5.2.6.5. Humedad	39
5.2.7. Clones portainjerto de <i>C. canephora</i>	40
5.2.7.1. <i>C. canephora</i> P. variedad Nemaya.....	43
5.2.8. <i>C. arabica</i> Variedad Oro Azteca tolerante a roya del café.....	43
5.2.9. Importancia de los nematodos en el cultivo del café.....	46
5.2.9.1. Nematodos en la zona centro de Veracruz.....	47
5.2.9.2. Cafetos injertados como control de nematodos	49
5.2.10. Historia del injerto en café.....	49
5.2.11. Injerto hipocotiledonar.....	50
5.2.12. Unión del injerto - portainjerto	52
5.2.13. Prendimiento del injerto hipocotiledonar	54
5.2.14. Incompatibilidad	54
5.2.15. Propagación de injertos de café.....	55
5.2.16. Tecnología en la producción de cafetos en vivero.....	58
5.2.16.1. Contenedores.....	58
5.2.16.1.1. Bandeja plástica.....	62
5.2.16.1.2. Tubete.....	63
5.2.16.2. Mallas sombras fotoselectivas	65
5.2.16.2.1. Malla color negro	69
5.2.16.2.2. Malla color perla	70
5.2.16.2.3. Malla color rojo	71
6. Literatura citada.....	73

CAPÍTULO I. CAFÉ VARIEDAD ORO AZTECA INJERTADO EN <i>Coffea canephora</i> P., BAJO DIFERENTES MALLAS SOMBRA Y CONTENEDORES.....	92
1.1. Introducción	95
1.2. Materiales y métodos	96
1.3. Resultados y discusión	101
1.4. Conclusiones	111
1.5. Literatura citada.....	112
CAPÍTULO II. BIOMASA EN PLANTAS DE CAFÉ VARIEDAD ORO AZTECA INJERTADO EN <i>Coffea canephora</i> P., BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MALLA SOMBRA Y CONTENEDORES.....	116
2.1. Introducción	119
2.2. Materiales y métodos	121
2.3. Resultados y discusión	126
2.4. Conclusiones	142
2.5. Literatura citada.....	143
CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	148
CONCLUSIONES GENERALES	150
RECOMENDACIONES GENERALES	151
ANEXOS	152

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Descripción de los contenedores usados.	98
Cuadro 2. Medias de radiación fotosintéticamente activa en tres colores de malla sombra.	127
Cuadro 3. Valores de significancia ($p \leq 0.05$) de biomasa fresca para los tres factores y sus interacciones.	133
Cuadro 4. Biomasa fresca acumulada en plantas de café injertadas a los once meses de edad.	133
Cuadro 5. Valores de significancia ($p \leq 0.05$) de biomasa seca, para los tres factores y sus interacciones.	137
Cuadro 6. Biomasa seca acumulada en plantas de café injertadas a los once meses de edad.	137
Cuadro 7. Correlación entre producción de biomasa fresca y seca, y variables evaluadas en planta.	141

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diagrama de la situación problemática en el agroecosistema café.	4
Figura 2. Diagrama para la producción de cafetos injertados en semillero y vivero.	57
Figura 3. Temperaturas máximas, medias y mínimas registradas en los módulos con malla sombra color roja, perla, negra, y al exterior, en el periodo junio 2017-abril 2018.	102
Figura 4. Humedad relativa registrada a las 12:00 hrs en los módulos con malla sombra color roja, perla y negra, en el periodo junio 2017- abril 2018.	102
Figura 5. Porcentaje de prendimiento de injerto entre clones de <i>Coffea canephora</i> P. como portainjertos y <i>Coffea arabica</i> L. variedad Oro Azteca.	103
Figura 6. Altura promedio de plantas de café var. Oro Azteca injertadas en cinco clones de café robusta, bajo diferentes colores de malla sombra y tamaño de contenedores.	105
Figura 7. Diámetro promedio del tallo de plantas de café var. Oro Azteca, injertadas en cinco clones de café robusta, bajo diferentes colores de malla sombra y tamaño de contenedores.	106
Figura 8. Número promedio de pares de hojas de plantas de café var. Oro Azteca, injertadas en cinco clones de café robusta, bajo diferentes colores de malla sombra y tamaño de contenedores.	107
Figura 9. Área foliar promedio de plantas de café var. Oro Azteca, injertadas en cinco clones de café robusta, bajo diferentes colores de malla sombra y tamaño de contenedores.	109
Figura 10. Contenedor de 400 (a), 420 (b) y 800 ml (c).	123
Figura 12. a) Módulos con malla sombra de diferente color en el Centro Regional de Oriente de la UACH, Huatusco, Veracruz. b) Medición de radiación fotosintéticamente activa, en hojas de plantas injertadas de café.	128
Figura 13. Plántulas de café injertadas, en tubetes de 420 y 800 ml, en malla sombra roja (a), perla (b) y negra (b).	132
Figura 14. Plántulas de café injertadas, en contenedores de 400 ml en malla sombra roja (a), perla (b) y negra (b).	132

Figura 15. Porcentaje de sobrevivencia de plantas de cafe var. Oro Azteca injertadas en cinco clones de café robusta, a los once meses de edad, bajo diferentes colores de malla sombra y tamaño de contenedores.	139
Figura 16. Planta injertada de once meses con “primera cruz”, en contendor de 420 ml.	139
Figura 17. Porcentaje de plantas que llegaron a la primera cruz, de acuerdo al efecto independiente del color de malla sombra, tamaño de contenedor y tipo de clon.	140

INTRODUCCIÓN GENERAL

El café es el segundo producto más consumido en el mundo, después del agua (Tofalo *et al.*, 2016). Su producción mundial aumentó de 140 a 152 millones de sacos de 60 kg del 2010 a la actualidad (Janissen y Huynh, 2018).

El cultivo de café arábica (*Coffea arabica* L.) en México representa una actividad estratégica que involucra más de tres millones de empleos, de los cuales el 70% está vinculado a productores y familias de comunidades indígenas del país, generando divisas, en promedio de 900 millones de dólares anuales (AMECAFE, 2012; SAGARPA, 2015). De los 3.8 millones de sacos (de 60 kg) de café que se producen en México, el 96 % es café arábica y el restante 4 % es café robusta, con lo que el país se ubica dentro de los 10 principales productores y exportadores de este grano y es el líder en producción de café orgánico (FIRA, 2015; USDA, 2017). Los estados de Chiapas y Veracruz aportan 72 % de la producción nacional y constituyen del 20 al 35 % de superficie sembrada de este producto (SIAP, 2013).

La crisis mundial del café ha repercutido en las regiones cafetaleras mexicanas, donde se observan problemas tanto sociales como pérdida de empleos, aumento de la migración, que traen consigo problemas económicos y ambientales por la tala de cafetales para cambio de cultivo, abandono de las plantaciones y por consiguiente una alta incidencia de plagas y enfermedades que afectan la calidad y rendimiento del grano como la broca (*Hypothenemus hampei*) y roya (*Hemileia vastatrix*) (Aragon, 2006).

La presencia de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) y el nematodo agallador del cafeto (*Meloidogyne* sp.) ha ocasionado severos daños, afectando de manera significativa los niveles de producción en México (SENASICA, 2013). Se estima que, en América Latina, el hongo de la roya del café puede disminuir en un 30% la producción del aromático y un 35 % por causa de nematodos

en México (Bonilla, 2018; INIFAP, 2005). Asimismo, factores como la falta de prácticas agrícolas adecuadas repercute en el estado actual de las plantaciones presentando problemas de índole genético y fitosanitario, por lo que es necesario renovarlas o repoblarlas con plantas de buena calidad.

1. Planteamiento del problema

Para México, el ciclo 2015/16, presento una producción de café cereza que fue de 835 mil toneladas, volumen que significa una reducción de 18.6 por ciento con respecto a la cosecha del ciclo previo y su nivel más bajo desde 1979/80, ciclo a partir del cual se tiene registro. Así, durante los últimos diez años la producción de café cereza decreció a una tasa promedio anual de 6.0 por ciento (FIRA, 2016).

En rendimiento promedio de café cereza nacional, en el ciclo 2015/16 fue de 1.3 toneladas por hectárea. Este nivel de producción es el mínimo desde que se tiene registro, en 1979/80, y es consecuencia, entre otros factores, a las considerables afectaciones que en años recientes ha ocasionado a las plantaciones, la roya del café. A esto se suman la avanzada edad de los cafetales (FIRA, 2016).

La tendencia decreciente en la producción nacional de café se explica principalmente por la reducción en la productividad de los cafetales durante los últimos años, así como por la reducción en la superficie cosechada (FIRA, 2016). Aunado a lo anterior, los productores enfrentan otros problemas, entre los que destaca la existencia del 14 % de cafetales improductivos debido a la edad avanzada de las plantas, variedades antiguas de baja producción y baja resistencia a los ataques de roya. Así como la infección por el nematodo endoparasito en plantaciones de café (Plan de Innovación en la Cafecultura de México, 2011).

Con una superficie de 167,667 ha, Veracruz es el segundo estado productor de café en México (INEGI, 2014). Del total de esta superficie, 50,000 ha están infectadas por nematodos, lo que implica reducciones en el potencial productivo del cultivo del orden del 35% (INIFAP, 2005). De hecho, López-Lima *et al.*, (2015) realizaron un muestreo en ocho fincas de la zona centro de Veracruz, en gradiente altitudinal de 559 a 1,361 msnm, reportando infestación en todos los sitios muestreados.

A través del Programa Integrado del Café (PIAC), impulsado por la SAGARPA, se tiene como objetivo el aumento de la producción y la competitividad nacional, para llegar a obtener 4.5 millones de sacos de 60 kg en el ciclo 2018/19, poniendo en marcha acciones como el desarrollo de viveros certificados para abastecer a los productores con plantas de calidad y resistentes a las enfermedades, con el fin de renovar 20,000 hectáreas en los próximos tres años. (FIRA, 2016).

Ante el escenario de la cafecultura en México, es necesario el desarrollo de tecnológica en la producción masiva de cafetos injertados en vivero, contribuyendo con clones y variedades seleccionadas de Robusta como portainjerto tolerantes a nematodos y variedadea tolerantes a roya, con calidad fitosanitaria y una mayor biomasa, aérea y radical, para llevar a campo.

La presente situación problemática, nos lleva a plantearnos la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo obtenemos plantas de café injertadas con mayor crecimiento, tolerancia a roya y nematodos en sistema de producción tecnificado?

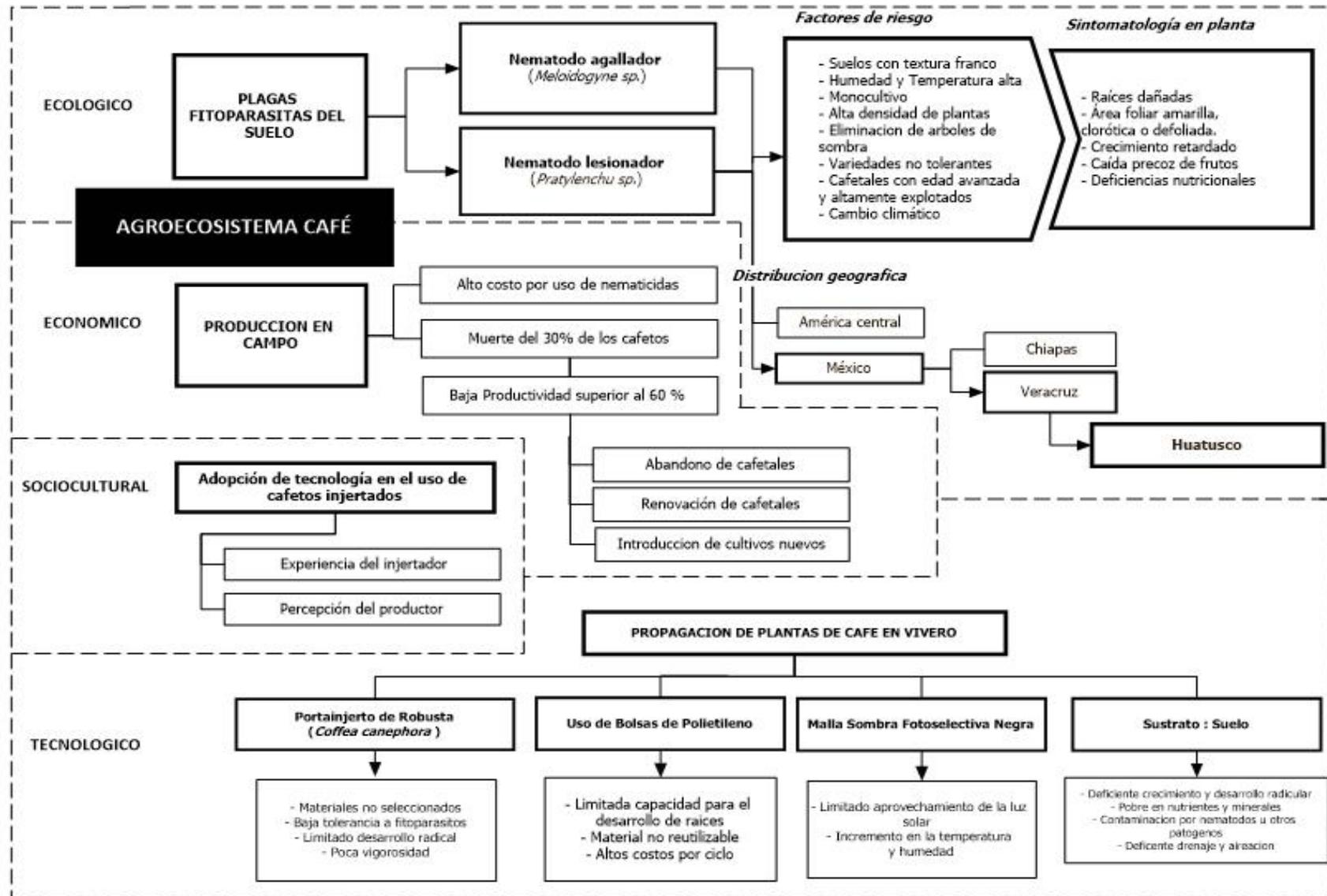


Figura 1. Diagrama de la situación problemática en el agroecosistema café.

2. Hipótesis general

Las plantas de café formadas con portainjertos de *Coffea canephora* P. e injerto de *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca, bajo diferentes mallas sombra y tamaño de contenedores, permitirá obtener plantas tolerantes a nematodos y con diferencias en crecimiento.

2.1. Hipótesis particulares

- El trabajo con clones de *C. canephora* P., permitirá la identificación de portainjertos tolerantes a nematodos, compatibles con *C. arabica* L. y de mayor crecimiento en condiciones de vivero tecnificado.
- El crecimiento de las plantas de café injertadas, dependerá de las mallas sombras usadas y su efecto sobre la radiación fotosintéticamente activa.
- El tamaño de los contenedores pueden afectar significativamente el crecimiento de las plantas injertadas.

3. Objetivo general

Evaluar el crecimiento de plantas de café formadas con portainjertos de *Coffea canephora* P. e injerto de *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca, bajo diferentes mallas sombra y tamaño de contenedores, en un vivero tecnificado en Huatusco, Veracruz.

3.1. Objetivos particulares

- Definir el prendimiento del injerto, entre clones de *C. canephora* P. y *C. arabica* var. Oro Azteca, en condiciones de un vivero tecnificado de café.
- Evaluar el crecimiento de plantas de café *C. arabica* L. var. Oro Azteca, injertadas sobre cinco clones de *C. canephora* P., bajo diferentes mallas sombra y contenedores, en un vivero tecnificado.

- Determinar la acumulación de biomasa, en plantas de *C. arabica* L. var. Oro Azteca, injertadas en *C. canephora* P., su relación con la RFA (Radiación fotosintéticamente activa) y el tamaño de contenedor.

4. Proceso metodológico general

Etapa 1. Revisión bibliográfica

Se realizó una recopilación sistemática en el contexto del proyecto de investigación, partiendo de la pregunta de investigación que surge de la situación problemática de estudio, formulando con ello las hipótesis y objetivos a analizar en el transcurso del proyecto. Con el apoyo de asesores, compañeros y maestros se seleccionó de forma crítica y precisa la información más relevante. La búsqueda bibliográfica se realizó en diversas fuentes de información como libros, artículos científicos, manuales técnicos, folletos, páginas web, tesis profesionales y entrevistas personales. Fundamentando la elaboración continua del marco teórico conceptual y marco de referencia.

Etapa 2. Planeación

Con seis meses de anticipación se proyectó cuáles serían las actividades a realizar, los materiales a usar y evaluar, los procesos vegetales que implicaría una previa preparación, la disponibilidad de personal de apoyo en las diferentes fases del proyecto y las variables a medir en vivero. Imprevistos como factores climatológicos no se consideraron sin embargo, en su momento fue necesario de materiales aislantes para el control de la temperatura.

Etapa 3. Trabajo de campo

El trabajo en campo se realizó durante el periodo de febrero 2017 a abril 2018. Inicialmente se hizo la colecta de semilla de cuatro clones de Robusta (*Coffea canephora* P.) (95-02, 97-10, 97-17, 97-20) en el municipio de Tlacotepec de Mejía, Veracruz. La Variedad Nemaya (*C. canephora* P.) y la Variedad Oro Azteca (*Coffea arabica* L.) se colectaron en el Campo experimental del

Centro Regional Universitario Oriente, en Huatusco, Veracruz, mismo donde fue establecido el estudio en vivero tecnificado con mallas sombra de colores (negra, perla y roja). Se hizo la selección y procesamiento correspondiente de semilla antes de sembrar (despulpe, fermentación, lavado y secado). Con apoyo de personal capacitado se estableció el semillero de café y la preparación del sustrato y llenado de los contenedores, para luego colocarlos en sus respectivas bases de metal dentro de los módulos de colores. Se colocaron etiquetas para identificar tratamientos y repeticiones. Se procedió a realizar la técnica de injertación y mantener por 45 días en el propagador con arena. Posterior a evaluar el prendimiento, se trasplantaron los cafetos injertados en sus respectivos contenedores y módulos con malla sombra. Para el control de enfermedades se usaron compuestos orgánicos, alternando el uso cada 15 días. El aporte nutrimental se hizo aplicando materiales orgánicos tratados. Para el control de arvenses se programaron limpiezas manuales cada 15 días. La aplicación de riego fue por aspersión cada tercer día y manualmente en periodos de sequía. En el transcurso de la investigación se registraron las siguientes variables, en campo y en laboratorio: temperatura, humedad relativa, prendimiento del injerto, altura, número de hojas, diámetro del tallo, peso fresco y seco, área foliar, número de cruces y porcentaje de aprovechamiento, tasa de radiación fotosintéticamente activa.

Etapas 4. Trabajo de gabinete

Se realizó la organización, sistematización, procesamiento y análisis de datos. La interpretación y presentación de los resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones estará disponible al público en general, investigadores, estudiantes y tomadores de decisiones.

5. Revisión de literatura

5.1. Marco teórico conceptual

Este apartado, tiene como finalidad hacer una revisión de conceptos teóricos que se abordaran en esta investigación y que serán herramientas útiles en las diferentes fases del estudio, que se trabajará bajo un enfoque sistémico, considerando la técnica de injertación en café como un componente importante para el desarrollo de los agroecosistemas cafetaleros de la región de estudio.

5.1.1. Teoría de sistemas

La Teoría General de Sistemas (TGS) se presenta como una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad y, al mismo tiempo, como una orientación hacia una práctica estimulante para formas de trabajo transdisciplinarias. En base a los paradigmas científicos, la TGS se caracteriza por su perspectiva holística e integradora, en donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas emergen. En tanto práctica, la TGS ofrece un ambiente adecuado para la interrelación y comunicación fecunda entre especialistas y especialidades (Arnold y Osorio, 1998).

El estudio y análisis de los fenómenos y problemas como parte de un sistema permite disponer de un marco multidimensional, integrado por varias disciplinas científicas que incluyen todos los aspectos que intervienen en el fenómeno, y se concentra en las interacciones entre las partes del mismo para lograr una percepción holística o sistémico del fenómeno y los problemas (Ruiz, 2006). Esta visión holística es opuesta a la visión atomista o reduccionista, basada en la física newtoniana, que ve a los fenómenos compuestos de partes completamente independientes unas de otras y en el que el todo no es mas que la suma de las partes. Por ellos los fenómenos y problemas

no solo deben estudiarse a través del enfoque reduccionista, sino también en su totalidad y del sistema del que forman parte a través de su interacción (Austin, 2006).

Puesto que la teoría de sistemas es útil como herramienta teórico-metodológica, puede aplicarse a cualquier fenómeno o actividad humana. Así, la agricultura puede verse como un sistema con múltiples factores de tipo ambiental, económico, social y cultural, y que en el contexto actual de globalización adquiere un mayor nivel de complejidad, con una problemática muy particular cuyas soluciones pueden enfocarse desde una perspectiva de sistemas, en la que es fundamental la participación e interacción de varias disciplinas (Montagnini, 1992; Ruiz 2006).

De acuerdo con Jones *et al.*, (1998), existen tres razones para usar el enfoque de sistemas en la agricultura: 1) La naturaleza de los problemas contemporáneos; 2) La necesidad del conocimiento de los sistemas agrícolas por diversos usuarios y 3) Lo inadecuado de los métodos convencionales para aportar información.

5.1.2. Agroecosistema café

Atendiendo a las raíces etimológicas del concepto, una primera definición permite considerar a los agroecosistemas como: “sistemas de relaciones entre los diversos organismos que coexisten y participan en la agricultura”, con procesos ecológicos similares, pero con la notable diferencia, de que la agricultura es realizada por seres humanos (Ruiz, 2006).

El concepto de agroecosistema cafetalero fue empleado y estudiado por primera vez por Ávila (1982), quien presenta diversos estudios de tipo ecológico. La primera clasificación de agroecosistemas cafetaleros la presenta Nolascco (1985), enriquecida por Moguel y Toledo (1999) quienes integran los aspectos sociales y culturales a dichos agroecosistemas.

Las aportaciones realizadas por los diversos autores, han permitido caracterizar, analizar y clasificar a los agroecosistemas cafetaleros. Escamilla y Díaz (2002), presentan la descripción más completa del agroecosistema en sus diferentes componentes, en base a su desarrollo histórico.

Sierra (2005), define al agroecosistema café como el conjunto de agroecosistemas, donde cada uno de éstos tiene entradas (recursos financieros, certificación orgánica de café, asesoría técnica entre otras), salidas (café orgánico certificado, exportación, condiciones de vida favorables, servicios ambientales) y la retroalimentación de cada elemento que las conforma. Dicho agroecosistema incluye dos componentes: 1) El productor quien tiene sus propias ideas y acciones, él es quien tiene la facultad de tomar decisiones respecto al manejo de su finca y 2) La finca, que es un componente natural, parte de un ecosistema que es transformado en un componente productivo.

Los agroecosistemas donde se produce el café son muy amplios, aunque se restringen a los climas tropicales e intertropicales de montañas (Moguel y Toledo, 1996; Arellano *et al.*, 2008; Guhl, 2009). Como los señalaron Peteers *et al.*, (2003), en México los pequeños productores de café todavía forman parte de la cultura de la agricultura de subsistencia, y que la vegetación para sombra de los cafetales tradicionales tiene como beneficio la madera, la leña y fruta. El sistema inicial de producción de café fue bajo sombra, generalmente en comunidades indígenas que se apropiaron de este cultivo exótico (Moguel y Toledo, 1996). Sin embargo, el manejo de los cafetales es resultado de la diversidad ecológica, cultural y de las condiciones económicas. Se pueden diferenciar dos principales modalidades de producción de café, bajo sombra y bajo sol (Moguel y Toledo, 1996; Guhl 2009).

5.1.3. Agroecología

La agroecología es una disciplina científica, un conjunto de prácticas y un movimiento social. Como ciencia, estudia cómo los diferentes componentes del agroecosistema interactúan. Como un

conjunto de prácticas, busca sistemas agrícolas sostenibles que optimizan y estabilizan la producción. Como movimiento social, persigue papeles multifuncionales para la agricultura, promueve la justicia social, nutre la identidad y la cultura, y refuerza la viabilidad económica de las zonas rurales. Los agricultores familiares de todo el mundo son los elementos claves para la producción de alimentos de manera agroecológica (FAO, 2018).

Como una ciencia aplicada, la agroecología utiliza conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles, donde los insumos externos se sustituyen por procesos naturales como la fertilidad natural del suelo y el control biológico (Altieri, 1995). La agroecología saca el mayor provecho de los procesos naturales y de las interacciones positivas en las explotaciones agrícolas con el fin de reducir el uso de insumos externos y crear sistemas agrícolas más eficientes. Los principios agroecológicos usados en el diseño y el manejo de los agroecosistemas mejoran la biodiversidad funcional de los sistemas agrícolas que es esencial para el mantenimiento de procesos inmunes, metabólicos y reguladores, claves para la función del agroecosistema (Gliessman, 1998).

Los principios agroecológicos para el diseño de sistemas agrícolas biodiversos, se caracterizan por ser flexibles, eficientes en el uso de la energía y conservadores de recursos (Gliessman, 1998). Los principios son los siguientes:

- Aumentar el reciclaje de biomasa, con miras a optimizar la descomposición de materia orgánica y el ciclo de nutrientes a través del tiempo.
- Proveer las condiciones de suelo más favorables para el crecimiento vegetal, en particular mediante el manejo de la materia orgánica y el mejoramiento de la actividad biológica del suelo.

- Fortalecer el "sistema inmunológico" de los sistemas agrícolas, mejorando la biodiversidad funcional (los enemigos naturales, antagonistas, etc.)
- Minimizar las pérdidas de energía, agua, nutrientes y recursos genéticos mejorando la conservación y regeneración de suelos, recursos hídricos y la diversidad biológica agrícola.
- Diversificar las especies y los recursos genéticos en el agroecosistema en el tiempo y el espacio a nivel de campo y del paisaje.
- Aumentar las interacciones biológicas y las sinergias entre los componentes de la biodiversidad agrícola, promoviendo procesos y servicios ecológicos claves.

Ruiz (2006) menciona que la agroecología se considera como una ciencia o disciplina que tiene como unidad de análisis al agroecosistema, y que se fortalece con el enfoque de sistemas. A diferencia de otras disciplinas científicas, la agroecología integra conocimientos y métodos de varias disciplinas; en sus orígenes se basó principalmente en las ciencias agrícolas y en la ecología, pero con el tiempo se han incorporado numerosas disciplinas, como son: economía, sociología, antropología, ingeniería, geografía, meteorología, hidrología, fisiología, genética, patología, entomología, ingeniería industrial, nutrición, ciencias del suelo y sistemas de información geográfica, entre otras. Es decir, nuevas disciplinas se van integrando a la agroecología para ofrecer soluciones a los diversos y complejos problemas agrícolas y de la sociedad contemporánea.

5.1.4. Agricultura protegida

La agricultura protegida es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras, para proteger cultivos, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos. La agricultura, por su naturaleza, se encuentra asociada al riesgo, de ahí que este sistema tenga como característica básica la protección contra los riesgos inherentes a esta actividad. Los riesgos pueden ser: climatológicos, económicos (rentabilidad, mercado) o de limitaciones de recursos

productivos (agua o de superficie). Adicionalmente, se establece que la AP ha modificado las formas de producir alimentos y genera múltiples ventajas para los productores. Entre otras ventajas, permite el desarrollo de cultivos agrícolas fuera de su ciclo natural y en menor tiempo, se enfrenta con éxito a las plagas y enfermedades, con mejores rendimientos en menor espacio, sanos y con un mejor precio en los mercados. Generando, evidentemente, en un mejor ingreso para los productores (FAO-SAGARPA, 2007).

La agricultura protegida se realiza bajo estructuras construidas con la finalidad de evitar las restricciones que el medio impone al desarrollo de las plantas. Así, mediante el empleo de diversas cubiertas se reducen las condiciones restrictivas del clima sobre los vegetales. A través de los años pero sobre todo en las últimas décadas se han desarrollado varios tipos de estructuras para la protección de las plantas que plantean diferentes alternativas generando condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de cultivos, de acuerdo a los requerimientos climáticos de cada especie y en concordancia con los factores climáticos de cada región.

Esta tendencia ha creado la necesidad de usar diversos elementos, herramientas, materiales y estructuras en la protección de cultivos con la finalidad de obtener productos de mejor calidad, a partir del desarrollo de materiales plásticos agrícolas. Las estructuras más utilizadas de la agricultura protegida son los invernaderos, malla sombra, túneles altos y bajos (Juárez *et al.*, 2011).

La Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en 2010 reportó 11 760 ha de AP, mientras que para el mismo año la Asociación Mexicana de Agricultura Protegida, Asociación Civil (AMHPAC) en el mismo año censó 15 300 ha. En general, los invernaderos constituyen 44 % y la malla sombra 51% de la superficie total (Juárez *et al.*, 2011).

5.1.5. Injerto

El injerto es la unión de dos porciones de tejido vegetal viviente de modo que se unan, crezcan y se desarrollen como una sola planta. La parte de la combinación de injerto que va a constituirse en la copa o parte superior de la nueva planta se le llama púa, aguja, espiga o injerto. Aquella que va a formar la porción baja o la raíz, se le llama patrón, pie, masto o portainjerto (Hartmann *et al.*, 2002).

Injertar es el arte de unir entre sí dos porciones de tejido vegetal de tal manera que se unan y posteriormente se desarrollen como una sola planta” (Hartmann y Kester, 1998).

Krikorian (1991), la propagación artificial mediante injertos y gemación es un ejemplo extremo de multiplicación asexual o clonal que es al mismo tiempo quimérica; en este caso, el tronco y el cogollo de un vástago o yema son las unidades de crecimiento clonal que se hacen vivir en el sistema radical de otra planta.

Mudge (2008), menciona que injertar se refiere a la fusión natural o deliberada de partes de plantas, estableciéndose una continuidad vascular entre ellas, resultando una unidad compuesta que funciona como una sola planta.

De Miguel y Cebolla (2005), dice que el injerto es una práctica que permite cultivar una planta con la raíz dentro de otra. Normalmente el sistema radicular que se utiliza, el del porta injerto o patrón, es resistente a alguna enfermedad presente en el suelo a la que la planta cultivada es sensible. Pero también se utiliza el injerto como medio de proporcionar un mayor vigor y producción a la planta cultivada, aprovechando el mayor desarrollo y vigor del sistema radicular del “patrón”.

El injerto en campo se realiza sobre árboles ya plantados y bien desarrollados, o para rejuvenecer árboles viejos. El injerto en vivero se realiza sobre patrones más pequeños, en plena tierra o en

macetas grandes; se presta mejor a la producción masiva, y a los cuidados requeridos por las plantas (Malkum, 2015).

El portainjerto es la porción inferior del injerto, la cual forma el sistema radical de la planta injertada. Puede ser una planta procedente de semilla, una estaca enraizada o un acodo. Patrón intermedio. Es una porción de tallo insertada entre el patrón y el injerto por medio de dos uniones de injerto. Hay varias razones para utilizar este tipo de patrón, tales como evitar una incompatibilidad entre el patrón y la púa (Malkum, 2015). Los portainjerto o patrones pueden dividirse según su origen: plántulas (procedentes de semillas) y clónales (que comprenden a plantas apomícticas) (Malkum, 2015).

5.1.6. Radiación fotosintéticamente activa

La radiación solar es la fuente de energía para el crecimiento y desarrollo de las plantas y el principal insumo de bioproductividad vegetal. La parte de la radiación solar que es útil para la fotosíntesis de las plantas es designada como “Radiación Fotosintéticamente Activa” o PAR (iniciales de la expresión en inglés). Normalmente denominamos luz a la parte de la radiación solar que es visible para el ojo humano (Castilla, 2001). La radiación solar es la fuente de energía utilizada por las plantas para el proceso de fotosíntesis mediante el cual las plantas se desarrollan, producen y crecen de materia vegetal (Caldari, 2007).

Se denomina radiación fotosintéticamente activa (PAR) a la radiación en longitudes de onda útiles para la fotosíntesis de las plantas. Se acepta que PAR abarca desde 400 a 700 nm, formada por longitudes de onda de la radiación solar que pueden ser absorbidos por la clorofila y otros órganos fotocromáticos de las plantas, posibilitando la fotosíntesis, variando el efecto de la longitud de onda según las horas del día y los estadios de crecimiento de la planta (Raffo y Iglesias, 2004). Aunque algunos autores incluyen en PAR desde 350 hasta 850 nm. La composición de la radiación

varía en el tiempo, en función de la elevación del sol y de la nubosidad que reduce la cantidad de energía, disminuyendo la radiación infrarroja corta. La proporción de PAR respecto a la global aumenta con la difusión (Castilla, 2007).

Los valores de radiación global se miden, por convención, sobre una superficie horizontal, admitiéndose como norma general que el 48% de la radiación global es de tipo PAR (Hanan, 1998). La radiación PAR puede cuantificarse por su intensidad en unidades energéticas o irradiancia fotosintética por unidad de superficie ($W \cdot m^{-2}$) o en unidades fotónicas también por unidad de superficie (moles de fotones $\cdot m^{-2}$). La transmisividad a radiación PAR (400-700 nm) es la propiedad radiométrica más importante de los materiales de cubierta desde el punto de vista agronómico, ya que es necesaria para la fotosíntesis de las plantas.

Altos valores de transmisión de radiación PAR son importantes para la fotosíntesis, hasta umbrales de saturación a partir de los cuales, nuevos incrementos de la radiación no se traducen en aumentos en la tasa fotosintética de las plantas (Iglesias y Muñoz, 2007). Por el contrario, cuando las plantas reciben cantidades excesivas de luz se pueden deshidratar, desarrollar puntos de crecimiento extra, hacerse blancas por la destrucción de la clorofila, y mostrar otros síntomas de estrés. Las plantas también son dañadas por la radiación calorífica en exceso (infrarroja) o radiación ultravioleta extrema (UV) (Marín *et al.*, 2014).

5.1.7. 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 (Castilla, 2007).

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 (Castilla, 2007).

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).

5.1.8. Crecimiento vegetal

El crecimiento se refiere a un incremento irreversible de materia seca o volumen, cambios en tamaño, masa, forma y/o número, como una función del genotipo y el complejo ambiental, dando como resultado un aumento cuantitativo del tamaño y peso de la planta (Kru, 1997). Es un proceso complejo que incluye muchos otros procesos como división celular, elongación, fotosíntesis, síntesis de otros compuestos, respiración, traslocación, absorción y transpiración (Gómez *et al.*, 1999).

El crecimiento es la consecuencia de la división celular (aumento en número) y la elongación celular (incremento en tamaño). El crecimiento vegetal es concebido como un cambio irreversible

de tamaño, usualmente medido en términos de gramos de materia seca acumulados por unidad de tiempo (Villalobos, 2006). Gardner *et al.*, (1985) enumeraron los principales factores que afectan el crecimiento vegetal agrupándolos en dos grandes categorías:

Factores externos (ambientales)

- Climáticos: luz, temperatura, agua, duración del día, viento y gases (CO₂, O₂, N₂, SO₂, óxido de nitrógeno, F1, Cl y O₃).
- Edáficos: textura, estructura materia orgánica, capacidad de intercambio d cationes, pH, saturación de bases y disponibilidad de nutrimentos.
- Biológicos: malezas, insectos, patógenos, nematodos, varios tipos de herbívoros y microorganismos del suelo (micorrizas y organismos fijadores de nitrógeno, por ejemplo).

Factores internos (genéticos)

- Resistencia al “estrés” causado por el clima, el suelo u otros organismos.
- Tasa de asimilación fotosintética.
- Respiración
- Partición de asimilados y nitrógeno
- Contenido de clorofila, carotenos y otros pigmentos
- Tipo y localización de los meristemas
- Capacidad para almacenar reservas alimenticias
- Actividad enzimática
- Efectos genéticos directos (heterosis y epistasis)
- Diferenciación

Hunt (1978), Radosevich y Holt (1984), Gardner *et al.* (1985) definen el crecimiento como un incremento irreversible en el tamaño de las plantas el cual a menudo es acompañado por cambios

en la forma. Otros autores indican que el crecimiento es un aumento constante en el tamaño de un organismo, acompañado de procesos como la morfogénesis y la diferenciación celular (Taiz y Zeiger, 2006). Mohr (1995) define que el crecimiento de los diferentes órganos de las plantas, es un proceso fisiológico complejo, que depende directamente de la fotosíntesis, la respiración, la división celular, la elongación, la diferenciación, entre otros, y que además está influenciada por factores como temperatura, intensidad de luz, densidad de población, calidad de la semilla, disponibilidad de agua y de nutrientes.

Un primer nivel de estudio, el crecimiento de las plantas, se centra en el aumento de materia seca en el tiempo (Goudriaan y Van Laar, 1995). Según Flores-Vindas (2013), el hecho fundamental del crecimiento es la auto multiplicación del material viviente; por esta razón, se puede definir el crecimiento como un aumento en la cantidad del protoplasma. Esto implica un aumento en volumen, permanente y geométrico, que produce un organismo de forma determinada. En las plantas vasculares superiores, usualmente el término crecimiento se usa para referirse a cambio cuantitativos durante el desarrollo de la célula, tejido, órgano u organismo. Estos cambios se efectúan mediante los procesos de división y alargamiento celulares. El alargamiento celular implica, además de aumento en tamaño, un proceso de diferenciación simultáneo y temprano. La diferenciación celular es el establecimiento de diferencias cualitativas entre células, tejidos y órganos, debido al cambio variado y progresivo que sufren éstos, a partir de su condición meristemática inicial durante el desarrollo del individuo.

5. 2. Marco de referencia

5.2.1. Importancia internacional del café

De las 125 especies de *Coffea*, solo dos se cultivan económicamente para la producción de la bebida de café, *Coffea. arabica* Linneo y *Coffea. canephora* Pierre ex Froehner (café robusta). El

café arábico, el de mayor importancia a nivel mundial, representa aproximadamente el 60% de la producción y exportación, se asocia con los mejores precios y una mayor calidad de la bebida. Su principal centro de diversidad se localiza en las tierras altas del sudoeste de Etiopía y la meseta de Boma en Sudán del Sur, con poblaciones silvestres también registradas en el Monte Marsabit en Kenia (Bramel *et al.*, 2017).

La especie *C. canephora* tiene una distribución mucho más amplia, cubriendo una gran área que se extiende desde África Occidental (Ghana, Guinea, Costa de Marfil, Liberia y Nigeria) a través de Camerún, República Centroafricana, Congo, República Democrática del Congo, Uganda y el norte de Tanzania hasta el norte Angola, en altitudes que van desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 1,000 metros (INIFAP, 2011; Bramel *et al.*, 2017).

A nivel mundial, el principal productor de café robusta es Vietnam que concentra el 42% de la producción, seguido por Brasil quien aporta el 25% de este tipo de café. La producción de café arábica representa alrededor del 55% de la producción mundial y la de robusta compone el resto. En la década de los años ochenta, el café arábica llegó a representar el 80% de la producción total, sin embargo, la producción de este tipo de café ha crecido proporcionalmente menos que la de robusta (FIRA, 2016).

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

5.2.1.1. Importancia del café en México

En México, el cultivo de café es un renglón de relevancia económica, social y ecológica. Su cultivo se extiende sobre las vertientes del Golfo de México y Pacífico en el centro y sur del país, con distintos tipos de manejo que se pueden simplificar en cinco principales sistemas de producción que influyen en diversos ecosistemas, formas de organización campesina y problemáticas regionales (Nolasco, 1985; Moguel y Toledo, 1999; Hernández-Martínez, Manson y Contreras, 2009).

México destaca entre los principales productores de café a nivel mundial (Juárez *et al.*, 2010), actualmente ocupa el undécimo lugar (ICO, 2016) y se cultiva en 15 estados, de los cuales destacan Chiapas, Oaxaca y Veracruz con 83 % de la superficie nacional plantada (Hernández *et al.*, 2012).

En el país la caficultura es una actividad que permite la integración de cadenas productivas, la generación de divisas y empleos, el modo de subsistencia de muchos pequeños productores y alrededor de 30 grupos indígenas, además de la relevancia ecológica debido a que el 90 % de la superficie cultivada está establecida en condiciones de sombra diversificada (Escamilla *et al.*, 2005; López y Caamal, 2009).

En México, aproximadamente el 94.5 por ciento de la producción de café se obtiene de la especie arábica y el 5.5 por ciento corresponde a variedad robusta. En 2015/16 se produjo café cereza en 15 entidades; en cinco de éstas se concentró el 93.7 por ciento de la oferta nacional: Chiapas (43.3 por ciento), Veracruz (22.9 por ciento), Puebla (14.5 por ciento), Oaxaca (7.9 por ciento) y Guerrero (5.0 por ciento) (FIRA, 2016).

El café es un cultivo estratégico en México; su producción emplea a más de 500, 000 productores de 14 entidades federativas y 480 municipios. Actualmente se consume 1.3 kg per cápita al año y se satisface el total de requerimientos nacionales con producción dentro del territorio. Por otro

lado, México ha dejado de ser el productor principal de café orgánico del mundo durante la última década, destinando aproximadamente 3.24 % de la superficie cultivada del total de este producto para esta variedad en el último año (SAGARPA, 2017).

De las 730, 011 hectáreas sembradas en 2016, 94.98 % de la superficie se encuentra no mecanizada debido al intensivo uso de mano de obra, 34.63% tuvo tecnología aplicada con sanidad vegetal, mientras que 34.58% del territorio sembrado con este cultivo contó con asistencia técnica, Por otro lado, del total producido en 2016, el 0.11% fue con riego de tipo general, y el resto de temporal. Del café verde reportado por USDA (2017), el 51.95 % de la producción nacional se destina a consumo doméstico y el resto a exportaciones (SAGARPA, 2017).

En el contexto de mercados, del total de exportaciones mexicanas de café, 53.85 % se destina a Estados Unidos; el volumen restante, a países miembros del bloque de la Unión Europea y otros como Japón, Cuba y Canadá. En 2016, la exportación de México tuvo como principales destinos a países miembros del TLCAN, el TPP, el TLCTN, así como a China y a la Unión Europea; sin embargo, la participación fue menor a 5% del total de las importaciones de café en cada uno de los países de destino (SAGARPA, 2017).

Actualmente se satisface el 100% de los requerimientos nacionales con producción interna; no obstante que la producción ha caído 43.51% en la última década, se identifica un aumento en las importaciones provenientes principalmente de Brasil, Honduras y Vietnam (SAGARPA, 2017).

En años recientes, los bajos precios en el mercado mundial, aunados a la incidencia de la roya, provocaron una reducción de casi 50 % de la producción nacional. Ante esta situación se redefinió la política pública para reactivar el sector cafetalero. Para el 2030 se estima un aumento en el consumo nacional de 0.80 a 0.94MMt (miles de millones de toneladas) y que la producción nacional pase de 0.82 a 4.70 MMt, lo cual representa un crecimiento acumulado de 16.48 y

471.46%, respectivamente. Con base en el incremento de la producción nacional, se sugiere impulsar y diversificar las exportaciones (SAGARPA, 2017).

5.2.1.1.1. Importancia del café en el Estado de Veracruz

Veracruz se encuentra en la parte central de la vertiente del Golfo de México. Es el segundo estado con mayor producción de café en la república mexicana con una superficie de 145,373.87 hectáreas, sembradas principalmente con las variedades de *Coffea arabica*: Typica, Bourbon, Mundo Novo, Caturra, Garnica y otras en menor proporción. La región cafetalera se encuentra distribuida en 100 municipios del estado (SIAP, 2015). En el territorio cafetalero se distinguen 10 regiones: En la zona norte Huayacocotla y Papantla, en la zona centro están Atzalan, Misantla, Coatepec, Huatusco, Córdoba, Zongolica y en la zona sur Tezonapa y Los Tuxlas.

En Veracruz podemos distinguir tres tipos de productores de café: pequeños productores o minifundistas, productores agrícolas o agroindustriales y productores secundarios, que son aquellos que no tienen como actividad principal el café. La gran mayoría de los productores son minifundistas y mantienen sus fincas como sistemas de policultivos y rústicos (Villani, 2017).

Las zonas indígenas dentro de las regiones cafetaleras en Veracruz son muy importantes dentro de esta zona podemos encontrar las siguientes Náhuatl, Otomí, Tepehua, Totonacas, Mazateco, Popoluca y las diferentes variantes de cada una de ellas (Villani, 2017).

El rendimiento promedio reportado por el SIAP (2015) fue de 2.3 tha^{-1} , superado por Puebla 2.87 tha^{-1} y Michoacán con 3.40 tha^{-1} .

En los cafetales de Veracruz, no sólo se produce café de alta calidad, también se generan diversos productos como leña, madera, forraje, frutos diversos, miel, hongos y hierbas comestibles y medicinales, carne de animales de monte y epífitas ornamentales como orquídeas, por mencionar algunos; también se producen los llamados servicios ambientales. Sin lugar a duda la cafecultura

veracruzana es una fortaleza estatal en el sentido económico, social y ambiental que es posible consolidar como un modelo de desarrollo integral (Hernández y Córdova, 2011).

Los cafetales de sombra funcionan como un refugio importante para una gran variedad de especies del bosque mesófilo de montaña (Manson, 2008). Además, áreas que albergan cafetales de sombra se consideran con un valor alto de oportunidad para el mantenimiento de la biodiversidad en los bosques mesófilos de montañas.

El Plan Agrícola Nacional para el Café 2017- 2030, tiene como objetivo maximizar el desarrollo productivo nacional, en lo particular, para la región centro del estado de Veracruz, el impulso al desarrollo de la cafecultura (SAGARPA, 2017) se centra en:

- Promover el fortalecimiento de las campañas fitosanitarias con el fin de lograr el control de las plagas que existen actualmente.
- Impulsar la creación de viveros certificados para la producción y comercialización de plántulas.
- Fomentar el desarrollo empresarial entre las agrupaciones de productores.
- Implementar un paquete tecnológico para la producción orgánica.
- Impulsar el cultivo de variedades diferenciadas de café de acuerdo con la demanda en el mercado.
- Promover prácticas que cooperen con la recuperación del suelo.

5.2.1.1.1.1. El café en la región de Huatusco

La región de Huatusco se caracteriza por una aceptable red de caminos en las comunidades cafetaleras y su accesibilidad a centros importantes de acopio comercial como Huatusco, Ixhuatlán del Café y Totutla, aunque algunas comunidades y municipios alejados de estos centros sí presentan algunos problemas de comunicación y accesibilidad a las zonas cafetaleras, arrastrando

con ello otros problemas como la falta de asistencia técnica, el intermediarismo, los insumos caros, etc (Jáuregui, 2016).

No obstante, la región se distingue también por sus rendimientos que oscilan entre los 8 y 12 qqha⁻¹, habiendo fincas que sobresalen de manera importante en este factor, superando los 30 qqha⁻¹ y que pueden considerarse un factor demostrativo para avanzar en la transferencia de tecnología (López *et al.*, 2013).

Otro dato interesante de esta región es que ha adoptado tecnología de producción incluyendo nuevas variedades, manejo integrado de algunos problemas fitosanitarios, tecnología de beneficiado húmedo, prácticas de conservación de suelos, y diversificación productiva entre otras, debido quizá, a la influencia directa del Centro Regional Universitario de Oriente, dependiente de la Universidad Autónoma Chapingo, lo que se traduce en oportunidades de desarrollo para dicha región, aunque aún falta mucho por transferir a productores y validar tecnologías de primer impacto (Jáuregui, 2016).

5.2.2. Problemática de la cafecultura en México

La cafecultura es una actividad que se caracteriza por su alto grado de complejidad en donde intervienen múltiples factores de orden ambiental, económico, social, cultural, político y legal. El concepto de sistema producto café (permite el análisis integral de la problemática de esta cadena agroindustrial porque considera los múltiples factores y sus eslabones, desde los aspectos históricos, geográfico-naturales, ecológicos, agronómicos, de transformación del producto e incluso del aprovechamiento de los subproductos, hasta los mecanismos económicos-financieros, organización e productores, transporte, financiamiento, comercialización, y consumo, así como todos los aspectos de legislación y normatividad vinculados a los eslabones de la cadena del café.

Los ciclos de auge y crisis se han intensificado, y sus efectos se manifiestan en cinco dimensiones o planos: político, tecnológico, socio-cultural, económico y ecológico (SAGARPA, 2005).

En el plano tecnológico los problemas mas importantes son la disminución de la productividad de los cafetales, plantaciones viejas, reducción del manejo tecnológico en el proceso productivo (también denominada regresión tecnológica), abandono de cafetales, sustitución de plantaciones por otros cultivos o actividades, abandono de cafetales, sustitución de plantaciones por otros cultivos o actividades, especialización productiva en algunas regiones, cultivo de café en áreas marginales, problemas fitosanitarios (broca, ojo de gallo, roya, nematodos y otro). Adicionalmente, los conocimientos son insuficientes en el sector y la difusión de tecnología es escasa, la capacitación es deficiente y hay dificultades para la transferencia de tecnología (SAGARPA, 2005) .

La cosecha de café en Chiapas se redujo a una tasa anual de 5.5 por ciento, al ubicarse en 361,850 toneladas, su nivel más bajo desde 1997/98. En tanto, la producción de Veracruz disminuyó 30.8 por ciento con respecto a la cosecha 2014/15, al ubicarse en 191,017 toneladas, es decir, su nivel mínimo desde 1979/80. La segunda mayor disminución en la producción, entre los cinco principales estados productores, ocurrió en Puebla, con una tasa anual de 29.1 por ciento, mientras que la de Oaxaca se redujo 19.9 y la de Guerrero 6.9 por ciento con respecto a 2014/15 (FIRA, 2016). En el ciclo 2015/16 el rendimiento promedio nacional de café cereza fue de 1.3 toneladas por hectárea. Este nivel de productividad es el mínimo desde que se tiene registro, en 1979/80, y es consecuencia, entre otros factores, a las considerables afectaciones que en años recientes ha ocasionado a las plantaciones la enfermedad de la roya. A esto se suman la avanzada edad de los cafetales. (FIRA, 2016).

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 en el 6 % existen fallas y deben rellenarse los espacios vacíos (SAGARPA, 2011).

5.2.3. Origen y distribución del café

Haarer (1964), se refiere a Antoine de Jussieu quién en 1913 consideró al café árabe como un jazmín llamándolo *Jasminum arabicum laurifolia*. No fue hasta 1727 después de que Linneo estableció el género *Coffea* dentro de su clasificación, que la especie llegó a ser conocida como *Coffea arabica* L. Ferwerda y Wit (1987), afirman que *C. eugenoides* y *C. liberica* pueden ser los ancestros del café árabe. Los mismos autores señalan que la especie *arabica* es nativa de la región suroeste de Etiopía en altitudes 1,000 y 2,000 msnm, es la única especie poliploide hasta ahora descrita (es un tetraploide) y su número de cromosomas somáticos es de $2n=44$, y es una especie autógena, esto debido a que la estructura de la flor permite que ocurra la autopolinización aún dentro del botón cerrado cuando la antesis se retarda en días nublados. Esta especie se ha cruzado artificialmente con otras como *C. canephora* y *C. eugenoides* resultando híbridos totalmente estériles, debido a su condición triploide, según reportan los mismos autores.

La especie *Coffea canephora*, Pierre ex Froehner, conocida como café robusta, fue descubierta en el Antiguo Congo Belga, en el siglo XIX, y se introdujo en el Sudeste de Asia, en 1900, después de que la roya del cafeto, enfermedad causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, destruyera los cultivos de café arábigo, en Ceilán, hoy Sri Lanka, en 1869; así como, la mayoría de cafetales de baja altura, en Java en 1876. La especie *Coffea canephora* es una especie nativa de África Ecuatorial, en las zonas tropicales húmedas de Guinea, Congo y Uganda y se caracteriza por una gran variación de formas y ecotipos que fueron descritos como café robusta. Dentro de la especie robusta se distinguen dos grupos: 1) *Coffea canephora* congolense, que es originario de África

Central (Congo); y, 2) *Coffea canephora* Guinense, que es originario de África Occidental (Guinea) (Duicela *et al.*, 2006). Tiene una distribución geográfica muy amplia que se extiende desde el occidente hacia las regiones tropicales y subtropicales del centro de África (desde Guinea hasta Sudán) (Ferwerda y Wit, 1987). El café robusta es una especie alógama, diploide con $2n=22$, todas las variedades de esta especie son auto incompatibles (Ferwerda y Wit, 1987). Se caracterizan por una gran variación de formas y ecotipos, distinguiéndose tres grupos: el café *congolensis* (originario del Congo), el café *guinensis* (originario de Guinea) y el café encontrado posteriormente en África Central denominado como *Kouilou*, de donde se deriva el café conilón (Clifford y Wilson, 1985).

5.2.4. Clasificación taxonómica

El género *Coffea*, fue descrito en un inicio por Linneo en 1737, tiene diversas especies pero entre las más representativas económicamente se encuentran *Coffea arabica* Linneo (café arábigo o arabico) y *Coffea canephora* Pierre ex Frohener (café robusta). Ramírez (2009), indica que el café pertenece al género *Coffea* y a la familia de las rubiáceas, la cual tiene muchas especies originarias en su mayoría del trópico, y que se distinguen por ciertos caracteres de la flor. Entre estas familias se encuentran las quinas, la ipecacuana, los jazmines, las gardenias, entre otras.

De acuerdo a Zamarripa y Escamilla, (2002), a nivel mundial se dispone de más de 200 variedades de cafés arábigos (*Coffea arabica* L.), sin considerar a la gran diversidad, con más de 100 especies del género *Coffea*, que se encuentran en el centro de origen del café en África. Su clasificación taxonómica se detallan a continuación:

Reino:	Vegetal	Vegetal
Subreino:	Tracheobionta (Angiospermas) Plantas vasculares	Tracheobionta
Súper división:	Spermatophyta (Plantas de semillas)	Spermatophyta

División:	Magnoliophyta (Plantas con flores)	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliophyta (Dicotiledóneas)	Magnoliophyta
Subclase:	Asteridae	Asteridae
Orden:	Rubiales	Rubiales
Familia:	Rubiaceae	Rubiaceae
Subfamilia:	Ixoroideae	Ixoroideae
Género:	<i>Coffea</i>	<i>Coffea</i>
Sección:	Mascorocoffea	Mascorocoffea
Subsección:	Erythocoffea	Erythocoffea
Especie:	<i>arabica</i>	<i>canephora</i>
Nombre científico:	<i>Coffea arabica</i> Linneo	<i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehne

5.2.5. Botánica del café

5.2.5.1. Raíz

Para Gómez (2004), el cafeto es de raíz pivotante cónica (cono invertido) y mide máximo 45 cm. de profundidad; de esta salen raíces que crecen verticalmente hacia abajo, hasta llegar aproximadamente a unos tres metros de profundidad; las raíces secundarias o laterales se extienden horizontalmente y producen las raicillas encargadas de absorber los nutrientes; todo el sistema radical puede alcanzar una extensión de 2.5 m., alrededor del árbol.

Mientras que, Calderón y Guambi (2014), enfatizan que el sistema radicular del café varía según su forma de propagación; esto quiere decir que pueden ser por semillas o clones. Indican que, si provienen de semilla la raíz del café toma la forma de un cono invertido, con una condición leñosa y fuerte. Llega a una profundidad de unos 80 cm o más dependiendo del tipo de suelo. Del manejo de la planta depende el tamaño que pueda tener la raíz.

Ramírez (2009), manifiesta que el cafeto posee una raíz principal que se introduce de forma vertical en el suelo sin importar las condiciones del suelo, llega hasta una profundidad de 50 cm. De esta raíz brotan raíces gruesas que se distribuyen de forma horizontal y sirven de complemento para las raíces, llamadas también raicillas. Las raicillas del cafeto son las encargadas de absorber los minerales y el agua necesarios para su crecimiento.

El sistema radicular del café robusta es abundante, la masa de raíces se concentra en las capas superiores del suelo. Las raicillas del cafeto son bastante superficiales y se encargan de tomar el agua y los nutrientes minerales. En los primeros diez centímetros de profundidad del suelo se encuentra más de la mitad del sistema radical (Duicela *et al.*, 2004).

5.2.5.2. Tallo

El tallo o tronco y las ramas primarias forman el esqueleto del cafeto. La parte inferior del tallo de una planta adulta es cilíndrica, mientras que la parte superior (ápice) es cuadrangular y verde con las esquinas redondeadas y salientes, esto como características principales (Ramírez, 2009).

La planta de café, es de crecimiento ortotrópico indefinido, que puede llegar hasta una altura de entre los 10 a 12 m.; específicamente en condiciones abiertas. La base de la planta une el tronco con la raíz primaria y todo el sistema radicular. (Calderón & Guambi, 2014).

Las plantas de esta especie son pequeños árboles vigorosos, de altura variable, pudiendo alcanzar hasta los 12 metros. Los árboles de café robusta pueden ser monocaules (un solo tallo productivo) o multicaules (varios tallos productivos). La planta de café robusta tiene un crecimiento dimórfico: los tallos principales (ejes ortotrópico) tienen un crecimiento vertical y las ramas plagiotrópicas, crecen horizontalmente (Duicela *et al.*, 2004).

5.2.5.3. Hojas

El café robusta presenta hojas anchas de bordes orlados o lisos, de forma oblonga – elíptica, cortas, acuminadas, redondeadas o ampliamente acuñadas en su base, de 15-30 cm de largo y 5-15 cm de ancho; la nervadura media es plana por arriba, prominente por debajo; las nervaduras laterales son de 8-13 pares; el pecíolo es fuerte de 8-20 mm de largo. Pueden ser ampliamente triangulares, largas puntiagudas, connatas por su base y semi-persistentes (Méndez, 2011 y Duicela *et al.*, 2004). Serrano (2013), comenta que las hojas son algo endurecidas y se insertan en el tallo una frente a otra o en grupos de tres. Además de ser persistentes, de forma oblonga o elíptico-lanceolada, tienen un tamaño de 5-20 x 2-7.5 cm y el borde entero o ligeramente ondulado. Concluye en que el tamaño de los pecíolos es de entre 7 y 12 mm de diámetro.

Mientras que Ramírez (2009), la hoja es un órgano indispensable para la formación y desarrollo de la planta, ya que allí se lleva a cabo el proceso de fotosíntesis, transpiración y respiración. En las ramas del cafeto una hoja tarda aproximadamente de entre 15 a 20 días en aparecer. La lámina de la hoja por lo general mide de 20 a 24 cm de largo por 5 a 12 cm de ancho, variando su forma elíptica a lanceolada. Las hojas constituyen el un importante laboratorio del cafeto, donde los nutrientes son distribuidos en todo su sistema, esto incluye a la raíz. El tamaño, consistencia y ondulación de la hoja depende mucho del fenotipo. Las hojas son opuestas y en la base de cada hoja se encuentran las yemas que producen las flores y posterior el fruto (Calderón & Guambi, 2014).

Se manifiesta que las variedades de café de la especie arábica tienen las características morfológicas de un arbusto, normalmente de copa piramidal, de hojas elípticas, oblongas y a veces lanceoladas. Las hojas son relativamente pequeñas varían en anchura, promediando de 12-15 cm de largo y más o menos 6 cm de ancho, de forma oval o elíptica, acuminadas, corta, agudas en la

base algunas veces un tanto onduladas siempre vivas. Las inflorescencias comprenden de dos a tres simas por axila. Los frutos son drupas de forma elipsoidal. La floración y producción tienden a ser estacionarias (Guilcapi, 2009).

5.2.5.4. Flores

Al igual que la mayoría de especies de la familia *Rubiaceae*, la disposición floral del cafeto es distal; es decir, en grupos separados de yemas, que brotan en los nudos a lo largo de las ramas laterales. El café robusta tiene flores hermafroditas de incompatibilidad gametofítica. Las flores son de color blanco, en dos racimos axilares, sésiles. La corola tiene de 5-6 lóbulos, el tubo sólo un poco más corto que los lóbulos. Los estambres y el pistilo bien salidos (Méndez, 2011 y Duicela *et al.*, 2004).

El café robusta puede florecer una o varias veces al año, con una lluvia de 10 mm después de un período de estrés hídrico. La flor del café posee los cuatro tipos de estructuras propias de una flor completa: dos estructuras estériles (cáliz y corola), y dos estructuras fértiles: los carpelos (ovario, estilo y estigma) y los estambres (Arcila, 2004).

La flor posee cinco estambres de 6 a 8 mm de largos, los cuales se insertan entre los lóbulos de la corola, donde cada estambre posee una antera con cuatro sacos polínicos. El estilo y los estigmas poseen una longitud (12 a 15 mm) que los hace sobresalir ligeramente por encima del tubo de la corola (Arcila *et al.*, 2007). La flor del café posee atractivos para los insectos como los nectarios y una alta producción de fragancia que se producen desde el momento mismo de la antesis y son fundamentales para aumentar las visitas florales (Méndez, 2011).

El estigma permanece receptivo por espacio de tres días y en ocasiones, con buenas condiciones de ambiente, pueden permanecer por cuatro días. Dependiendo del ambiente, a las 10 am hay un incremento considerable de los granos de polen en el ambiente, especialmente cuando este es seco

y no hay mucho viento. Se estima que entre el 78 y 80 % de los granos de polen son normales, de estos solamente 83 % de los granos tienen una germinación adecuada (Duicela *et al.*, 2004).

Después de tres o cuatro días de fecundadas las flores se secan y la corola, tras de haber cumplido su misión de atrayente se cae, solo se preserva el estigma del pistilo. (León, 1962; Duicela *et al.*, 2004).

Durante el desarrollo de la inflorescencia y de la flor ocurren las siguientes etapas: inducción floral e iniciación de la inflorescencia (primera etapa), que ocurre a nivel molecular a una tasa muy rápida y no diferenciable externamente. Después de la inducción se inicia la inflorescencia y en este estado el nudo está rodeado por estípulas de color verde claro. El desarrollo de la inflorescencia continúa y puede durar de 30 a 35 días aproximadamente. La segunda etapa es la de desarrollo de los botones florales en las yemas. Termina en el momento en que se observan los botones florales adheridos entre sí y todavía sin abrir emergiendo en una inflorescencia multiflora. Los botones alcanzan el tamaño de un “comino”. Esta etapa tiene una duración en promedio, de 45 días. En la tercera etapa, los botones florales alcanzan un tamaño de 4 a 6 mm, se separan y aun verdes, cesan su crecimiento entrando en una fase de reposo que puede durar alrededor de 30 días. Esta inactividad es una verdadera latencia, inducida por la exposición continua de la yema a estrés hídrico o a factores endógenos.

En una cuarta etapa, influyen ciertas causas como: las lluvias repentinas, la reducción súbita de la temperatura, la variación de los contenidos de ácido giberélico y el estrés hídrico, pueden estimular el crecimiento del botón floral latente, que aumenta su longitud 3 ó 4 veces. Los botones inician la etapa de pre antesis, la cual se detecta por la coloración blanquecina de los pétalos, todavía cerrados. Esta etapa dura de 6 a 10 días. La última etapa es la de antesis o florescencia (apertura

de la flor) propiamente dicha. Una flor abierta dura en promedio 3 días (Barros *et al.*, 1978; Camayo *et al.*, 1996; Wormer y Gituanja, 1970).

Mientras que, Serrano (2013), indica que la planta de cafeto es considerada de día corto, es decir, que su floración se produce cuando las noches empiezan a alargarse. Por lo general necesita entre 11 y 13 horas luz al día, esto quiere decir que debe tener entre 200 y 280 horas por mes en la estación seca, y entre 100 y 150 horas durante la estación lluviosa.

5.2.5.5. Frutos

La fecundación es la unión del grano de polen con el óvulo, formando el cigoto que da origen al fruto. El fruto del cafeto es una drupa elipsoidal, que está formado por el epicarpio (cáscara), mesocarpio poco acuoso, endocarpio (pergamino) y endospermo o semilla. Los granos de café robusta tienden a ser más pequeños que los de arábica. Según el clon, la forma del grano puede ser redondeada, ovalada o elíptica, con puntas pronunciadas (Duicela *et al.*, 2005)

El fruto es una baya que tiene una forma elíptica, con dimensiones de 8 a 16 milímetros; Se forman alrededor de uno a cinco frutos por cima, dentro de su desarrollo que contempla a partir de la floración hasta la maduración transcurre de 230 a 280 días, dependiendo del genotipo y de las condiciones ambientales (Calderón y Guambi, 2014).

Serrano (2013), argumenta que los frutos del cafeto consisten en bayas más o menos ovales, con una longitud de entre 1 a 1.5 cm, y con un diámetro promedio de entre 0.8 y 1 cm, y color negro o negro-purpúreo cuando llega a su estado de madurez. Además, indica que consta de una o dos semillas lisas por baya, con dimensiones de 8-12.5 x 7.9 mm.

Ramírez (2009), cita que el fruto es una drupa que, por lo general, contiene dos semillas con una longitud de 10 a 17 mm, que se conoce como café uva, dependiendo de la variedad se necesitan entre siete y ocho meses para que madure, su cubierta (pulpa) es roja o amarilla en algunas

variedades. El fruto es de color verde al principio, luego se torna amarillo y finalmente rojo, aunque algunas variedades maduran color amarillo.

5.2.5.6. Semilla

Para Ramírez (2009), la semilla está compuesta de dos partes muy importantes: la almendra y el pergamino; la característica principal de la almendra indica que es un poco dura y de color verdoso, se encuentra recubierta por una capa plateada cuando está seca. Mientras que el pergamino es la parte que protege la semilla, y está cubierto de una sustancia azucarada denominada “mucilago” o “baba”.

Mientras que, Calderón & Guambi (2014), manifiestan que las semillas del café son de alta consistencia y que está recubierta por una capa plateada y sedosa. En el lado superior están ubicados los cotiledones. Los granos de café son de forma ovoide, varía mucho en su tamaño dependiendo de las condiciones agroclimáticas y de la fertilidad del suelo.

5.2.6. Requerimientos edafoclimáticos

5.2.6.1. Altitud y latitud

Para la producción de café de calidad es muy importante la altitud sobre el nivel del mar, las características del suelo, humedad disponible y la presencia de fenómenos naturales como sequías, heladas, vientos fuertes y exceso de lluvias, son fundamentales para determinar la buena o mala calidad del café producido (Santoyo *et al.*, 1996). De acuerdo a Contreras (2000), la altitud está estrechamente relacionado con la calidad del café.

Un clima adecuado para el café depende de la altitud y la altura sobre el nivel del mar , ya que por cada 100 m de altitud la temperatura disminuye 0.6°C y se ha documentado ampliamente que la altitud tiene una influencia importante en las características del café (Wintgens, 2004). Santoyo *et*

al., (1996) reportan que, a nivel mundial, y particularmente en México y Centroamérica, existen clasificaciones en función de la altitud.

En efecto, la altitud es un factor determinante en la calidad, ya que la mayor altura sobre el nivel del mar incrementa la densidad y dureza de los granos, así como el grado de acidez, aroma, sabor, fineza y cuerpo por lo que los granos y la bebida son más apreciados. En altitudes menores, con temperaturas y humedad más elevadas la maduración es más rápida, lo que ocasiona efectos negativos en el sabor y en las características físicas del grano. Sin embargo, en granos producidos a alturas muy elevadas la acidez tiende a bajar (Guyot *et al.*, 1999; Wintgens, 2004; Herrera, 2005; Regalado, 2006).

Duicela *et al.*, (2004) y Escamilla (1999) mencionan que el café robusta presenta una adaptación a altitudes menores a 600 msnm, tolera la roya y los nematodos, produce una bebida fuerte, astringente y con cuerpo ideal para preparar café soluble.

5.2.6.2. Suelo

Los estudios sobre la influencia del suelo en la calidad del café son escasos, aunque se considera que las características de textura, profundidad, pH, contenido de materia orgánica y fertilidad del suelo están relacionadas con la cantidad producida, aunque las restricciones en estos aspectos se pueden reflejar en la calidad. A nivel mundial se acepta que los cafés de mayor acidez crecen sobre fértiles suelos volcánicos (Harding *et al.*, 1987, citado por Leroy *et al.*, 2006).

Avila & Cortes (2013), indican que la textura, profundidad, pH, contenido de materia orgánica y la fertilidad están relacionados con la cantidad de frutos producida, en estos aspectos se reflejarán también en la calidad del grano y la bebida. Serrano (2013), menciona que el cafeto requiere suelos aluviales, arcillosos, silíceos o de origen volcánico, que sean profundos, friables y de buena textura. El pH idóneo se encuentra entre 4.5 y 6.5. Ramírez (2009), indica que el mejor suelo para

el cafeto es el flojo y profundo que proviene de la disgregación de diferentes rocas en pequeños cascajos, con una riqueza de humus mediana. Los suelos buenos para café deben tener una acidez entre 5 y 5.5.

Calderón & Guambi (2014), resaltan que el pH adecuado para café está en el rango de 5.6 a 6.5. Esta característica química del suelo tiene relación directa con la mayor disponibilidad de nutrientes para los cafetos. Si el pH esta sobre 6.5 habría que aplicar estiércol descompuesto o abono de reacción acida; si el pH esta debajo de 5.5 se debe aplicar cal (carbonato de calcio) o dolomita (carbonato doble de calcio y magnesio).

El café arábica se produce en zonas ricas en ácidos y minerales, elementos esenciales que son indispensables para sus futuros sabores incomparables. Tras cada temporada de lluvia, el árbol florece y requiere posteriormente nueve meses para madurar su fruto, unos granos de café ovales de color amarillo verdoso. El café arábica se distingue por su aroma, su finura y bajo contenido en cafeína (Guilcapi, 2009).

5.2.6.3. Temperatura

Descroix y Snoeck (2004) mencionan que las especies del género *Coffea* son de naturaleza tropical y subtropical, debido a que no tienen la capacidad de sobrevivir en temperaturas bajo cero. La sensibilidad al frío o al calor varía entre especies: en *C. arabica* la temperatura óptima media oscila de 18°C en la noche a 22°C en el día, y las extremas son 15°C por la noche y 25° a 30°C por el día. Temperaturas superiores a 25°C causan reducción de la fotosíntesis, al exposición prolongada a temperaturas arriba de 30°C produce clorosis de la hoja y flores anormales de tipo "estrella", así como frutos defectuosos; además, las temperaturas altas favorecen la incidencia de enfermedades como la roya (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) y de plagas con la broca (*Hyphotenemus hampei* F.). En contraste, temperaturas por debajo de 2°C causan serios daños al cafeto y pueden llevarlo a la

muerte, y ocasionan daños parciales o totales en los granos, que se consideran dañados o helados (Regalado, 2006).

Reglado (2006) menciona que los climas templados, asociados con mayores altitudes, favorecen la calidad, en particular los atributos de acidez y aroma, y en menor intensidad los del cuerpo, lo que en conjunto permite un agradable sabor al paladar. Vaast *et al.* (2004), encontraron que en altitudes mayores, con temperaturas por debajo de 22°C la productividad del café se reduce aproximadamente en 20%, pero este se puede compensar con la disminución de la alternancia de la producción y los incentivos en mejores precios por la calidad. En contraste, en climas cálidos y húmedos la productividad se incrementa, pero generan una influencia negativa sobre el sabor de la bebida de café.

El cultivo de café robusta se desarrolle con normalidad a una temperatura de entre 22 a 26°C.; y para el café arábico 18 a 21°C, dadas estas condiciones se prevé una producción favorable en cada ciclo del cultivo (Duicela *et al.*, 2004). Avila & Cortés (2013), mencionan que las bajas temperaturas propician un desarrollo lento y una maduración tardía de los frutos. Por otra parte, las temperaturas altas aceleran la senescencia de los frutos, disminuyen la fotosíntesis, reducen el crecimiento y la producción. Además, pueden causar anomalías en la flor y fructificación limitada, así como propiciar enfermedades y susceptibilidad a plagas, lo cual puede afectar la longevidad de la planta, productividad, rendimiento y calidad.

Gómez (2004), indica que la temperatura media en la que se deben sembrar los cafetales esta entre 18°C y 21°C; en climas más fríos, con temperaturas menores de 18°C, la producción es menor y en temperaturas mayores de 21°C, las plantas se desgastan y su vida productiva se reduce. Bajo sombra, la vida productiva del cafeto se prolonga y el grano produce una bebida suave. Ramírez (2009), resalta que la temperatura más favorable es de los 18 a los 22°C, la calidad del café es

superior cuanto menor es la temperatura y menos húmedo es el terreno. Para que las plantas jóvenes adquieran un desarrollo adecuado, se necesitan temperaturas de 30°C en el transcurso del día y 23°C en gran parte de la noche. A partir de cada año, la planta de café necesita de temperaturas medias en la mañana de 23°C, y nocturnas de 17°C (Serrano, 2013).

5.2.6.4. Precipitación

Arnold (2001), menciona que, para el buen desarrollo del cafeto, la distribución de la lluvia durante todo el año es más importante que la cantidad y estima que precipitaciones entre 1,200 y 2000 mm anuales son las mejores. Calderón & Guambi (2014), manifiestan que una precipitación anual de 2 000 a 3 000 milímetros, bien distribuida en el año, es considerada óptima para la producción de café robusta. no obstante, se debe permitir una precipitación anual de alrededor de 2 000 milímetros, para ser considerada adecuada dentro de los parámetros para el cultivo de café robusta. Avila & Cortes (2013), determinan que el rango de lluvia para el cultivo de café es de 1 200 a 1 800 milímetros. Para lograr una buena floración se necesitan un promedio de 20 milímetros durante el día. Aunque el cafeto muestra cierto grado de tolerancia a la sequía, un periodo seco prolongado disminuye la cosecha del año siguiente y puede ocasionar deficiencias nutricionales como resultado de una menor difusión de elementos en el suelo.

5.2.6.5. Humedad

La humedad relativa y la lluvia influyen sobre el crecimiento de los cafetos y la incidencia de plagas. El café requiere de lluvias suficientes y con una distribución adecuada durante el año. El periodo de sequía disminuyen la actividad fisiológica de la planta, y si se presenta en forma severa entre la 6^a y 16^a semana después de la fecundación ocasiona una gran cantidad de granos vanos y los frutos que se desarrollen serán de tamaño más pequeño, por lo que la calidad de la cosecha y su valor en el mercado también disminuirán (Santoyo *et al.*, 1996; Wintgens, 2004). Regalado

(2006) reporta que periodo prolongados de sequía provocan desequilibrios en la fisiología del cafeto y producen granos vanos y negros.

Descroix y Snoeck (2004) señalan que la humedad atmosférica o humedad relativa (HR) del aire tiene una influencia muy marcada en el comportamiento de los cafetos y la calidad. En el *C. arabica* la HR más adecuada es 60%, y niveles constantes de 85% pueden demeritar la calidad.

5.2.7. Clones portainjerto de *C. canephora*

La resistencia genética es considerada como el componente básico del control de los nemátodos, esta alternativa es la más económica, reduciendo al mismo tiempo los riesgos de contaminación ambiental.

En Brasil se seleccionó la variedad Apoata con resistencia a *Meloidogine incognita*. En Guatemala se utiliza desde hace muchos años el patrón de Robustas para controlar al nematodo *Pratylenchus* particularmente sin embargo, estos Robustas no seleccionados presentan un bajo nivel de resistencia a *Meloidogynes* “agresivos” (IICA-PROMECAFE, 1996).

Flores (2010), menciona que el Instituto Mexicano del Café desarrollo trabajos tendientes a la selección de progenitores destacados que produjeran clones de café robusta, cuyo cultivo permitió el aprovechamiento de tierras marginales, como resultado de estos estudios se seleccionaron 21 tipos sobresalientes a los cuales se les denominó “ROMEX” (robustas mexicanos).

Castillo *et al.* (1997), reportaron resultados de alta tolerancia en clones “ROMEX”, seleccionados por el extinto Instituto Mexicano del Café, nueve de esos clones actualmente se encuentran en el banco de robustas del INIFAP, en Rosario Izapa, Chiapas.

Flores (2010), en el municipio de Tlacotepec de Mejía en el estado de Veracruz, con el objetivo de describir y caracterizar físicamente clones de café robusta con potencial en resistencia a nematodos, evaluó 22 introducciones de *C. canephora*, identificando cuatro clones (97-10, 97-17,

95-02, 97-20) sobresalientes por su tolerancia a nematodos. La producción fue mayor en los clones 95-02 y 97-17. Por su calidad destaca el Clon 95-02, por el tamaño del grano y la mejor apreciación y puntaje en la evaluación sensorial. En diciembre de 2011 se trasplantaron a campo 361 plantas de los cuatro clones con mayor resistencia a nematos.

Flores (2015), realizó una caracterización preliminar de estos cuatro clones (97-10, 97-20, 97-17, 95-02) tomando en cuenta 17 variables, de las cuales las características de los cuatro clones que presentaron diferencias estadísticas fueron: altura de la planta, longitud de las ramas, longitud y ancho de la hoja. En todas estas variables el clon 95-02 fue el que presentó los valores más altos. En el caso de longitud del peciolo foliar también hubo diferencia estadística pero el clon con los valores más altos fue el 97-17. En las variables de número de frutos por nudo y número de axilas por rama, aunque el clon 95-02 presentó las medias más altas no hubo diferencia estadística. Para el caso de número de ramas por nudo y ángulo de inserción de las ramas primarias tampoco hubo diferencia estadística pero el clon con los valores más altos fue el 97-10. El estado general de las plantas fue bueno, con apariencia elongada cónica y crecimiento arbustivo en la mayoría de cafetos de los cuatro clones. Además, un mayor porcentaje de la plantación tiene estipula triangular y oval, hojas elípticas, color verde en la hoja joven y ápice de la hoja en forma puntiaguda para la mayoría de los casos.

López (2018), evaluó cuatro clones de café robusta (*Coffea canephora* P.) (95-02, 97-10, 97-17, 97-20) con alta tolerancia a nematodos de la raíz en la región de Huatusco, Veracruz. Para ello estableció un experimento a nivel de vivero donde se evaluaron plantas de café robusta propagadas vía asexual mediante estacas. Los cuatro clones evaluados presentaron características similares en el desarrollo de su crecimiento aéreo y radical. El clon 2 presentó el menor crecimiento aéreo, mientras que los clones 1, 3 y 4 obtuvieron mayor altura. En el volumen radical de los cuatro

clones tuvieron un comportamiento similar, pero los clones 1 y 4 obtuvieron los valores promedios más altas con 42.9 y 42 cc, respectivamente. En el porcentaje de agallas, los cuatro clones resultaron un comportamiento similar, pero los clones 1 y 4 presentaron el valor escalar mínimo, que coincide con el menor porcentaje de agallas.

Se concluye con la importancia de aprovechar el potencial que tienen estos clones de *C. canephora* como portainjertos tolerantes a nematodos. Así también, su alto potencial productivo y de calidad del grano y en taza.

Peña (2018), caracterizo cuatro clones de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) (95-02, 97-10, 97-17, 97-20) resistentes a nematodos, con alta productividad y calidad en el Municipio de Tlacotepec de Mejía, Veracruz. Los resultados finales mostraron que la mayor altura la tuvieron los clones 1 y 4. En cuanto al número total de hojas, el clon 3 mostró diferencias estadísticas significativas con respecto a los clones 1, 2 y 4. Este mayor número de hojas está relacionado con la formación de mayor número de ejes ortotrópicos. En la variable volumen de la raíz, los clones que tuvieron mayor desarrollo radical fueron 1 y 4, esto corresponde con la menor incidencia de agallamiento de la raíces causados por nematodos del género *Meloidogyne*. La integración de los resultados permitió determinar que las variables volumen de raíz y severidad de agallamiento causado por nematodos, son criterios concluyentes para seleccionar los clones que se usen para conformar el jardín policlonal; y es justamente que los clones 1 y 4 mostraron el potencial para la obtención de una variedad portainjerto tolerante a nematodos. Es importante aprovechar el potencial que tienen estos clones de *C. canephora* como portainjertos tolerantes a nematodos. También se ha determinado que tienen un alto potencial productivo y de calidad del grano y en taza.

El tener clones de café robusta identificados como resistentes a nematodos y además con buenas características agronómicas ayudara a seleccionar material adecuado ya sea para producción o para utilizarlo como porta injertó con variedades de arábica para que estas obtengan la resistencia a nematodos y así disminuir los niveles de esta enfermedad.

5.2.7.1. *C. canephora* P. variedad Nemaya

La variedad Nemaya fue obtenida en 1995 por el ANACAFE en Guatemala, resultado de la cruce de dos plantas de café Robusta (T5361 y T3751) obtenidas de la colección del CATIE en Turrialba, Costa Rica. (Anzueto *et al.*, 1995; ANACAFE, 1999). La descendencia híbrida de esta cruce es altamente resistente a *Meloidogyne arenaria* de El Salvador, *Meloidogyne* sp. de Guatemala, *Meloidogyne exigua* y *Meloidogyne arabicida* de Costa Rica y *Meloidogyne incognita* de Nicaragua (Anzueto *et al.*, 1991; Bertrand *et al.*, 1999). Los robustas en general presentan un mayor grado de tolerancia a *Pratylenchus* sin embargo, el T3751 -uno de los padres de la variedad, ha demostrado ser más tolerante que otros Robustas (ANACAFE, 1999).

En Guatemala, el ANACAFE estableció lotes de semilleros en 1998, para ser distribuidas a los productores como patrón o portainjertos para los programas de injertación (Anzueto *et al.*, 1995; ANACAFE, 1999).

5.2.8. *C. arabica* Variedad Oro Azteca tolerante a roya del café

La variedad Oro Azteca es el resultado de la cruce de la variedad Caturra Rojo, que le confiere características de porte bajo y rendimiento, cruzada con el híbrido de Timor que le otorga la resistencia al hongo *Hemileia vastatrix*. Este cruzamiento lo efectuó el Dr. Aníbal J. Betancourt en 1959 en el Centro Internacional de las Royas del Café (CIFC) en Oeiras, Portugal. A partir de 1960 se inició el proceso de selección y avance generacional en países de África y América (Escamilla y Zamarripa, 2016).

El Instituto de Investigación Agronómica de Angola (IIAA) y la Universidad Federal de Viçosa (UFV), en Brasil, intervinieron en las fases primarias de la selección de materiales promisorios. En 1981, el INIFAP recibió y estableció en su Campo Experimental Rosario Izapa progenies avanzadas de cafetos, los cuales fueron evaluados de forma individual a fin de conocer sus características agronómicas. Después de su caracterización se realizó el avance generacional con el objetivo de homogenizar los diferentes genotipos, seleccionando 21 progenies que conforman el material para las pruebas de adaptación efectuadas en las regiones del Soconusco, Chiapas; Costa de Oaxaca; Coatepec, Veracruz y Sierra Norte de Puebla (Escamilla y Zamarripa, 2016).

La variedad de Oro Azteca puede considerarse de porte bajo, de tipo semi compacto en relación al descriptor *Typica*. El fruto es elipsoidal de color rojo claro en su madurez. El porcentaje de granos normales tipo planchuela fue superior al 90%, valor similar al presentado por el testigo Caturra Rojo. El porcentaje de fruto vano varía según el nivel altitudinal, registrando un promedio de 6%. El grano caracol presentó valores inferiores al 5% (Escamilla y Zamarripa, 2016).

Las pruebas de adaptación realizadas del ciclo agrícola 1986-1987 al ciclo 1994-1995 en diferentes regiones cafetaleras indicaron que la producción varió de 32.2 a 55.2 quintales de café pergamino seco por hectárea. En promedio de 27 condiciones ambientales evaluadas, el rendimiento fue de 40.1 quintales de café pergamino seco por hectárea, superando en 37% el rendimiento de la variedad mejorada Caturra Rojo (Escamilla y Zamarripa, 2016).

En cuanto a la fluctuación de la producción a través de los años, cabe destacar que el comportamiento de la variedad Oro Azteca es muy similar a la del testigo Caturra Rojo. La producción registrada durante nueve cosechas en condiciones de sombra regulada y a una densidad de 3,333 plantas por hectárea, es un buen indicativo de la consistencia de la variedad Oro Azteca.

Estos datos demuestran que no se agota rápidamente como es el caso de algunos materiales mejorados que después de tres o cuatro cosechas pierden su vigor (Escamilla y Zamarripa, 2016). A los resultados obtenidos se les aplicó un análisis para determinar la estabilidad del rendimiento y tipo de variedad de acuerdo a su comportamiento. Oro Azteca se clasificó como una variedad que responde mejor en buenos ambientes a diferencia del testigo Caturra Rojo (Escamilla y Zamarripa, 2016).

Es común en diversas variedades y principalmente en descendientes del híbrido de Timor, encontrar defectos como frutos vanos y granos caracol. Los resultados de evaluación de fruto y semilla realizados en cada sitio experimental y en cada año de estudio, indican que esta variedad presenta un promedio de grano planchuela superior al 90% (Escamilla y Zamarripa, 2016).

Los valores de fruto vano obtenidos en cuatro localidades varían de 3.0 a 7.3% en el caso de la variedad Oro Azteca y de 3.9 a 6.4% en la variedad Caturra Rojo. Cabe mencionar que el porcentaje de fruto vano varía de acuerdo al nivel altitudinal, obteniéndose valores más bajos en las regiones de altura. El cultivo, en altitudes superiores a 600 msnm, presenta valores inferiores al 5% de fruto vano (Escamilla y Zamarripa, 2016).

Como características más distintivas están sus hojas elípticas con el ápice apiculado, son verdes en su juventud y verde oscuro en su madurez, con vástagos abundantes (10-14) sobre el eje principal, entrenudos cortos, es de alto rendimiento, y buena calidad de grano, además, se adapta a alturas desde los 600 hasta los 1200 msnm (Zamarripa *et al.*, 1995).

El criterio calidad de la bebida es fundamental en la generación de variedades de café por lo que se realizaron las pruebas de catación a fin de conocer la calidad de esta variedad. Las pruebas fueron realizadas por parte del grupo de expertos de la Compañía Nestlé de México. Se evaluaron la acidez, el cuerpo, el aroma y el sabor, utilizando tres variedades comerciales como testigos. Los

resultados indicaron que la variedad Oro Azteca produce un tipo de bebida similar a las de las variedades Catuaí, Caturra y Garnica, lo que demostró la buena calidad de taza de la nueva variedad (Escamilla y Zamarripa, 2016).

5.2.9. Importancia de los nematodos en el cultivo del café

Los nematodos parásitos de las raíces de cafetos pertenecen a dos géneros: *Meloidogyne* y *Pratylenchus* spp. Son de importancia económica ya que los primeros desarrollan agallas en las raíces reduciendo la capacidad de absorción de agua y nutrientes en la planta, los segundos lesionan los tejidos provocando el desprendimiento de la corteza en las raíces (Anzueto *et al.*, 1995; Villain *et al.*, 1999).

En el vivero las plantas atacadas presentan una clorosis general y enanismo; en plantaciones establecidas los cafetos presentan un amarillamiento en las hojas y posteriormente sufren una defoliación (Christie, 1959; Taylor, 1968). Las plantas atacadas no desarrollan sintomatología aérea característica por lo cual los agricultores y agrónomos confunden los síntomas con problemas edáficos (Villain *et al.*, 1999).

Vaast *et al.*, (1997) señalan que la infección por el nematodo endoparásito en café disminuye a la mitad la proporción de raíces absorbentes y reduce las tasas de absorción de nitrato y amonio en 63% y 54% respectivamente, afecta negativamente la producción. Los daños afectan seriamente estados tempranos de desarrollo de las plantas de café, cuando las plantas son transplantadas a campo, lo que ocasiona menor producción, frutos pequeños, deficiencias nutricionales y acortamiento de la vida productiva de la plantación (Restrepo *et al.*, 2008).

La presencia de nematodos en el cultivo del café fue señalada desde 1935 sin embargo, ha sido hasta los últimos años que se ha aceptado la importancia de las pérdidas que ellos provocan. Aun cuando no se tenga información precisa sobre su impacto económico, se estima de manera general

que las pérdidas pueden situarse en un rango de 15 a 25 % de la producción. Dentro de los países más afectados están Guatemala, El Salvador, Nicaragua y México (IICA-PROMECAFE, 1996).

La infección puede ocurrir desde el semillero, donde las plantas muestran nodulaciones en las raíces pero sin presentar el síntoma de “corchosis”, las plantas dañadas pueden pasar al vivero donde la enfermedad sigue desarrollándose hasta presentar deformación hipertrófica en la raíz pivotante y en las primarias, la corteza se “hincha” y “agrieta”, formando un tejido corchoso que fácilmente se desprende, por consiguiente se observan síntomas de clorosis, escaso crecimiento plagiotropico y ortotrópico. Las plantas raramente mueren en el vivero debido a una producción abundante de raíces inmediatamente abajo del nudo vital, que las mantiene durante más tiempo (SARH, 1993).

Cuando las plantas infestadas logran desarrollarse, su follaje es escaso y clorótico; sin embargo, apenas comienzan a producir, la enfermedad se acentúa y la defoliación debilita más rápidamente a la planta la cual muere después de la tercera o cuarta cosecha. Aunque los nematodos pueden vivir en una amplia gama de ambientes, son favorecidos por los suelos, bien drenados y temperaturas entre 18° y 25°C, buena humedad relativa y precipitaciones regulares bien distribuidas en todo el año. Las épocas de sequía marcadas bajan considerablemente las poblaciones en el suelo; sin embargo, las hembras parecen sobrevivir por largos periodos dentro de las raíces (SARH, 1993).

5.2.9.1. Nematodos en la zona centro de Veracruz

Los nematodos se empiezan a detectar con problema alrededor de 1960 en las regiones de Córdoba y Huatusco, Veracruz por el INMECAFE. Así, en el estado de Veracruz, en los municipios de Huatusco, Zentla, Tiotutla, Tepatlaxco, Amatlan de los Ryes, Ixhuatlan del Café, Fortín de las flores, Tlaltetela, Córdoba y Atoyac se ha reportado la presencia de “niguas” o nematodos. En la

actualidad se tiene conocimiento que se han dispersado a otros municipios e incluso se encuentran en estados como el de Chiapas; sin embargo, se descubrió que este problema es ocasionado por una asociación de nematodos y hongos del género *Fusarium*, entre otros. En la actualidad a este problema se le denomina “corchosis del cafeto” (Paz y Escamilla, 2016).

Con una superficie de 167,667 ha dedicadas a este cultivo, Veracruz es el segundo estado productor de café en México (INEGI, 2014). Del total de esta superficie, 50,000 ha están infectadas por nematodos, lo que implica reducciones en el potencial productivo del cultivo del orden del 35% (INIFAP, 2005). De hecho, López-Lima *et al.*, (2015) realizaron un muestreo en ocho fincas de la zona centro de Veracruz, en gradiente altitudinal de 559 a 1,361 msnm, reportando infestación en todos los sitios muestreados.

El control químico, es un método que debe utilizarse cuando se tiene el problema inicial en plantaciones jóvenes, con buena productividad, ya que los cafetos viejos y con altas poblaciones del nematodo ya no responden al tratamiento químico. En semilleros y viveros el tratamiento con nematicidas baja las poblaciones del nematodo, pero nunca se logra una total sanidad, por lo que se sigue corriendo el peligro de diseminar plantas infestadas. La fumigación del suelo antes de la siembra o trasplante, es la mejor práctica para este problema (SARH, 1993). Sin embargo, el uso de nematicidas se han utilizado para el control de nematodos en café en los últimos 30 años, teniendo el inconveniente de su alto costo, toxicidad y causan contaminación ambiental (Paz y Escamilla, 2016).

Esta situación ha motivado la búsqueda de un método apropiado, práctico y económico para el control de esta plaga. Desde este punto de vista se recomienda la injertación de especies moderadamente resistentes o tolerantes a los nemátodos como es la especie de *Coffea canephora*, conocido como café robusta (Paz y Escamilla, 2016).

5.2.9.2. Cafetos injertados como control de nematodos

Cuando los cafetos muestran síntomas de daño es porque sus poblaciones en la raíz ya han alcanzado cifras alarmantes, por lo que cualquier practica cultural que se intente por sí sola resulta ineficiente. Las prácticas culturales como desinfección de suelos para semilleros y viveros, control de malezas, remoción de plantas muertas y la injertación son preventivas, con el fin de evitar la diseminación de los nematodos dentro y fuera de las plantaciones, y deben considerarse dentro de un programa de manejo integra contra nematodos en el cultivo.

La práctica de injertar café sobre un patrón de la var. Robusta (*C. canephora*) es una buena medida para aquellas áreas donde el problema ya es una limitante para cultivar café. La variedad Robusta ofrece un sistema radical abundante y tolerante a los nematodos, lo que le permite a la variedad injertada, que debe ser altamente productora, sostener su buena productividad por lo menos durante 10 años y ser tolerante a plagas y enfermedades. El tipo de injerto recomendado para café es el método Reyna implantado en Guatemala desde hace ya varios años en plantaciones comerciales. La injertación ofrece además otras ventajas al cafeto como tolerancia a sequía, se adaptan mejor a suelos delgados y dan un mayor vigor a la planta (SARH, 1993).

En el estado de Veracruz se han realizado más avances al respecto y desde hace 40 años los productores han adoptado la práctica de injertación utilizando como patrón *Coffea canephora* de origen masal. La injertación es una práctica económica y eficiente, sin embargo, se requiere utilizar un patrón de robusta que esté plenamente identificado por su alta tolerancia a nematodos sobre todo del género *Meloidogyne* spp. (Flores ,2015).

5.2.10. Historia del injerto en café

La utilización del injerto de café se remonta a 1900 en Indonesia; en algunos países cafetaleros es una práctica común como es el caso de Guatemala y El Salvador (Paz y Escamilla, 1996). Los

mismos autores comentan que en México se comenzó a injertar café desde 1970 y actualmente esta actividad se está popularizando en la zona central de Veracruz para el control de nematodos y algunos hongos que causan daño a la raíz del cafeto.

El Instituto Mexicano de Café (1987), señala que la reproducción asexual es practicada en muchas de las plantas cultivadas, se lleva a cabo con el propósito de fijar ciertas características deseables a los individuos resultantes.

En café, este tipo de propagación cuando se hace por medio de injertos, se utilizan a propósito dos especies que presenten cualidades complementarias deseables con respecto a reproducción y resistencia a factores desfavorables del medio ambiente, que puede interferir en su desarrollo normal. Las variedades de cafetos pertenecientes a la especie *arabica*, son por naturaleza grandes productores, como la “Bourbon”; pero su sistema radical es débil y susceptible al ataque de muchos organismos patógenos, especialmente en los primeros años de edad. Por otra parte, algunas de las especies de *C. canephora*, *C. excelsa* y *C. liberica*, aunque producen granos de inferior calidad, poseen un sistema radical vigoroso que las hace, según investigaciones llevadas a cabo en otros países, resistentes al ataque de nematodos y a ciertas enfermedades de la raíz. Por esta razón, en los trabajos experimentales de injertos de café, se ha usado mayormente combinaciones entre cafetos con buenos síntomas radicales y otros que son buenos productores (Colorado, 2001).

5.2.11. Injerto hipocotiledonar

El injerto hipocotiledonar o "injerto Reyna" de variedades comerciales de *Coffea arabica* sobre patrones de *Coffea canephora* es una práctica bastante difundida que ha permitido controlar en muchos casos la problemática de los nematodos en las plantaciones de café a pesar de que la mayoría de las fincas cafetaleras utilizan para obtener los patrones, semillas de plantas de Robusta presentes en el lugar sin haber realizado ninguna selección de porta-injertos (CENICAFE, 2010).

La técnica de injertación en café se utiliza ampliamente en algunos países de América, como Guatemala, El Salvador, Nicaragua y México. Mediante este procedimiento se injertan variedades comerciales de *C. arabica* sobre porta injertos de *C. canephora* como una estrategia para prevenir o disminuir el daño de nematodos en raíces (Wintgens, 2004).

El injerto hipocotiledonal es la interacción de dos plantas y consiste en injertar cualquier variedad de café de la especie *arabica* (Oro azteca, Colombia, Costa rica, Marsellesa, Bourbon, Catuai, Caturra, Catimor, etc.) sobre la especie *canephora* variedad Robusta. (ANECAFE, 2015).

El injerto hipocotiledonar debe realizarse por lo general a los 60 días de haberse iniciado el semillero, teniendo el cuidado de realizarlo en periodo de soldadito debido a que el tejido del tallo aún no se ha lignificado y se evita la transpiración de la planta, el cual consiste en injerta cafetos de especies (*Coffea arabica*), sobre patrones de (*Coffea canephora*) el cual ha demostrado ser el recurso más práctico y económico para el control de los nematodos en la plantación (Romero, 2012).

Este método de injertación que ha dado buenos resultados de prendimiento según Paz y Escamilla (2016)., incluso se utiliza para injertar plantas de mayor edad en las partes tiernas del patrón y de la variedad. Para hacer este injerto se requieren cuatro cortes, los pasos para hacerlo son los siguientes:

1. Se toma el patrón de la variedad Robusta, se hace un corte transversal, a unos cuatro centímetros arriba de la base del tallo, enseguida se hace un corte en medio del tallo hacia abajo.
2. Se hace el corte en la vareta de modo que forme una cuña, se incrusta la vareta en el patrón y por último se venda con una cinta de plástico o biodegradable denominada Parafilm.

Ventajas del injerto Hipocotiledonar

- Resistencia y tolerancia a nematodos, plagas del suelo y enfermedades.
- Mejor anclaje de la planta.
- Permite mejorar su anclaje, debido al abundante sistema radicular.
- Mayor absorción de nutrientes de suelo.
- Tolera, condiciones limitantes de suelo y agua, reduciendo el estrés hídrico.
- Reducción del estrés hídrico en verano.
- Reducción de la cantidad de fertilizante químico, para sostener una productividad.
- Aumento de la rentabilidad del cultivo, base fundamental para una caficultura sostenible.

Desventajas del injerto Hipocotiledonar

- Aumento del costo de producción del almácigo.
- Es necesario mano de obra calificada (ANACAFE. 2015).

5.2.12. Unión del injerto - portainjerto

De acuerdo a Hartmann *et al.*, (2002) la secuencia usual de los pasos en la cicatrización normal de una unión de injerto, es la siguiente:

1. Establecimiento de contacto íntimo de una porción considerables de la región cambiales del patrón y del injerto bajo condiciones ambientales favorables. Se necesitan temperaturas que favorezcan una actividad celular elevada. De ordinario, las temperaturas entre 12.8° a 32°C, dependiendo de la especie, conducen a un crecimiento celular rápido. Así pues, las operaciones de injerto deben efectuarse en la época del año en que se esperen dichas temperaturas favorables y cuando los tejidos de las plantas, en especial los del cambium, están en estado activo natural. El nuevo tejido de callo que se origina en la región cambial está formado por células turgente, de pared delgada, que se pueden desecar y morir con facilidad. Para la producción de esas células de parénquima es importantes que cerca de la región cambial de la unión la humedad se mantenga

elevada. Esto explica la necesidad de encerar prolijamente la unión del injerto o de usar algún otro método para mantener un alto nivel de hidratación del tejido. Es importante que la región de unión del injerto se mantenga o mas posible libre de organismos patógenos.

2. Producción y entrelazamiento de células de parénquima (tejido de callo) por el patrón y la púa. Durante la operación de injerto, las células cortadas y dañadas por la navaja de injertar se vuelven a de color pardo y mueren, formando una placa necrótica. Se puede desarrollar peridermo de lesiones y las capas que están en contacto se vuelven muy suberizadas. Debajo de estas células muertas, en un periodo de uno a siete días, se forman células nuevas de parénquima (callo) tanto en el patrón como en la púa, originándose del parénquima en los radios del floema y en las partes inmaduras del xilema. Al injertar púas sobre patrones establecidos, el patrón produce la mayor parte del callo. Las células de parénquima, que forman el tejido esponjoso de callo, llenan el espacio entre los dos componentes originales del injerto (patrón y púa), entrelazándose íntimamente y proporcionando cierto sostén mecánico, así como permitiendo el paso de una determinada cantidad de nutrientes del patrón al injerto.

3. Producción de un nuevo cambium a través del “puente” de callo. En los bordes de la masa de callo recién formada, las células de parénquima que están en contacto con las células cambiales del patrón y la púa, unas dos o tres semanas después del injerto se diferencian a nuevas células cambiales. Esta formación de cambium en la masa de callo sigue más y más hacia adentro, alejándose del cambium original del patrón y de la púa, y se desarrolla a través del puente de callo hasta que finalmente se forma entre patrón y púa una conexión cambial continua.

4. Formación de nuevo xilema y floema a partir del nuevo cambium vascular producido en el puente de callo. En el puente de callo, la envoltura de cambium recién formada comienza a tener actividad cambial característica, depositando nuevo xilema y nuevo floema al igual que el

cambium vascular original del patrón y de la púa, y continúa haciéndolo durante toda la vida de la planta.

5.2.13. Prendimiento del injerto hipocotiledonar

Las primeras investigaciones sobre la injertación de café acontecen en 1947, con pruebas de compatibilidad entre diferentes germoplasmas. En 1962 ya se contaba con resultados concluyentes, identificándose la variedad Robusta (*Coffea canephora*), como el material de mejor compatibilidad con variedades de la especie *Coffea arabica* (López y Anzuelo, 2007).

Espinoza *et al.*, (2017) encontraron que existe una gran compatibilidad entre las variedades arábicas y los patrones del género robusta con un porcentaje de prendimiento superior al 95%.

Juárez (1993), obtuvo buen prendimiento entre robusta y las variedades arábicas como Garnica, Bourbon, Typica, Caturra, Catimores y Catuaí; utilizando diversos materiales para vendar los injertos, los mejores fueron la cinta plástica de nylon delgado y la cinta de casete, sin embargo, en la actualidad se ha popularizado el uso de tiras de papel Parafilm, material biodegradable que evita hacer la actividad del desvendado. Así también, se determinó que la mejor etapa para injertar es la fase de soldadito en vareta (arábica) y soldadito o mariposa para el patrón (robusta).

Zacarias (2001), reporta compatibilidad a los 45 días de establecido, entre *Coffea canephora* P. y *Coffea arabica* L. encontrando alto porcentaje de prendimiento para la variedad Bourbon con 98.33 % y en menor valor fue para la variedad Caturra con 95.00 %, trabajando con injerto hipocotiledonar de corona.

5.2.14. Incompatibilidad

Según Malkum (2015), la falta de capacidad de la púa y el patrón, y las condiciones de lugar permitirán tener una unión exitosa, sin embargo, los síntomas de incompatibilidad podrán presentarse de la siguiente forma:

- Deformaciones en el punto de unión del injerto.
- Amarillamiento del follaje, defoliación temprana.
- Falta notoria de crecimiento vegetativo, necrosis en tejidos periférico de la púa.
- Poco vigor comparado con otras plantas del mismo lote.
- Muerte prematura del árbol, tanto en vivero como en el campo.
- Tejido hipertrofiado en la unión del injerto, arriba o abajo de ella.
- Ruptura en el punto de unión del injerto

La presencia aislada de uno o más de los síntomas arriba mencionados no necesariamente significa que la combinación sea incompatible. Algunos de estos síntomas pueden resultar también de ciertas condiciones ambientales desfavorables, tales como la falta de agua o de algún nutriente esencial, ataques de insectos o enfermedades o malas técnicas de injerto (Hartmann *et al.*, 2002).

Es probable que la indicación más clara de incompatibilidad sea la ruptura del árbol en el punto de unión, en particular cuando han estado creciendo por algunos años y la ruptura es neta y lisa mas bien que áspera o desgarrada. Esto puede ocurrir uno o dos años después de que la unión se ha efectuado (Hartmann *et al.*, 2002).

5.2.15. Propagación de injertos de café

La propagación de plantas es la base para obtener cafetos productivos, resistentes a plagas y enfermedades y con excelente calidad física del grano y de la bebida. La forma más común de propagar cafetos de las variedades arábicas es mediante la semilla. El injerto es una técnica de propagación que permite unir dos especies o variedades con características complementarias y que permite combinar características deseadas. En el caso del café se emplea el café robusta como portainjerto o patrón, debido a que sus raíces son abundantes, profundas y toleran a los nematodos

y otros hongos; en el caso de las variedades arábicas se busca mantener la producción de cafés de mayor calidad.

La propagación de plantas injertadas de café conlleva una serie de labores en semillero y vivero, donde es necesario prever y considerar cada una de éstas para obtener al finalizar los diez o doce meses, plantas de calidad para llevar a campo.

5.2.16. Tecnología en la producción de cafetos en vivero

El sistema tradicional de la bolsa con sustrato de tierra ha permitido por mucho tiempo un bajo nivel tecnológico en la producción de plantas, reduciendo la sobrevivencia y la productividad de las plantaciones de café. La mayoría de las plantas son producidas con efectos de sombra natural a base de follajes y malla sombra de color negro. Las características de estos materiales, en los diversos tipos de viveros, tienen sus alcances y aspectos limitativos para la producción de plantas de calidad.

La investigación en materiales para la producción de plantas en vivero y el uso de estas nuevas tecnologías permitirá reducir el impacto ambiental que ocasiona la extracción de altos volúmenes de los suelos con mayor fertilidad, eficientizar el uso continuo de contenedores, así como homogenizar el crecimiento en la producción de biomasa aérea y radical de plantulas de café.

5.2.16.1. Contenedores

Su principal función es la de contener una pequeña cantidad de sustrato, que a su vez abastece a las raíces con agua, aire, nutrientes minerales y además proveer soporte físico (Arizaleta y Pire, 2008). El agua en el contenedor se comporta de manera diferente que el agua en suelo no confinado (Furuta, 1978). Características como el volumen, profundidad y forma actúan sobre la dinámica de crecimiento de las raíces al limitar la disponibilidad de recursos necesarios para su crecimiento: aire, agua y nutrientes (Landis *et al.*, 1990).

Como las plantas se encuentran confinadas en el contenedor, la cantidad de agua disponible es limitada y si la tasa de transpiración excede a la de absorción de la raíz se presenta estrés hídrico (Slatyer, 1967). Las plantas sometidas a un estrés hídrico moderado disminuyen la cantidad de energía consumida por las partes aéreas distribuyendo la mayoría de los asimilados a las raíces, incrementando su crecimiento (Ledent, 2002).

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.

Actualmente existe en el mercado una gran variedad de tipos de contenedores. La forma, volumen, profundidad, abertura de las celdas superior e inferior, la densidad de plantas/m², la presencia de costillas interiores antiespiralizantes, definen las características de los contenedores y la calidad de la planta obtenida (Peñuelas y Ocaña, 1996). El tamaño del envase tiene influencia en el costo final de producción, ya que incide en la cantidad de sustrato a utilizar, espacio a ocupar, mano de obra para el traslado, manejo para la aclimatación o entrega al productor, además del efecto sobre la cantidad de insumos agrícolas necesarios (Queiroz y Melém, 2001).

Según NeSmith y Duval (1998), las plantas pueden presentar cambios morfológicos y fisiológicos en respuesta a la reducción en el volumen de espacio disponible para el desarrollo de la raíz, lo cual puede afectar su normal desarrollo. El crecimiento de la raíz y del vástago, la acumulación de biomasa, la fotosíntesis, el contenido de clorofila, la toma de nutrientes, la respiración, el florecimiento, son procesos que pueden verse afectados por la restricción en la raíz y el tamaño del contenedor.

Cuando las plantas son producidas en diferentes tipos de contenedores, el crecimiento generalmente está influenciado por el volumen que el contenedor posee para el desarrollo de la raíz (Bilderback, 2001).

Coopman (2000), quien afirma que en plantas producidas en contenedores, la biomasa del sistema radical está directamente relacionada con la profundidad, volumen y forma del contenedor. En general, tanto más grande sea el contenedor, más grande será la planta que puede ser producida en él (Kinghorn, 1974).

Debido a que la distribución del volumen del contenedor es de gran importancia en plantas con raíz pivotante fuerte: dos plantas sembradas en contenedores con el mismo volumen pueden mostrar diferencias en el crecimiento de la raíz si la profundidad es diferente (Berenguer *et al.*, 2004).

Estudios realizados en café (*C. arabica* L.) (Arizaleta y Pire, 2008), cacao (*Theobroma cacao* L.) (Gutiérrez *et al.*, 2011), eucalipto (*Eucalyptus viminalis* Labill.). (Al-Zalzaleh, 2009), limón (*Citrus limon* (L.) Burm.) (Ouma, 2006) y pino (*Pinus palustris*) (South *et al.*, 2005), donde se evaluó la limitación del volumen del suelo como origen de restricción radicular, indicaron que las plantas desarrolladas en contenedores pequeños presentaron restricción en el crecimiento radical, ya que la raíz en crecimiento representa el principal vertedero metabólico de fotoasimilados y al limitar su espacio de crecimiento se reduce su fortaleza como vertedero, generando un desequilibrio en la relación fuente-vertedero (Barrett y Gifford, 1995). Zaharah y Razi (2009) encontraron que la restricción de las raíces en mango (*Mangifera indica* cv. Chokanan) contribuyó a la reducción foliar, inhibiendo así el crecimiento de los árboles.

Cuando las raíces están confinadas en contenedores que restringen su crecimiento, se incrementa la competencia por recursos esenciales (Peterson *et al.*, 1991); el incremento en el tamaño de la

raíz y la disminución en el espacio de enraizamiento generan competencia por el oxígeno disponible (Peterson *et al.*, 1991). Al disminuir la profundidad y el volumen del contenedor, la cantidad del espacio poroso disminuye consecuentemente reduciendo la capacidad de retención de agua y aire (Bilderback y Fonteno, 1991).

Los contenedores usados para café deben promover un desarrollo adecuado de la raíz, impidiendo que se doble en el fondo generando “enrollado” al final del envase (Wightman, 2000). Este tipo de deformación genera la denominada “cola de marrano” en las plantas adultas en campo, causando inestabilidad física de las plantas y pérdida de capacidad de absorción de nutrientes (Gaitán *et al.*, 2011).

Plántulas de *Quercus suber* L. sembradas en contenedores más profundos presentaron una mayor longitud de la raíz principal, sin deformaciones, con mayor biomasa radical y aérea (Chirino *et al.*, 2008). Sin embargo, Domínguez (1997) al utilizar 16 contenedores en especies de *Pinus pinea*, observó que a mayor profundidad del contenedor mayor altura, sin embargo esto no se traducía en mayor diámetro, pero al observar el comportamiento de brinzales en el contenedor de 19 cm de profundidad (300 - 350 cm) observo valores óptimos, que presentaba mayor correlación de las variables diámetro y altura.

Una apropiada profundidad y forma geométrica del contenedor es esencial para obtener una adecuada disponibilidad de agua en la zona radical de las plantas sembradas en estos (Heller *et al.*, 2015) y poder entender los procesos que tienen lugar dentro del sistema continuo raíz-planta-atmósfera, así como las interacciones entre el sustrato de crecimiento, las fases líquida y gaseosa dentro de esta matriz y su estatus nutricional (Raviv *et al.*, 2008).

Gil y Díaz (2016), evaluaron la influencia de seis tipos de contenedores sobre el crecimiento de plantas de café en etapa de viver. Los resultados mostraron diferencias estadísticas para las

variables evaluadas debido a que la restricción en el espacio de enraizamiento afectó el crecimiento radical, siendo las plantas sembradas en los contenedores de mayor profundidad las que mostraron mejores características, tales como mayor longitud de raíz pivotante, volumen de raíces y biomasa radical, destacándose aquellas sembradas en la bandeja plástica de 18 cavidades con 21,8 cm de profundidad, lo cual sugiere su utilización en fase de vivero, ya que debido a su característica de reutilización se puede disminuir el impacto ambiental por la utilización de bolsas de polietileno.

5.2.16.1.1. Bandeja plástica

Las bandejas plásticas suelen ser de poliestireno expandido o espuma flex y están disponibles en una variedad de tamaños y formas de cavidad, siendo extremadamente durables ya que tienen una expectativa de vida de más de 10 años (Dumroese *et al.*, 2009).

Ventaja del uso de la bandeja plástica (SWECA, 2018):

- Menos tiempo para preparar el vivero: Facilidad de llenado de bandejas manualmente y poco tiempo para colocar la semilla, o estaca.
- Menos espacio del vivero, muchas celdas por metro cuadrado dan un vivero compacto.
- Menor cantidad de sustrato, por el volumen de celda adecuada para diferentes especies de árboles forestales.
- Corto tiempo de rotación por la aireación de las raíces.
- Ahorro de uso de agua en el riego. Fácil control de irrigación según la capacidad del campo.
- Menos cantidad y ahorro de fertilizantes y pesticidas por cultivación elevada no entran las malezas.
- Guía de raíces en cada celda, que evita raíces espirales.
- Cultivación elevada, elimina plagas y enfermedades, menor problema de inundaciones por fuertes lluvias.

- Auto-poda de raíces por aire y luz da mejores raíces y más grande masa de raíces.
- Realización de siembra es más rápida, debido a que las bandejas se pueden transportar al campo sin estrés por la planta.
- Eficiente siembra 800 plantas por día y hombre con la ayuda de mochila porta bandejas, cinturón porta bandejas, bastón y tubo de plantación.
- Alto nivel de estabilizamiento en el campo por mejor desarrollo de raíces.

5.2.16.1.2. Tubete

Una innovación en la tecnología convencional de producción de cafetos en vivero es la utilización de tubetes de polietileno de alta densidad, de los cuales se han realizado diversos ensayos, para determinar la mejor manera de producir una planta vigorosa (Blandón, 2008). Este sistema de producción es muy eficiente ya que reduce el tiempo y la cantidad de sustrato, y los tubetes poseen una vida útil mayor que la bolsa por lo que reduce la contaminación ambiental al ser reutilizables hasta siete veces.

El tubete es un cono de polietileno de alta densidad de color negro, de 13 cm de altura y 150 cm³ de capacidad, con estrías internas a lo largo del tubo y abierto en la parte inferior. Su peso es de 22 gramos aproximadamente. Las estrías sirven para orientar las raíces hacia abajo y facilitan la separación del "pilón" de las paredes del "cono" cuando se transplanta. La abertura inferior detiene el crecimiento de las raíces ya que, una vez que éstas llegan a la entrada de luz "suspende" su crecimiento produciéndose una especie de "fotópoda", que incrementa el volumen radicular. El orificio superior está rodeado por una "pestaña" o borde que sirve para que el "tubete" sea suspendido en estructuras o "camas" en forma de cuadrículas, así se evita la reinfestación del sustrato ya tratado (Irigoyen, 1997).

Los "conos" o "tubetes" deben colocarse en cada orificio de la cuadrícula de metal que forma la "cama", inicialmente en forma continua hasta que el crecimiento de la plantita llegue a los cinco pares de hojas, a fin de aprovechar el agua de riego, espacio, etc. A partir del quinto par de hojas, deben separarse dejando en cada dirección, una cuadrícula de por medio, sin "tubetes", para mejorar la iluminación y por consiguiente el crecimiento de la planta y dejarlos así hasta que las plantitas alcancen el tamaño de transplante.

Según Irigoyen (1997), los tubetes presentan ciertas cualidades de ventaja o desventaja, que a continuación se escriben:

Ventajas del uso del tubete

- Aumenta la eficiencia de la mano de obra en llenado, riego, transplante y transporte de los "tubetes", en relación a la bolsa.
- Reduce las cantidades de insumos usados (fertilizantes, insecticidas, sustratos, etc.)
- Disminuye el tiempo para producir una planta, si bien ésta sale más pequeña.
- Las raíces en el "tubete" al estar sujetas a una poda por aire tienden a ramificarse y a producir un sistema más denso, que resultará en un mejor establecimiento de la planta.
- Reduce los costos de transporte del vivero a la finca.
- Se puede producir viveros asépticos, puesto que el "tubete", queda suspendido, sin contacto con el suelo.
- Evita la contaminación en el campo, ya que no quedan residuos de bolsas plásticas y, no se llevan plantas contaminadas con nemátodos.
- El área necesaria para desarrollar los viveros en "tubetes" es mucho menor que el utilizado para vivero en bolsa.

- La inversión en la compra del "tubete" se ve justificada con la oportunidad de usarlo varias veces: en cambio la bolsa tradicional tiene un solo uso.
- El transplantador puede llevar más plantas al lugar del transplante, lo que significa una economía del tiempo.

Desventaja del uso del tubete

- Alto costo de la inversión inicial por el precio del "tubete" o "cono macetero" y de las estructuras para soporte, aunque ambas cosas sirven para varias campañas.
- Aún no existe la cultura de producción de viveros en "tubetes", por lo que será necesario dar capacitación y promover su uso, pues se usa otra tecnología y se tiene que empezar con una planta más pequeña en el campo, cosa que tiene que asimilar el productor y acostumbrarse a manejar esta planta de menor tamaño, aunque de vigor excelente.
- Por ser una tecnología nueva, hace falta definir el comportamiento de las plantas en el campo, tanto en establecimiento, producción y vida útil (Irigoyen, 1997 b), aunque la lógica indica que no deberá haber mayor diferencia.

5.2.16.2. Mallas sombra fotoselectivas

El uso de malla plástica para sombrear es una técnica empleada en la horticultura protegida para disminuir la intensidad de la radiación y evitar incrementos de temperatura durante periodos cálidos (Valera *et al.*, 2001).

Las mallas se caracterizan por la porosidad que determina el factor de sombreo y la permeabilidad al aire. Esta porosidad viene determinada por el grosor del hilo y sus características físicas, así como por la densidad de la malla (número de hilos por centímetro), que también van a determinar la durabilidad de la malla, peso, resistencia a rotura y elasticidad. La materia prima más empleada para mallas agrícolas es polietileno de alta densidad (HDPE de densidad 0,94-0,96 g·cm⁻³); el

polipropileno (PP) también se usa como materia prima para mallas pero, más frecuentemente, para la fabricación de láminas no tejidas (filamentos termosoldados de PP, más conocidos como agrotexil) (Castellano *et al.*, 2006).

En los últimos diez años se ha iniciado con el desarrollo de mallas plásticas de sombreo con propiedades ópticas especiales, como un nuevo enfoque para mejorar el uso de la radiación solar en los cultivos agrícolas (Fallik *et al.*, 2009; Ganelevin, 2008). Las mallas sombra de color modifican específicamente el espectro de la luz filtrada en las regiones ultra-violeta, visible y rojo lejano, e intensifica su dispersión (luz difusa), y afecta sus componentes térmicos (región infrarroja) en función de los aditivos cromáticos del plástico y el diseño del tejido (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Rajapakse y Shahak, 2008; Shahak *et al.*, 2004).

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 y

Ramírez, 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. Los colores de mallas sombra más utilizados en la producción de cultivos protegidos son azul, blanco, rojo y aperlado. El grado de sombreo que emite una malla sombra se escoge de tal manera que al mediodía o en la hora de mayor intensidad lumínica las plantas reciban, por lo menos, una cantidad de radiación cercana a su punto de saturación (Devlin *et al.*, 2007).

Dentro de las ventajas que ofrece proteger al cultivo se tienen las siguientes: previenen el efecto del viento, reducen la evaporación y la transpiración de las plantas, además evitan el ingreso de los insectos; que muchas veces son portadores de peligrosas enfermedades virales. Otras de las ventajas de las mallas sombra, es que al instalarse, reducen las aplicaciones de agroquímicos, y ofrecen un menor tiempo a inicio de cosecha; finalmente, la obtención de alta calidad de las cosechas (Ayala-Tafoya *et al.*, 2011).

Mediante el empleo de mallas se puede reducir entre 10 a 95% del total de la radiación solar. La cantidad de luz que se deja pasar al interior depende de la especie que se tenga en cultivo. Con las mallas no se evita el paso del agua de lluvia, además son permeables al viento. Generalmente las estructuras sobre las que se colocan las mallas sombra son metálicas pero también pueden ser construidas con madera (Juárez *et al.*, 2011). Shahak *et al.* (2008) asegura que la nueva tecnología

fomenta el incremento del rendimiento comercial, la disminución de desórdenes fisiológicos y las respuestas fisiológicas relacionadas al tamaño, peso, color, amarre y tiempo de cosecha del fruto . La utilización de mallas plásticas para sombrear o como pantallas termorreflectoras es una técnica de control de la temperatura cada vez más extendida en la horticultura protegida, con la cual se busca disminuir la intensidad de la radiación, para evitar altas de temperatura durante los períodos cálidos (Valera *et al.*, 2001), o para el ahorro de energía en invierno (Anglés, 2001).

Las mallas utilizadas con dichos fines son negras y aluminadas, respectivamente. Las primeras se usan más que las segundas porque cuestan menos, pero son poco selectivas a la calidad de la luz; es decir, sombrean por igual en toda la banda del espectro electromagnético, causando disminución de la fotosíntesis y consecuentemente en el rendimiento agrícola (Valera *et al.*, 2001). De ahí que recientemente se haya iniciado el desarrollo de mallas plásticas de sombreo con propiedades ópticas especiales, como un nuevo enfoque para mejorar el uso de la radiación solar en los cultivos agrícolas (Ganelevin, 2008). Éstas son mallas sombra de colores, cada una de las cuales modifica específicamente el espectro de la luz filtrada en las regiones ultra-violeta, visible y rojo lejano, e intensifica su dispersión (luz difusa), y afecta sus componentes térmicos (región infrarroja), en función de los aditivos cromáticos del plástico y el diseño del tejido (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak *et al.*, 2004).

De acuerdo con Shahak (2008), la nueva tecnología fomenta la estimulación diferencial de algunas respuestas fisiológicas reguladas por la luz tales como la fotosíntesis, que transforma la energía solar en energía química utilizando luz de longitudes de onda entre 400 y 700 nm, conocida como radiación fotosintéticamente activa (RFA), absorbida principalmente por los pigmentos clorofílicos; y la fotomorfogénesis, que incluye efectos sobre la elongación del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila, y muchos otros metabolitos secundarios, en

respuesta a la incidencia de luz azul (400 a 500 nm), roja (600 a 700 nm) y roja lejana (700 a 800 nm), percibidas por fotorreceptores biológicos, principalmente fotocromos y criptocromos, presentes en pequeñas cantidades en las plantas (Decoteau *et al.*, 1993). El uso de mallas sombras reduce la temperatura del aire entre 0.4 y 2.8 grados centígrados durante las horas del mediodía cuando se compararon con un control (Fernandez, *et al.*, 2003).

Adicionalmente, la Malla sombra color perla tiene una mayor difusión de luz (62 %) que las Malla sombra azul (26 %) y Malla sombra negra (11.4 %), por lo que las plantas desarrolladas bajo MS de color con 30 % de sombra captan más luz que aquellas plantas desarrolladas bajo una Malla sombra negra con 30 % de sombra (Shahak *et al.*, 2004).

Rodríguez *et al.* (2015), 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. Ciertas investigaciones en frutales cultivados bajo mallas de sombreado informan de mayores rendimientos (Ganelevin, 2008; Shahak *et al.*, 2008), sin embargo, otras observan rendimientos menores, atribuido principalmente al color rojo y a la efectividad de la malla a la latitud e intensidad luminosa del sitio geográfico y a la especie investigada (Basile *et al.*, 2008; Blanke, 2009).

5.2.16.2.1. Malla color negro

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). Sin embargo, la malla sombra negra es poco selectiva a la calidad de la luz, debido a que sombrea por igual en toda la banda del espectro electromagnético, lo cual causa una disminución en la fotosíntesis y el rendimiento (Valera *et al.*, 2001).

Las mallas de hilo negro han sido las cubiertas más comunes empleadas para estructuras de sombreado son completamente opacas y la calidad del espectro de la radiación viene modificada por la malla; por lo cual, el factor de sombra es casi directamente proporcional a la porosidad de la malla. Algunos autores consideran el comportamiento radiométrico de la malla negra como “mecánico” debido a que los hilos de la malla son completamente opacos y absorben todas las longitudes de onda, por lo que la radiación solar incidente no es modificada por la malla (Castellano *et al.*, 2008).

Las mallas de color negro son las más utilizadas y en menor medida las de color rojo y azul. Los materiales más comunes para la fabricación de mallas sombras son el polietileno y polipropileno, también se empieza a utilizar el poliéster. La duración de las mallas de polietileno, con un buen manejo, puede ser de cuatro años mientras que las de polipropileno pueden durar hasta diez años, ambos materiales son de color negro (Juárez *et al.*, 2011). Sin embargo, el tejido de la malla sombra negra sólo permite la entrada de la radiación por los orificios de la malla, la cual no es filtrada selectivamente (Tinyane *et al.*, 2013).

Encalada (2016), evaluó la influencia de cuatro niveles de luz (100, 70, 50 y 20 %) con malla sombra negra, en algunas características fisiológicas del cafeto (*Coffea arabica* variedad Caturra) en condiciones de vivero, indicando que se produjeron cambios morfológicos y fisiológicos como respuesta a la restricción de luz, que evidencian la capacidad de adaptación del cafeto para aprovechar eficientemente la luz disponible.

5.2.16.2.2. Malla color perla

La malla color 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.

Las mallas sombra dispersivas son menos opacas y difunden la radiación, creando una luz más difusa que puede penetrar en las marquesinas vegetales (Oren-Shamir *et al.*, 2001).

El-Aidy (1991); Shahak *et al.*, (2008) han reportado el incremento en el rendimiento de plantas desarrolladas bajo la malla sombra perla para el cultivo de pepino y pimiento morrón. Márquez-Quiroz *et al.*, (2014), registró un incremento en el rendimiento de 122.85 % de tomate cherry con malla sombra perla, con relación al promedio obtenido por el testigo, con un rendimiento promedio de 10.92 t ha⁻¹. Aunado a lo anterior, diversos estudios han encontrado que las plantas desarrolladas bajo la MSP tienen hojas más grandes, de mayor espesor y fotosintéticamente activas (Oguchi *et al.*, 2003),

Resultados observados bajo malla sombra aluminizadas y perla, por ser termo reflectora (Oren-Shamir *et al.*, 2001), mantiene una temperatura más estable, ya que de día refleja parte de la radiación incidente y por las noches reduce las pérdidas por inversión térmica (Nomura *et al.*, 2009).

5.2.16.2.3. Malla color rojo

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, mejoran la relación de la luz, influye particularmente en los procesos mediados por el fitocromo y también en el proceso fotosintético.

Las mallas coloradas contienen aditivos que filtran la radiación solar para promover longitudes de ondas específicas (Castellano *et al.*, 2008; Stamps, 2009). Baraldi *et al.*, (1998) menciona que la malla roja puede influir en el desarrollo y crecimiento de los cultivos, esto al reducir la radiación solar incidente, por encima del rango 400 nm a 600 nm. Este efecto reduce el ratio entre la radiación en los rangos azul, verde y amarillo y la radiación en el rango rojo, comparado con la radiación solar natural. El cultivo reacciona con un aumento en el desarrollo de la superficie de la hoja, un alargamiento de los entrenudos y una floración y maduración temprana.

Oren-Shamir *et al.* (2001), en su investigación sobre características de mallas de diversos colores sobre plantas decorativas, observaron que el sombreamiento de las mallas rojas mejora la relación de luz rojo: rojo lejano en el ambiente. De tal forma que ésta mejor relación de luz influiría particularmente en los procesos mediados por el fitocromo y también el proceso fotosintético, principalmente en el primer estadio del fruto.

6. Literatura citada

- Altieri, M.A. 1995. *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. Boulder CO: Westview Press. 433 p.
- Al-Zalzaleh, H. 2009. Root and shoot growth of *Acacia saligna* and *Eucalyptus viminalis* as influenced by container geometry. *Eur. J. Sci. Res.* 25, 567-573.
- AMECAFE. 2012. *Plan Integral de Promoción del Café de México*. Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café. México. 63 p.
- ANACAFE. 1999. *Manual de caficultura orgánica*. Asociación Nacional del Café. Guatemala. 159 p.
- ANACAFE. 2015. Asociación Nacional de Café. –ANECAFE. (En línea) Disponible en: http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Los_injertos_del_cafe.
- Anglés, M. 2001. Control climático y ciclo de cultivo. *Horticultura* 19: 28-34.
- Anzuetto, F.; Bertrand, B., Dufoer, M. 1995. “Nemaya”. Desarrollo de una variedad porta-injerto resistente a los principales nematodos en América Central. *Boletín IICA- PROMECAFE*. Guatemala. pp:13-15.
- Anzuetto, F; Eskes, A B; Sarah, J L; Decazy, B. 1991. Recherche de la resistance a *Meloidogyne* spp. dans une collection de *Coffea arabica* in *Colloque scientifique international sur le café* (14. 1991, San Francisco, California. Estados Unidos) [Informe] San Francisco, California Estados Unidos, ASIC. pp. 534 - 543.
- Aragon 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 p.
- Arcila P., J. 2004. Anormalidades en la floración del café. *Avances Técnicos* 320. 8p.
- Arcila, J., F. Farfán, M. Moreno, C. Salazar y E. Hincapié. 2007. *Sistemas de producción de café en Colombia*. Cenicafé, Chinchiná, Colombia.
- Arellano G. R.; Pineda C. N.; Ligia B. S.; Jaimes C. E. 2008. Tipos de utilización de la tierra en áreas cafetaleras, microcuenca del río Monaquito, estado Trujillo-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 49(1): 43-56
- Arizaleta, M. y R. Pire. 2008. Respuesta de plántulas de café al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia* 42, 47-55.

- Arlette I., G. C., & Díaz M., L. J. 2016. Evaluación de tipos de contenedores sobre el crecimiento radical de café (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 125-136.
- Arnold M., y F. Osorio. 1998. Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas. *Cinta Moebio*. 3: 40-49.
- Arnold, J. 2001. *Manual de Cafecultura*. 3ª ed. Tegucigalpa, Honduras: Instituto Hondureño del Café. 238 p.
- Austin M., T. 2006. *Teoría de sistemas y sociedad*. La Página del Profe... Tomás Austin M. Ciencias Sociales en la red, para todas las necesidades. In:http://www.geocities.com/tomaustin_cl/soc/sistema.htm (accesado el 26/11/17).
- Ávila, J. A. y Cortes, V. O. S., 2013. *Estimación de rendimientos en el sector agropecuario*. México D. F.: Editorial Miguel Ángel Porrúa. 350 p.
- Ávila, J. A. 1982. *Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*. Xalapa, Veracruz, México.
- Ayala, T. F.; Zatarain, L. D. M.; Valenzuela, L. M.; Partida, R. L.; Velázquez, A. T; Díaz, V. T.; Osuna, S. J. A. 2011. Crecimiento y Rendimiento de Tomate en Respuesta a Radiación Solar Transmitida por Mallas Sombra. *Revista Terra Latinoamericana*. Vol. 29 (4). 403-410 p.
- Ayala-Tafoya, Felipe, Zatarain-López, Daniela María, Valenzuela-López, Marino, Partida-Ruvalcaba, Leopoldo, Velázquez-Alcaraz, Teresa de Jesús, Díaz-Valdés, Tomás, & Osuna-Sánchez, Jesús A. 2011. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 403-410.
- Baraldi, R., F., Bertaza, G. Rotondi, A. 1998. Effect of simulated light environment on growth and leaf morphology of peach plants. *The journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 73 (2): 251-258.
- Barrett, D.J. y R.M. Cifford. 1995. Acclimation of photosynthesis and growth by cotton to elevated CO₂: interactions with severe phosphate deficiency and restricted rooting volume. *Aust. J. Plant Physiol.* 22, 955-963.
- Barros, R.S.; Maestri, M.; Coons, M.P. 1978. The physiology of flowering in coffee: a review. *Journal of Coffee Research* 8(2-3):29-73.

- Basile, B.; Romano, R.; Giaccone, M.; Barlotti, E.; Colonna, V.; Cirillo, C.; Shahak, Y.; Forlani, M. 2008. Use of photo-selective nets for hail protection of kiwifruit vines in southern Italy. *Acta Horticulturae* 70: 185-192.
- Bastida T. A. y J. A. Ramírez A. 2008. Los Invernaderos en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 233 p.
- Berenger, J.J., M. García Lozano, I. Escobar y M. M. Téllez. 2004. Evaluación del volumen, tiempo de uso y geometría del contenedor en cultivos en fibra de coco. Acta VII Jornadas de Sustratos de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas (SECH), Madrid. pp: 163-169.
- Bertrand, B; Peña, M X; Anzueto, F; Cilas, C; Etienne, H; Anthony, F; Eskes, A B.1999. Genetic study of *Coffea canephora* coffee tree resistance to *Meloidogyne incognita* nematodes in Guatemala and *Meloidogyne* spp. nématodes in El Salvador for selection of root stock varieties in Central América. *Euphytia*. 00:1-8.
- Bilderback, T.E. 2001. Environmentally compatible container plant production practices. *Acta Hort.* 548, 311-318. Doi:10.17660/ActaHortic.2001.548.35
- Bilderback, T.E. y W.C. Fonteno. 1991. Effects of container geometry and media physical properties on air and water volumes in containers. *J. Environ. Hort.* 5, 180-182.
- Blandón, J. 2008. Producción de almácigos de café en tubetes en tres sustratos y tres tipos de fertilización. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras. 20 p.
- Blanke, M. M. 2009. The structure of coloured hail nets affects light transmission, light spectrum, phytochrome and apple fruit colouration. *Acta Horticulturae* 817: 177-184.
- Bonilla A. 2018. Desarrollan sistema de vigilancia epidemiológica para cultivo de café. CONACYT. Consulta: 30 de marzo de 2018. <http://conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/19135-sistema-vigilancia-epidemiologica-cafe>.
- Bramel, P., Krishnan, S., Horna, D., Lainoff, B. y Montagnon, Ch. 2017. Global Conservation Strategy for Coffee Genetic Resources. Crop Trust. World Coffee Researches. 71 p. <https://worldcoffeeresearch>.
- Caldari, J. P. 2007. I Simposio Internacional de Invernaderos 1-5.

- Calderón, G. A. E. & Guambi, L. A. D., 2014. Guía Técnica para la producción y poscosecha del café robusta. Sica. Tercera edición: COFENAC.
- Camayo V., G.C.; Arcila P., J. 1996. Estudio anatómico y morfológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del cafeto *Coffea arabica* L. variedad Colombia. Cenicafé 47(3):121-139.
- Castellano, S., Hemming, S., Russo, G. 2008. The influence of color on radiometric performances of agricultural nets. Acta Horticulturae. 801: 227-235.
- Castellano, S., Russo, G., Scarascia Mugnozza, G. 2006. The influence of construction parameters on radiometric performances of agricultural nets. Acta Horticulturae 718: 283-290.
- Castilla, N. 2001. La radiación solar en invernadero en la costa mediterránea española. incorporación de tecnología al invernadero mediterráneo. López, JC; Lorenzo, P. 35-49.
- Castilla, N. 2007. Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. Ediciones Mundi Prensa. 462 pp.
- Castillo, P.G., Contreras L. A., Zamarripa C. A., Méndez L. I., Vásquez M. M., Holguín M. F. 1997. Tecnología para la producción de café en México. Folleto técnico Núm. 8. INIFAP. Veracruz, México. 90 p
- Cautin, R.; Augusti, M. 2005. Phenological growth stages of the cherimoya tree (*Annona cherimola* Mill.). Scientia Horticulturae 105: 491-597.
- CENICAFE. 2010. Centro de Investigación del Café. CENICAFE. (En línea). Disponible en:[http://biblioteca.cenicafe.or.g/bitstream/10778/45/1/arc061\(01\)46-54.pdf](http://biblioteca.cenicafe.or.g/bitstream/10778/45/1/arc061(01)46-54.pdf)
- Centro de Estudios de las Finanzas Publicas. 2001. El Mercado del Cafe en Mexico. En: www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefpcefp0542001.pdf. Fecha de consulta el 14 de julio de 2015.
- Chirino, E., A. Vilagrosa, E. Hernández, A. Matos, A. y V. Vallejo. 2008. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. Forest Ecol. Manage. 256, 779-785.
- Christie, J R. 1959. Plant nematodes their bionomics and control. University of Florida Gainesville Florida. pp 56-77.
- Colorado L., J. L. 2001. Evaluación preliminar de variedades de *Coffea arabica* L. injertadas sobre patrón de *Coffea canephora* P. y sus similares propagadas por semilla en suelos con presencia de Nematodos en Zentla y Huatusco, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad

- de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Córdoba, Veracruz. 109 p.
- Contreras, L. 2000. Áreas con potencial productivo para cultivar café en el estado de Veracruz. México: INIFAP.
- Coopman, R. 2000. Efecto del tipo de contenedor en las porosidades del sustrato, variables morfofisiológicas y aspectos de manejo en vivero, de plantas de *Pinus radiata* D. Don propagadas a partir de estacas. p. 102. En: Memoria de Título. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- De Miguel A, y V Cebolla. 2005. Unión del injerto. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Moncada, Valencia, España.
- Decoteau, D. R., H. A. Hatt, J. W. Kelly, M. J. McMahon, N. Rajapakse, R. E. Joung, and R. K. Pollock. 1993. Applications of photomorphogenesis research to horticultural systems. *Hortscience* 28: 974-1063.
- Descroix, F. and J. Snoeck, 2004. Environmental factors suitable for coffee cultivation. In: *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. Wintgens, J. N, (ed). A Guidebook for Growers, Processors, Trades and Researchers, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Corseaux, Switzerland. Pp: 164-177.
- Devlin P. F., J. M. Christie and M. J. Terry. 2007. Many hands make light work. *Journal of Experimental Botany* 58:3071-3077.
- Domínguez, S. 1997. La importancia del envase en la producción de plantas forestales. *Quercus* 134:34-37.
- Duicela, L., G. Corral, D. Farfán, L. Cedeño, R. Palma. J. Sánchez y J. Villacís. 2005. Caracterización física y organoléptica de cafés arábigos en los principales agroecosistemas del Ecuador. Primera edición. Consejo Cafetalero Nacional – COFENAL. Manta, Ecuador. 249 p.
- Duicela, L., G. Corral, D. Farfán, L. Cedeño, R. Palma. J. Sánchez y J. Villacís. 2003. Injertación de variedades de café arábigo sobres patrones de café robusta. Desarrollo de tecnología para la producción de café arábigo orgánico. Manta, Ecuador. 248 p.
- Duicela, G. L., Garcia, R. J., Corral, C. R., Farfán, T. D., y F. Anchudia, F. 2004. Calidad física y organoleptica de los cafés robustos ecuatorianos. COFENAC. Manta, Ecuador. 71 p.

- Dumroese, R.K., T. Luna y T.D. Landis (eds.). 2009. Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries. P. 302. En: Nursery management. Vol. 1. Agriculture Handbook 730. USDA, Washington, D.C.
- Einsenback, J. D. ; Hirschmann, H; Sasser, J. N; Triantaphyllou, A. C. 1983. Guía para la identificación de las cuatro especies más comunes del nematodoagallador (*Meloidogyne* especies) con una clave pictórica trad. por Carlos Sosa Moss Raleigh, North Carolina p. 1 – 48.
- El-Aidy F. 1991. The effect of planting date, density, variety and shade on production of cucumber under tunnels. *Acta Horticulturae* 287: 281-288.
- Encalada C. M., Soto C. F., Morales G. D., y I. Álvarez B. 2016. Influencia de la luz en algunas características fisiológicas del acfeto (*Coffea arabica* L. cv. Caturra) en condiciones de vivero. *Cultivos Tropicales* 37 (4), pp. 89-97.
- Escamilla E. P., O. Ruiz R., G. Díaz P., C. Landeros S., D. E. Platas R., A. Zamarripa C. y V. A. González H. 2005. El agroecosistema café orgánico en México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 76: 5 – 16.
- Escamilla P., E. 1999. Especies y variedades de café. In: CRUO. Diplomado continuo en cafecultura. Memoria. CRUO-UACH; Huatusco, Veracruz. s/p.
- Escamilla P., E. y Díaz C. 2002. Sistemas de cultivo de café en México. Huatusco, Veracruz, México.: CRUO- CENIDERCAFE.
- Escamilla P., E. y Zamarripa C., A. 2016. Variedades de café en México. SAGARPA-CENACAFE. Veracruz, Mexico. 43 p.
- Espinoza M., K. E.; Toapanta P. M. F.; García L. J. G.; Vásquez C. H. F.; Jiménez B. J. E. 2017. Evaluación agronómica de la calidad de plantas de café (*Coffea arabica* L) mediante injerto hipocotiledonar, en Caluma, Ecuador. *Revista de Investigación Talentos* IV (1) 87-94.
- Fallik E, Alkalai-Tuvia S, Parselan Y, Aharon Z, Elmann A, O-r Y, Matan E, Yehezkel H, Ratner K, Zur N, Shahak Y. 2009. Can Colored Shade Nets Maintain Sweet Pepper Quality during Storage and Marketing? *Acta Horticulturae* 830: 37-44.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2018. Plataforma de conocimientos sobre agricultura familiar. México. 33 pp. Disponible en: <http://www.fao.org/family-farming/themes/agroecology/es/>. Consultado: 15 de enero de 2018.

- Fernandez, R. E.J; Camacho F. F; Lao Arenas, M.T; Gomez, V.P; Kenig, A; Jimenez, S. 2003. Effects of aluminized shading screens vs whitewash in a non heated greenhouse temperature. *Acta-Horticulturae*.614(1): 427-432
- Ferwerda F. P., y Wit F. 1987. Genotecnia de los cultivos tropicales perennes. A. G. T. Editor, S. A. México. pp: 112-130.
- FIRA. 2016. Panorama agroalimentario. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. 36 p.
- FIRA. 2015. Panorama Agroalimentario 2015. Cafe. Fideicomisos Instituidos en Relacion con la Agricultura. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61949/Panorama_Agroalimentario_Caf_2015.pdf
- Flores S., O. 2005. Evaluación de seis variedades de *C. arabica* L. multiplicadas por semilla e injertadas sobre patrón de *C. canephora* P. en suelos con presencia de nematodos en la Región Centro del Estado de Veracruz. Tesis Licenciado en Biología. Universidad Veracruzana. Córdoba, Veracruz. 98 p.
- Flores -Vindas, E. 2013. La planta: estructura y función. Cartago: Libro Universitario Regional. Vol. II. pp. 884.
- Flores, C. A. 2010. Tolerancia a nematodos en 22 clones de café robusta (*Coffea canephora*) variedad robusta en etapa de producción”. Ursulo Galván, Veracruz, Mexico.: Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.
- Flores, M., H. 2015. Descripción y caracterización de cuatro clones de café robusta (*Coffea canephora*) con potencial en resistencia a nematodos en el Mpio. de Tlacotepec de Mejía, Ver. Tesis profesional en ingeniería en agronomía. Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Veracruz. 45 p.
- Furuta, T. 1978. Environmental plant producción and marketing Cox Publishing Company, Arcadia, CA. 232 p.
- Gaitán, A., C. Villegas, C. Rivillas, E. Hincapié y J. Arcila. 2011. Almacigos de café: calidad fitosanitaria, manejo y siembra en el campo. *Cenicafé. Avance Técnico* 404, 1-7.
- Ganelevin, R. 2008. World-wide commercial applications of colored shade nets technology (Chromatinet®). *Acta Horticulturae* 770: 199-203.
- Gardner F., Brent P., Mitchell R. L. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University. 327 p.

- Gardner F., P.; Brent P., R.; Mitchell R., L. 1990. Physiology of crop plants. Second Edition. Iowa state University. AMES. USA. 208 p
- Gardner, R.L., Lyon, M.F., Evans, E.P., Burtenshaw, M.D. 1985. Clonal analysis of Xchromosome inactivation and the origin of the germ line in the mouse embryo. J. Embryol. Exp. Morph. 88:349-363.
- Giungato P., E. Nardone and L. Notarnicola. 2008. Environmental and socio-economic effects of intensive agriculture: the Vietnam case. Journal of Commodity Science, Technology and Quality 47 (I-IV): 135-151.
- Gliessman, S.R. 1998. Agroecology: ecological process in sustainable agriculture. Ann Arbor Press, Michigan. 357 p.
- Gómez, C., C. Buitrago, M. Cante y B. Huertas. 1999. Ecofisiología de papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para cultivo fresco y para la industria. Revista Comalfi 26(1-3): 42-55.
- Gómez, E., O. D. 2004. Manual agropecuario, tecnologías orgánicas de la granja autosuficiente. Primera edición. Bogotá: Fundación hogares campesinos. 1093 p.
- Gómez, G.L., R.A. Caballero y R. Baldión. 1991. Ecotopos cafeteros de Colombia. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Bogotá. 138 p.
- Goudriaan, J. y Van Laar, H. H. 1995. Current sigues in production ecology. Modelling potential growth processes. Text book with exercises. Kluwer Academic Publishers, Londres. 238 p.
- Guhl A. 2009. Café, bosques y certificación agrícola en Aratoca, Santander. Revista de Estudios Sociales. (32):114-125
- Guilcapi, E. 2009. Efecto de trichoderma harzianum y trichoderma viride, en la produccion de ´plantas de café (*Coffea arabica*) variedad a nivel de vivero. Escuela superior de Chimborazo. Facultad de recursos naturales. Riobamba Ecuador. P. 6.
- Gutiérrez, M., R. Gómez y N. Rodríguez N. 2011. Comportamiento del crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.), en vivero, sembradas en diferentes volúmenes de sustrato. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu. 12(1), 33-42.
- Guyot, B.; J. Girón y L. Villain. 1999. Influencia de la altitud y de la sombra sobre la calidad de los cafetos. En: Anacafé. Investigaciones y descubrimientos sobre el cultivo del café. Asociación Nacional del Café. Guatemala. pp: 233-241.
- Haarer A., E. 1964. Producción moderna de café. Ed. CECSA de C. V., México. 652 p.

- Hanan, J. J. 1998. Greenhouses. Advanced technology for protected horticulture. CRC Press 684.
- Hartmann H. T., Kester D. E, Davies F. T. jr., Geneve, R. L. 2002. Plant propagation: Principles and practices. 7th Edition. Pearson education. New jersey, EUA. 869 p.
- Hartmann, H. T. y D. E. Kester. 1998. Propagación de plantas. Ed. CECOSA. 760 p
- Heller, H., A. Bar-Tal, S. Assouline, K. Narkis, S. Suryano, A. de la Forge, M. Barak, H. Alon, M. Bruner, S. Cohen y D. Tsohar. 2015. The effects of container geometry on water and heat regimes in soilless culture: lettuce as case study. *Irrigation Sci.* 33(1), 53-65.
- Hernández M. F., A. Licona V., E. Pérez P., V. M. Cisneros S. y S. Díaz C. 2012. Diversificación productiva café-plantas ornamentales en La Sidra, Atzacan, Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola* 48-49: 39 - 50.
- Hernández, M. G. y Córdova, S. S. 2011. México, café y productores, historia de la cultura cafetalera que transformó nuestras regiones, Centro Agroecológico del café A. C. Universidad Autónoma Chapingo, México. 19-22 p.
- Hernández-Martínez, G., 2008, “Clasificación agroecológica”, en Manson R.; V. Hernández-Ortiz; S. Gallina y K. Mehlreter (eds.), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*, in, Semarnat e Inecol. 15-34 p.
- Herrera L., F. J. 2005. Criterios de calidad. En: INCA rural, A. C. – SAGARPA. *Vamos al grano del café mexicano*. Apéndice 2. México. pp: 177-181.
- Hunt, R. 1978. *Plant Growth analysis. Studies in biology.* No. 96. Edward Arnold (Publisher). London. 67 p.
- ICO. 2016. Coffee production to remain stable despite Arabica/Robusta divergence. Consultado en: <http://www.ico.org/>
- Iglesias, N. y Muñoz, A. 2007. Comparación de la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en invernaderos del norte de la Patagonia. *Horticultura Argentina.* 26(60): 10-16.
- IICA-PROMECAFE. 1996. “NEMAYA” nueva variedad porta-injerto resistente a los principales nematodos de Centroamérica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y la Modernización de la Caficultura. Guatemala. 6 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Encuesta Nacional Agropecuaria 2014. Consultado: 19 de noviembre 2015. [http:// www.inegi.org.mx/](http://www.inegi.org.mx/).

- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2011. Paquete tecnológico café robusta (*Coffea canephora*), establecimiento y mantenimiento. México .pp: 2-3.
- INIFAP. 2005. Clones de *Coffea canephora* como patrones para injertos con tolerancia a la corchosis de la raíz del café. Folleto técnico no. 3. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado 1 April 2018. http://www.inifap.gob.mx/Documents/reportes/reporte_anual2004.pdf.
- INIFAP. 1991. Cuarta reunión anual del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias en el estado de Veracruz. México. pp: 61 -66.
- INMECAFE. 1987. Boletín técnico de café. Dirección de producción y mejoramiento del café. Número 4. Junio de 1987. Xalapa, Ver. México. s/p.
- INMECAFE. 1990. El cultivo del cafeto en México. ED. LAFUENTE S. A. Xalapa, Veracruz. 248 p.
- Irigoyen, J. N. 1997. Producción de viveros de café en "tubetes" o "conos maceteros". Boletín Técnico. PROCAFE, Nueva San Salvador, El Salvador. 8 p.
- Janissen, B. y Huynh, T. 2018. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry byproducts: A review. Resour. Conserv. Recycl. 128: 110–117.
- Jáuregui A., S. Estudios de caso de seis agroempresas familiares de café diferenciado y de especialidad de la región de las altas montañas Veracruz, México. Tesis de maestría en ciencias en agroecosistemas tropicales. Colegio de Posgraduados. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. 25 p.
- Jones, J. W.; Tsuji, G. Y.; Hoogenboom, G.; Hunt, L. A.; Thornton, P. K.; Wilkens, P. W.; Imamura, D. T.; Bowen, W. T. y Singh, U. 1998. Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT. Vol. 3. pp: 157-177.
- Juárez S, J. 1993. Evaluación de cuatro condiciones necesarias para la realización de injertos en café en la región de Veracruz. Tesis Profesional. U.V. Facultad de Ciencias Agrícolas. Córdoba Ver. México. 110 p.
- Juárez, L. P.; Bugarín, M. R.; Castro, B. R.; Sánchez, M. A. L.; Cruz, C. E.; Juárez, R. C. R.; Alejo, S. G.; Balois, M. R. 2011. Estructuras Utilizadas en la Agricultura Protegida. Revista Fuente. 8:21-27.

- Kinghorn, J.M. 1974. Principles and concepts in container planting. En: Tinus, R.W., W.I. Stein y W.E. Balmer (eds.). Proc. North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium. Great Plains Agricultural Council, Denver, Colorado, pp. 8-18.
- Krikorian, A.D. 1991. Medios de cultivo: generalidades, composición y preparación. Cultivo de tejidos en la agricultura. Fundamentos y aplicaciones. CIAT. Colombia. p. 65
- Kru, G.H. 1997. Environmental Influences on Development Growth and Yield. pp. 101-180. In: Wien, H.C. (ed.) The physiology of vegetable crops. CABI Publishing, London.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S.E. McDonald y J. P. Barnett. 1990. Containers and growing Media. Container Tree Nursery Manual. Vol. 2. USDA Forest Service, Washington D.C. 199 p.
- Ledent, J. F. 2002. Déficit hídrico y crecimiento de las plantas: Respuestas al déficit hídrico: Comportamiento morfofisiológico / Modelado del crecimiento de las plantas: Manual. pp. 15-20. Fundacion Proinpa; Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima.
- León, J. 1962. Especies y cultivares (variedades) de café. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- Leroy T., Ribeyre F., Bertrand B., Charmetant P., Dufour M., Montagnon Ch. Marracini P. and Pot D. 2006. Genetics of coffee quality. Braz. J. Plant Physiol. 18(1): 229-242.
- López C., J. y Anzuelo, F. 2007. Experiencias de injertación en el cultivo del café en Guatemala. PROMECAFE-IICA. Boletín No. 112. pp. 12-14.
- López D., F. 2018. Evaluación de clones élite de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) a la respuesta de infestación de nematodos. Tesis profesional, Centro Regional Universitario Oriente - Universidad Autónoma Chapingo. Huatusco de Chicuéllar, Veracruz, México. 64 p.
- López G., F. J., A. Avendaño J., E. Escamilla P. y A. Zamarripa C. 2004. Producción en variedades de café injertadas y propagadas por semilla en suelos con nematodos. In: INIFAP-CP-ITA18-ITMAR No.1-UACH-UV. Avances en la investigación Agrícola. Pecuaria, Forestal y Acuícola en el Trópico mexicano. Libro científico No.1. México. pp:211-225.
- López L. E. C., e I. Caamal C. 2009. Los costos de producción del café orgánico del estado de Chiapas y el precio justo en el mercado internacional. Revista Mexicana de Economía Agrícola y de los Recursos Naturales 2(1): 175 - 198.
- López M. R., Díaz, P. G., y A. Zamarripa C. 2013. El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción. INIFAP-SAGARPA. México. 461 p.

- López-Lima D., Sánchez-Nava P., Carrion G., Espinosa de los Monteros A., Villain L. 2015. Corky-root symptoms for coffee in central Veracruz are linked to the root-knot nematode *Meloidogyne paranaensis*, a new report for Mexico. *Europ. J. Plant Pathol.* 141: 623-629.
- Luna, T; Landis, T., D.;R. Kasten D. 2012. Contenedores: Aspectos técnicos, biológicos y económicos. In: Contardi, L.; Gonda, H., coord. Producción de plantas en viveros forestales. Buenos Aires: Consejo Federal de Inversiones; Comodoro Rivadavia: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco UNPSJB; Comodoro Rivadavia: Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, Argentina. pp: 78-85. En: http://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2012_luna_t001.pdf. Fecha de consulta el 1 de agosto de 2016.
- Malkum, R. 2015. Guía de técnicas, métodos y procedimientos de reproducción asexual o vegetativa de las plantas. Clúster de viveristas dominicano. Santo Domingo, República Dominicana.
- Manson R. y A. Contreras H. 2009. "Quantitative classification of coffee agroecosystems spanning a range of production intensities in central Veracruz, Mexico", en *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 134 (2009), pp. 89-98.
- Manson, R. H. 2008. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto Nacional de Ecología. 70 p.
- Marín, P., Valera, D., Moreno, M., Molina-Aiz, F., López, A. y Peña, A. 2014. Influencia de diferentes tipos de estructuras de invernadero, mallas anti-insectos y técnicas de control climático, sobre la fotosíntesis y la transpiración de plantas de tomate.
- Maroto, J. V. 2008. *Elementos de Horticultura General*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 481 p.
- Márquez-Quiroz, C., Robledo-Torres, V., Benavides-Mendoza, A., Vázquez-Badillo, M. E., Cruz-Lázaro, E. De la., Estrada-Botello, M. A., & López-Espinosa, S. Teresa. 2014. Uso de mallas sombra: una alternativa para la producción de tomate cherry. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(2), 175-180.
- Méndez, I. 2011. Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región Sureste de México: Trópico Húmedo. Paquete Tecnológico Café Robusta (*Coffea canephora* P.) Establecimiento y mantenimiento. 8 p.
- Mishra M. K. and A. Slater. 2012. Recent advances in the genetic transformation. *Biotechnology Research International*. pp: 1-17.

- Moguel P, Toledo V. 1996. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias*. 43: 40-51
- Mohr, L. B. 1995. Impact analysis for program evaluation. Sage. 208 p.
- Montagnini, F. 1992. Sistemas agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos. Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica. 622 p.
- Mudge, K. W. 2008. Grafting: Theory and Practice. En: Beyl y Trigiano Eds. *Plant Propag.*
- Mundarain, S.; Coa, M.; Cañizares, A. 2005. Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de aji dulce (*Capsicum frutescens* L.). *Revista UDO Agrícola* 5(1): 62-67.
- Murthy P. S. and M. Naidu M. 2012. Sustainable management of coffee industry by products and value addition-A review. *Resources, Conservation and Recycling* 66: 45-58.
- Mussatto S. I., E. M. S. Machado, S. Martins and J. A. Teixeira. 2011. Production, composition, and application of Coffee and its industrial residues. *Food Bioprocess Technology* 4: 661-672.
- NeSmith D, Duval JR. 1998. The effect of container size. *HortTechnology* 8(4):1-4.
- Nolasco M., 1985, *Café y sociedad en México*, Centro de Ecodesarrollo, México, 454 p.
- Nomura, E.S.; Lima, J.D.; Rodrigues, D.S.; Garcia, V.A.; Fuzitani, E.J.; Modenese-Gorla da Silva, S.H. 2009. Crescimento e produção de antúrio cultivado sob diferentes malhas de sombreamento. *Ciência Rural* 39(5): 1394-1400.
- OECD. 2018. The Observatory of Economic Complexity. En https://atlas.media.mit.edu/es/visualize/tree_map/hs92/export/mex/show/0901/2016/. Fecha de consulta el 10 de febrero de 2018
- Oguchi R, Hikosaka K, Hirose, T. 2003. Does the photosynthetic light-acclimation need change in leaf anatomy?. *Plant Cell Environ* 26: 505-512.
- Oren-Shamir, M.; Gussakovsky, E.E.; Shpiegel, E.; Nissim-Levi, A.; Ratner, K.; Ovadia, R.; Giller, Y.E.; Shahak, Y. 2001. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76(3): 353-361.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Secretaria de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (FAO - SAGARPA). 2007. Producción de hortalizas a cielo abierto y bajo condiciones protegidas. México. 33 pp. Disponible en:

- <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/AsistenciaCapacitacion/Documents/red%20del%20conocimiento/manuales%20pesa/invernaderos.pdf>. Consultado: 18 de septiembre de 2017.
- Ouma, G. 2006. Growth responses of rough lemon (*Citrus limon* L.) rootstock seedlings to different container sizes and nitrogen levels. *Agricultural Tropica et Subtropica* 39(3), 182-188.
- Paoletti G.; D. Pimentel; B. Stinner y D. Stinner, 1992, "Agroecosystem biodiversity: matching production and conservation biology. Agriculture", en *Ecosystems and Environment*, 40:3-23 pp.
- Paz G., A. y Escamilla P. 2016. Manual de propagación de cafetos injertados. SAGARPA. CENACAFE Universidad Autónoma Chapingo. 31 p.
- Peña R., J. A. 2018. Caracterización de cuatro clones de café robusta (*Coffea canephora* pierre ex froehner) resistentes a nematodos, de alta productividad y calidad, en Tlacotepec de Mejía Veracruz. Tesis profesional de licenciado en redes agroalimentarias. Centro Regional Universitario Oriente - Universidad Autónoma Chapingo. Huatusco de Chicuéllar, Veracruz, México. 76 p.
- Peñuelas, J., y Ocaña, I. 1996. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ed. Mundi-prensa. Madrid. 190 pp.
- Peterson, T.A, M.D. Reinsel y D.T. Krizek. 1991. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill cv. 1Better Bush') plant response to root restriction. *J. Exp. Bot.* 42, 1233-1240.
- Pierozzi N. I., T. C. Borghi, M. B. Silvarolla. 2012. A karyological study in some species of *Coffea* L. and in the closest relative *Psilanthus travancorensis* (Wight & Arn.) J. -F. Leroy. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 40 (2): 39 - 45.
- Plan de Innovación en la Cafecultura de México. 2011. Consultado en: <http://docplayer.es/12578740-Plan-de-innovacion-en-la-cafecultura-de-mexico.html>
- 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.
- Queiroz, J. y N. Melém Júnior. 2001. Efeito do tamanho do recipiente sobre o desenvolvimento de mudas de acai (*Euterpe olaracea* Mart.). *Rev. Bras. Frutic. (Jaboticabal)* 21 (1): 460-462.

- Radosevich, S.R., Holt, J.S. 1984. Weed ecology. Implications for vegetation management. Wiley, New York, 265 p.
- Raffo, M. y D. Iglesias. 2004. Efecto de la intercepción y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en manzanos cv. 'Fuji', bajo cuatro sistemas de conducción en alta densidad. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)* 33(2), 29-42.
- Rajapakse NC, Shahak Y. 2008. Light-quality manipulation by horticulture industry. In: *Annual Plant Reviews, Light and plant development*. Whitelam GC, Halliday KJ (Eds.). Blackwell Publishing. USA. pp: 308-311.
- Ramírez, F. D., 2009. Cultivo del café. Bogotá: Grupo Latino Editores S. A. 508 p.
- Raviv, M., J.H. Lieth, A. Bar-Tal y A. Silber. 2008. Growing plants in soilless culture: operational conclusions. pp. 545-572. En: Raviv, M. y J.H. Lieth (eds.). *Soilless culture: Theory and practice*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Regalado O., A. 2006. ¿Qué es la calidad del café? Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 309 p.
- Restrepo Y. C., Osorno L.F., Patiño-Hoyos D., Castañeda Sánchez A. 2008. Efecto de los nematodos en la cantidad y calidad de raíces y métodos de evaluación. *Politécnica* 7: 47-57.
- Reyes L., D. 2017. Comparación del crecimiento de cafeto en vivero bajo diferentes condiciones de sombra, sustrato y contenedores. Tesis de ingeniería agrícola. Universidad Nacional Autónoma de México. Estados de México. 84 p.
- Rodríguez B., Mario M., & Morales U. D. M.. 2015. Efecto de mallas sombreadoras sobre la producción y calidad de frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. *Scientia Agropecuaria*, 6(1), 41-50.
- Romero, G. 2012. Participación en el proceso de injertos tipo hypocotiledonar en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en el centro experimental las flores, Barberena, Santa Rosa. Previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo con énfasis en Gerencia agrícola de la Universidad Rafael Landívar, Guatemala. 61 p.
- Ruiz R., O. 2006. Agroecología: Una disciplina que tiende a la transdisciplina. En. *Interciencia*. Febrero 2006. Vol.31. No.2. pp:140-145.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. *Planeación agrícola nacional 2017-2030: Café mexicano*. México. 20 p.

- SAGARPA. 2005. Plan rector del sistema producto café en México. SAGARPA. Universidad Autónoma Chapingo. Consejo Poblano del Café. REMEXCAFE S. C. INCA RURAL A. C. México. 92 p.
- SAGARPA. 2011. Plan de innovación en cafecultura en México. En <http://amecafe.org.mx/downloads/PLAN%20DE%20INNOVACION%20NACIONAL.pdf>. Fecha de consulta el 30 de marzo de 2016.
- SAGARPA. 2015. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://www.gob.mx/sagarpa>.
- SAGARPA. 2017. Plan integral de atención al café: Guía para la producción de plantas de café de alta calidad genética, fisiológica y fitosanitaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 19 p.
- Santoyo C., V. H., S. Díaz C., E. Escamilla P., y J. D. Robledo M. 1996. Factores agronómicos y calidad del café. Universidad Autónoma Chapingo. Confederaciones de productores de café. Chapingo, México. 21 p.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1993. Enfermedades del cafeto y su control en México. Folleto Técnico No. 4. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Centro de Investigación Regional del Golfo Centro. Veracruz. México. 33 p.
- SENASICA. 2013. Manual operativo de la campaña preventiva contra la roya del cafeto. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Mexico. 27 p
- Serrano, C. R. G., 2013. Enciclopedia práctica de la agricultura y la ganadería. Tercera edición. Barcelona: Grupo Océano. 595 p.
- Shahak Y, Gal E, O-r Y, Ben-Yakir D (2008) Photosensitive Shade Netting Integrated with Greenhouse Technologies for Improved Performance of Vegetable and Ornamental Crops. *Acta Horticulturae* 797: 75-80
- Shahak Y, Gussakovsky E. E, Cohen Y, Lurie S, Stern R. S, Kr S, Naor A, Atzmon I, Doron I, Greenblat-Avron Y. 2004. ColorNets: A New Approach for Light Manipulation in Fruit Trees. *Acta Horticulturae* 636: 609-616.
- Shahak, Y., E. E. Gussakovsky, E. Gal, and R. Ganelevin. 2004. Colornets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Hort.* 659:143-151.

- SIAP (Servicios de Información Agroalimentaria y Pesca). 2015. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jsp
- SIAP. 2013. Servicio de Información y Estadística agroalimentaria y pesquera. Cierre de Producción de Cultivos Ciclicos y Perennes 2011. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- Sierra, G. B. 2005. Factores que limitan la certificación del café orgánico en el esquema de comercio justo en cinco organizaciones de México. En G. B. Sierra, Factores que limitan la certificación del café orgánico en el esquema de comercio justo en cinco organizaciones de México. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México: COLPOS- Campus Veracruz. p. 23.
- Slatyer, R. O . 1967. Plant-water relationships. Academic Press, London. 378 p.
- Soto-Ortiz, R.; Silvertooth, J. C. 2008. A Crop Phenology Model for Irrigated New Mexico Chile (*Capsicum annuum* L.) Type Varieties. College of Agriculture and Life Sciences. The University of Arizona. The 2007 Vegetable Report. pp. 104-112. Página electrónica: <http://www.azrangelands.org/pubs/crops/az1438/>
- Soto-Ortiz, R.; Silvertooth, J. C.; Galadima, A. 2006. Crop Phenology for Irrigated Chiles (*Capsicum annuum* L.) in Arizona and New Mexico. College of Agriculture and Life Sciences. The University of Arizona. 2006 Vegetable Report. Página electrónica: <http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1419/contents.html>
- South, D. B., S. W. Harris, J. P. Barnett, M. J. Hains y D. H. Gjerstad. 2005. Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, USA. *Forest Ecol. Manage.* 204(2-3), 385-398.
- Stamps, R. H. 2009. Use of Colored Shade Netting in Horticulture. *Revista HortScience*. Vol. 44 (2). 239-241 p.
- SWECA. 2018. Bandejas plasticas (rigidas). Tecnología forestal SWE-CA A.C. Consultado en: <http://www.sweca.com/bandejas.php> (10/06/2018).
- Taiz, L., y Zeiger, E. 2006. Fisiología vegetal. Vol. 10. Universitat Jaume I. 580 p.
- Taylor, A. L. 1968. Introducción a la nematología vegetal aplicada Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma. p. 131.

- Temis-Pérez A. L., A. López-Malo, M. E. Sosa-Morales. 2011. Producción de café (*Coffea arabica* L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. Temas selectos de Ingeniería de alimentos 5-2: 54-74.
- Tinyane P. P, Sivakumar D, Soundy P. 2013. Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *Scientia Horticulturae* 161: 340-349.
- Tofalo R., Renda G., De Caterina R., Suzzi G. 2016. Coffee: Health Effects. In: Caballero B., Finglas P., Toldra F. (eds.). *Encyclopedia of Food and Health*. Oxford, UK. pp. 237-243.
- USDA. 2017. USDA Foreign Agriculture Service. Global Agricultural Information Network. GAIN Report Number: MX7021. Mexico. Coffee Annual. Coffee Production Increase. https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Coffee%20Annual_Mexico%20City_Mexico_5-25-2017.pdf
- Vaast P., Caswell-Chen, E.P., Zasoski, R.J. 1997. Effects of two endoparasitic nematodes (*Pratylenchus coffeae* and *Meloidogyne konaensis*) on ammonium and nitrate uptake by Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Appl. Soil Ecol.* 10: 171-178.
- Vaast P.; Van Kanten R.; Siles P.; Dzib B.; Framck N.; Harmand J. M., Génard M. 2004. Shade: a key factor for coffee sustainability and quality. In: 20th International Conference on coffee science (ASIC'2004), Bangalore, India. pp:187-202.
- Valera, D., F. Molina y J. Gil. 2001. Las mallas como técnica de control climático en invernaderos. *Vida Rural* 8: 50-52.
- Villain, L.; Anzueto, F., Hernández, A. y J. L. Sarah, 1999. Los nematodos parásitos del café. En: Bertrand, B. y B. Rapidel (eds.). *De sa fíos de la cafecultura en Centroamérica*. CIRAD. IRD. IICA-PROMECAFE. Costa Rica pp: 327-367.
- Villalobos, R., E. 2006. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Vol. 7. Universidad de Costa Rica. San José, C. R. 37 p.
- Villani, C., E. 2017. Evaluación de mejoradores edáficos en cultivo de café Var. Garnica en Ixhuatlan del Café, Veracruz. Tesis profesional de ingeniero agrónomo especialista en fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.

- Wightman, K. E. 2000. Prácticas adecuadas para los viveros forestales. Guía Práctica para los viveros comunitarios. Centro Internacional para Investigación en Agroforestería (ICR AF), Nairobi, Kenia. 100 p.
- Wintgens, J. N. 2004. Factor influencing the quality of green coffee. In: Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. Wintgens, J. N. (ed). Wiley-VCH. Weinheim, Germany. pp:789-809.
- Wormer, T.M.; Gituanja, J. 1970. Floral initiation and flowering in *Coffea arabica* L. in Kenya. Experimental Agriculture 6: 157-170.
- Wurr, D. C. E.; Fellows, J. R.; Phelps, K. 2002. Crop Scheduling and Prediction - Principles and Opportunities with Field Vegetables. Advances in Agronomy 76: 201-234.
- Yzarra T. W. J. y López R. F. M. 2012. Manual de observaciones fenológicas. Ministerio de agricultura. Perú. 97 p.
- Zacarias, V. A. O. 2001. Evaluación de la compatibilidad de injertación entre *Coffea canephora* P. y *Coffea arabica* L. y su crecimiento con uno y dos plantas por bolsa en vivero. Tesis en ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú. 76 p.
- Zaharah, S. e I. Razi, 2009. Growth, stomata aperture, biochemical changes and branch anatomy in mango (*Mangifera indica*) cv. Chokanan in response to root restriction and water stress. Sci. Hortic. 123(1), 58-67.
- Zamarripa C. A., y Escamilla P. E. 2002. Variedades de café en México: Origen, Características y Perspectivas. UACH y Fundación Produce de Veracruz A. C. Huatusco, Ver. México. 39 p.
- Zamarripa C., A; Méndez L., M. Vázquez M., A. Contreras J., A. Fernández R. 1995. Oro Azteca: una nueva variedad de café con resistencia a la roya anaranjada *Hemileia vastatrix* Berk. In: Tercer Simposio Internacional de Café. Xicotepec de Juárez, Puebla, México. s/p.

**CAPÍTULO I. CAFÉ VARIEDAD ORO AZTECA INJERTADO EN *Coffea canephora* P.,
BAJO DIFERENTES MALLAS SOMBRA Y CONTENEDORES**

**COFFEE VARIETY ORO AZTECA GRAFTED IN *Coffea canephora* P., UNDER
DIFFERENT SHADOW MESH AND CONTAINERS**

**Braulio Coutiño-Mendoza¹, Eliseo García-Perez^{1*}, Esteban Escamilla-Prado², Josafhat
Salinas-Ruiz³, Octavio Ruiz-Rosado¹**

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Km 88.5 carretera Federal Xalapa-Veracruz, km., Predio Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz. C.P. 91690. ²Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Oriente, Carretera Huatusco-Xalapa, km 6, Huatusco, Ver. México. C.P. 94100. ³Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Km.348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz, Municipio de Amatlán de los Reyes, Ver. C.P.94946.

*Autor de correspondencia: (geliseo@colpos.mx)

Artículo enviado a la Revista Fitotecnia Mexicana en revisión.

RESUMEN

Veracruz, México cuenta con una superficie de 140 000 ha dedicadas al cultivo del café. De este total, 50 000 ha están infectadas con nematodos, lo que implica reducciones del 35 % del potencial productivo de los cafetos, aunado al problema de la roya. La práctica agronómica de injertar variedades comerciales de *Coffea arabica* L. sobre un patrón de *Coffea canephora* P., es una buena medida para aquellas áreas donde hay incidencia de nematodos. El objetivo fue evaluar el crecimiento de plantas de café, *C. arabica* L. var. Oro Azteca, injertadas sobre clones de *C. canephora* P., bajo diferentes condiciones de mallas sombra y contenedores, en un vivero tecnificado en Huatusco, Veracruz. El estudio se realizó de junio 2017 a abril 2018. Los factores y niveles estudiados fueron: Malla sombra color negro con 50% de sombra y color perla y rojo con 35% de sombra; contenedores con capacidad de 400, 420 y 800 ml; portainjertos de café robusta clones 95-02 (C1); 97-10 (C2); 97-17 (C3); 97-20 (C4) y variedad Nemaya (C5). Se utilizó el injerto hipocotiledonar con el método inglés simple. El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas para las variables de crecimiento, en los factores e interacciones. Los clones C2-C5 presentaron prendimiento de injerto superior al 95 %. La interacción de los factores malla sombra roja, contenedor de 420 ml y el clon C5 presentaron los valores más altos para las variables altura de la planta ($10.85 \text{ cm} \pm 0.25$), diámetro del tallo ($2.66 \text{ mm} \pm 0.20$), número de pares de hojas (5.06 ± 0.15) y área foliar ($23.02 \text{ cm}^2 \pm 2.05$). Se concluye que con la malla sombra roja, el contenedor de 420 ml, los clones C5 (var. Nemaya) y C4 (97-20), se pueden obtener plantas injertadas de café de calidad a los 10 meses.

Palabras clave: *Coffea arabica* L., *Coffea canephora* P., crecimiento, injerto hipocotiledonar, malla sombra, contenedores.

SUMMARY

Veracruz, México has an area of 140,000 ha dedicated to the coffee plantations. Of this total, 50 000 ha are infected with nematodes, which implies reductions of 35% of the productive potential of coffee trees, besides with the problem of rust. The agronomic practice of grafting commercial varieties of *Coffea arabica* L. on a pattern of *Coffea canephora* P., is a good measure for those areas where the nematodes incidence is high. The objective was to evaluate the growth of coffee seedling plants, *C. arabica* L. var. Oro Azteca, grafted on clones of *C. canephora* P., under different conditions of shade meshes and containers, in a technified nursery in Huatusco, Veracruz. The study was carried out from June 2017 to April 2018. The factors and levels studied were: Black shade mesh with 50% shadow, pearl and red color with 35% shade; containers with a capacity of 400, 420 and 800 ml; robusta coffee rootstock clones 95-02 (C1); 97-10 (C2); 97-17 (C3); 97-20 (C4) and variety Nemaya (C5). The hypocotyledonar graft was used with the simple English method. The analysis of variance showed significant statistical differences for the growth variables, in the factors and as well interactions. Clones C2-C5 presented graft engraftment greater than 95%. The interaction of the factors red shadow mesh, with 420 ml containers and clone C5 presented the highest values for the variables height of the plant ($10.85 \text{ cm} \pm 0.25$), diameter of the stem ($2.66 \text{ mm} \pm 0.20$), number of leaf pairs (5.06 ± 0.15) and foliar area ($23.02 \text{ cm}^2 \pm 2.05$). It is concluded that with the red shadow mesh, the 420 ml container, the clones C5 (var. Nemaya) and C4 (97-20), grafted plants of quality coffee can be obtained after 10 months.

Key words: *Coffea arabica* L., *Coffea canephora* P., growth, hypocotyledonar graft, shadow mesh, containers.

1.1. Introducción

Veracruz es el segundo estado productor de café en México, con una superficie de 140 000 ha dedicadas a este cultivo (SE, 2017). La presencia de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) ha ocasionado severos daños, afectando significativamente los niveles de producción en México (Renard y Larroa, 2017). Se estima que en América Latina el hongo de la roya del café, puede disminuir en un 30% la producción del aromático (Bonilla, 2018). Además, 50,000 ha de café en el estado de Veracruz, están infectadas con nematodos, lo que implica reducciones en el potencial productivo del cultivo del orden del 35% (INIFAP, 2005; AMECAFE, 2012).

Vaast *et al.* (1997) señalan que la infección por el nematodo endoparásito en café, disminuye a la mitad la proporción de raíces absorbentes y reduce las tasas de absorción de nitrato y amonio en 63% y 54% respectivamente, afectando negativamente la producción de café. Los daños provocados por este nematodo impactan seriamente los estados tempranos de desarrollo y transplante de las plantas de café a campo, ocasionando menor producción, frutos pequeños, deficiencias nutricionales, acortamiento de la vida productiva de las plantas y disminución de la calidad (Restrepo *et al.*, 2008).

La práctica agronómica de injertar café (*C. arabica*) sobre un patrón tipo robusta (*C. canephora* P.) es una buena práctica adecuada para aquellas áreas donde el problema de infección por nematodos ya es una limitante para el cultivo. El portainjerto o patrón de café robusta ofrece un sistema radical abundante y tolerante a los nematodos, lo que le permite a la variedad injertada de *C. arabica* L. ser altamente productora, mayor tolerancia a los problemas fitosanitarios y sostener la vida productiva por lo menos durante 10 años. La injertación ofrece además otras ventajas al cafeto como tolerancia a sequía, mayor adaptabilidad a suelos delgados y vigor a las plantas (Bulder *et al.*, 1991; Oda, 1995). Al existir una buena compatibilidad entre el patrón y el injerto,

el cafeto se desarrolla saludablemente llegando a producir buenas cosechas como lo haría si tuviera sus propias raíces o inclusive incrementa la capacidad productiva (Duicela, 2003).

La injertación es una práctica económica y eficiente; pero, se requiere utilizar un patrón de café tipo robusta que esté plenamente identificado por su alta tolerancia a nematodos sobre todo del género *Meloidogyne* spp. (Flores, 2015). Aunado a esto, los productores enfrentan otros problemas, entre los que destaca la existencia del 14 % de cafetales improductivos debido a la edad avanzada de las plantas, variedades tradicionales de baja producción y baja resistencia al ataque de roya (Plan de Innovación en la Cafeticultura de México, 2011). El desarrollo de tecnología es necesario en la producción de cafetos injertados en viveros certificados, con clones seleccionados de *C. canephora* P. como portainjertos y materiales que permitan la obtención de plantas homogéneas con calidad fitosanitaria, y mayor biomasa aérea y radical. Para mejorar los rendimientos en campo y la calidad en taza.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento de plantas de café, (*C. arabica* L.) var. Oro Azteca, injertadas sobre cinco clones de *Coffea canephora* P., bajo diferentes mallas sombra y contenedores, en un vivero tecnificado.

1.2. Materiales y métodos

El estudio se realizó durante el periodo de junio 2017 – abril 2018, en condiciones de un vivero tecnificado en el Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), en Huatusco, Veracruz. Ubicado a los 19° 08' 48" latitud norte y 96° 57' 00" longitud oeste, a 1344 msnm. El clima es C(m) w"b(i)'g templado húmedo, con lluvias abundantes en verano, con una temperatura media anual de 16.59 °C, el mes más cálido (Junio) con 19.60 °C y el más frío (enero) con 12.08 °C, con presencia esporádica de heladas (García, 1988). La

precipitación pluvial total anual es de 1889 mm. El mes más seco (diciembre) con 11.8 mm, el mes más lluvioso (septiembre) con 452.7 mm (Estación meteorológica UACH – CRUO 2018).

Material vegetal

Portainjertos usados: *Coffea canephora* P. Clones 95-02 (C1); 97-10 (C2); 97-17 (C3); 97-20 (C4). Materiales colectados en una plantación madre de clones de café tipo robusta en el municipio de Tlacotepec de Mejía, Veracruz, presentan óptimas características morfológicas y agronómicas, alta tolerancia a nematodos y con buen desarrollo en suelos pobres en nutrientes (Castillo, 2000). El quinto portainjerto fue *C. canephora* P., variedad Nemaya (C5). Material obtenido del banco de germoplasma ubicado en el campo experimental del CRUO de la UACH, esta variedad fue obtenida en 1995 por la Asociación Nacional del Café (ANACAFE) en Guatemala, resultado de la cruce de dos plantas de café robusta (T5361 y T3751) obtenidas de la colección del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, Costa Rica (Anzueto *et al.*, 1995). La descendencia híbrida de esta cruce ha resultado altamente resistente a los nematodos *Meloidogyne arenaria* en El Salvador, *Meloidogyne* sp. en Guatemala, *Meloidogyne exigua* y *Meloidogyne arabicida* en Costa Rica y *Meloidogyne incognita* en Nicaragua (Anzueto *et al.*, 1991; Bertrand *et al.*, 2000).

Injerto: Se utilizó *C. arabica* L. variedad Oro Azteca. Material colectado en el campo experimental del CRUO de la UACH, desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en 1996 como respuesta a las afectaciones de la roya del cafeto. Esta variedad fue obtenida de la cruce de la variedad Caturra Rojo, que le confiere características de porte bajo y rendimiento, con el híbrido de Timor, que le otorga la resistencia al hongo *Hemileia vastatrix*. Tiene una adaptabilidad a alturas desde los 600 hasta los 1200 msnm, con una producción aproximada de 9 – 11 t ha⁻¹ de café cereza y buena calidad en taza (Zamarripa *et al.*, 1995; Escamilla y Zamarripa, 2016).

Factores y niveles estudiados

- 1) Color de malla sombra fotoselectiva. Tres módulos con malla sombra de polietileno tipo rashel, color negro con 50% de sombra y color perla y rojo con 35% de sombra.
- 2) Tamaño de contenedor con capacidad de 400, 420 y 800 ml (Cuadro 1).
- 3) Porta injertos de *C. canephora* P. Clones: 95-02 (C1), 97-10 (C2), 97-17 (C3), 97-20 (C4), y variedad Nemaya (C5). Además, un testigo sin injertar, pie franco (pf), *C. arabica* L. variedad Oro Azteca.

Cuadro 1. Descripción de los contenedores usados.

Capacidad	Diámetro superior (cm)	Diámetro inferior (cm)	Altura (cm)	Características
Contenedor (cavidad) de 400 ml	5.8	2.5	20	Bandeja de polietileno de alta densidad con 40 cavidades
Contenedor de 420 ml	9	5.5	14	Contenedor individual de polietileno, tipo cono
Contenedor de 800 ml	9	9	18.5	Contenedor individual de polietileno, tipo tubete

Diseño experimental

Por la naturaleza de la investigación se utilizó un diseño completamente al azar, con una estructura de tratamientos en parcelas subdivididas en el tiempo (3x3x5), con cuatro repeticiones y una planta como unidad experimental.

Modelo estadístico

El modelo empleado, considera el efecto de cada variable analizada en campo, bajo el siguiente modelo:

$$y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + rep(\alpha)_{i(m)} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \tau_l + (\alpha\tau)_{il} + (\beta\tau)_{jl} + (\alpha\beta\tau)_{ij} + (\gamma\tau)_{kl} + (\alpha\gamma\tau)_{ikl} + (\beta\gamma\tau)_{jkl} + (\alpha\beta\gamma\tau)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm}$$

$i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, 4, 5; k = 1, 2, 3; l = 1, \dots, 11; m = 1, 2, 3, 4$

Donde: y_{ijklm} es la respuesta observada en la repetición m (planta), (malla) i , (clon) j , (charola) k , en el tiempo l ; μ es la media general; α_i es el efecto fijo debido al tipo de malla; $rep(\alpha)_{i(m)}$ es el efecto aleatorio debido a repetición dentro de malla asumiendo $rep(\alpha)_{i(m)} \sim N(0, \sigma_{rep(\alpha)}^2)$, β_j , γ_k, τ_l son los efectos fijos debido al tipo de clon, charola y el tiempo de muestreo; $(\alpha\beta)_{ij}, (\alpha\gamma)_{ik}, (\beta\gamma)_{jk}, (\alpha\tau)_{il}, (\beta\tau)_{jl}, (\gamma\tau)_{kl}$ son los efectos de la doble interacción de los factores malla, clon, charola y tiempo de muestreo; $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}, (\alpha\beta\tau)_{ij}, (\alpha\gamma\tau)_{ikl}, (\beta\gamma\tau)_{jkl}$, y $(\alpha\beta\gamma\tau)_{ijkl}$ son los efectos de la triple y cuarta interacción de los factores en estudio; y ε_{ijklm} es error aleatorio asumiendo $\varepsilon_{ijklm} \sim N(0, \sigma^2)$.

Variables evaluadas

Temperaturas máximas, medias y mínimas (°C) y humedad relativa (%) fueron registradas de junio 2017 a abril 2018, con un termohigrómetro digital (modelo HTC-1, Guangdong, China) colocado en cada uno de los tres módulos de malla sombra. La humedad relativa se midió a las 12:00 hr. El prendimiento del injerto hipocotiledonar (%), a los 30 días de establecidos en el enraizador con arena, se cuantificó el número de injertos con prendimiento y se expresó en porcentaje. La altura de la planta (cm), cada treinta días se tomaron doce plantas por tratamiento, con una escuadra graduada se midió de la base del tallo de la planta hasta la yema terminal. El número par de hojas verdaderas, doce plantas por tratamiento, se contabilizó el número de pares de hojas verdaderas. Finalmente el diámetro del tallo (mm): se tomaron cuatro plantas al azar por tratamiento, con un vernier electrónico (Caliper IP54, México) se cuantificó el diámetro del tallo a una altura de 4 cm, y el área foliar (cm²) fue determinada del segundo par de hojas verdaderas con el medidor digital (LI-COR 3100, Nebraska, USA).

Tipo y método de injertación

Injerto hipocotiledonar. Plantas de café en estado juvenil con 20 a 30 días de diferencia, obtenidas de semilla de café tipo Robusta (*C. canephora* P.), a fin de que coincidan las etapas fenológicas de mariposa al momento de la injertación (apertura de las primeras hojas cotiledonales) del portainjerto y el estado de soldadito (cotiledones cubiertos por el pergamino o tegumento) de la variedad a injertar. Preferentemente variedades comerciales de *C. arabica* se usan, por ser altamente productoras y con calidad en taza, sobre patrones o portainjerto de *C. canephora*. con sistema radical abundante y profundo, y tolerantes a nematodos.

Método inglés simple. Se realizaron cortes diagonales en el tallo de las plántulas de aproximadamente dos centímetros de largo, en el patrón (portainjerto) y en la vareta (injerto), ambas partes se unen para hacer coincidir los cortes y vendar inmediatamente con tira de Parafilm[®], de medio centímetro de ancho (Paz y Escamilla, 2016). Después se transplantan en un propagador con arena, donde se mantienen por 30 días, en condiciones de buena humedad y luz, y con control de enfermedades fungosas. Posterior a este periodo, se seleccionan las plántulas con óptimo prendimiento del injerto, estas se trasladaron en contenedores de diferente volumen y módulos con malla sombra de diferente color.

Manejo técnico en vivero

El sustrato, estuvo compuesto con la mezcla de 22.6 % de peat moss, 11.7 % de agrolita, 63.3 % de lombricomposta, 0.97 % de micorriza o peat coffee y 1.4 % de potenciabilizador solubilizador dihidro (PSD), mejorador de suelo orgánico. Para el control de hongos se usaron compuestos orgánicos como caldos minerales, caldos sulfocálcico, bordelés y visosa; alternando su uso cada 15 días para evitar resistencia de hongos y otros patógenos. El abonado en los cafetos se hizo aplicando 50 g de lombricomposta, y 50 g de gallinaza, por planta, a los 30 y 120 días de establecer

los injertos en los módulos de colores, para todos los tratamientos. Para el control de arvenses se programaron limpiezas manuales cada 15 días. El riego se llevó a cabo por aspersión cada tercer día, en periodos de sequía.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de las variables evaluadas en esta investigación se realizó con el programa SAS® v. 9.4 para Windows, mediante análisis de varianza bajo el diseño completamente al azar con una estructura de tratamientos en parcelas divididas, con el procedimiento PROC GLIMMIX y la prueba de medias (LSD, $\alpha = 0.05$).

1.3. Resultados y discusión

Temperatura y Humedad

Las temperaturas registradas en los módulos con malla sombra de colores se presentan en la Figura 3. Para el módulo con malla sombra negra la temperatura máxima fue de 30.4 °C, la mínima de 12.4 °C, y una media de 21.4 °C. Junio fue el mes con la temperatura más alta (36.8 °C) y diciembre la más baja (7.6 °C).

Para el módulo con malla sombra perla la temperatura máxima fue de 32.3 °C, con una media de 21.4 °C y una mínima de 13.1 °C, y junio fue el mes con la temperatura más alta (41.1 °C) y diciembre la más baja (8 °C). Para el módulo con malla sombra roja la temperatura máxima fue de 30.7 °C, la mínima de 13.4 °C, con una media de 22 °C. Octubre fue el mes con la temperatura más alta (34.2 °C) y diciembre la más baja (7.9 °C). La humedad relativa registrada a las 12:00 tuvo un comportamiento contrastante entre mallas, para la malla sombra roja varió entre 28 y 42 % en todo el ciclo, en las mallas perla y negra los valores fueron mayores con variaciones de 53 a

95 %, con ligera superioridad de la malla perla en los meses de octubre – abril (Figura 4), este factor junto con las temperaturas fueron determinantes en el crecimiento de las plantas.

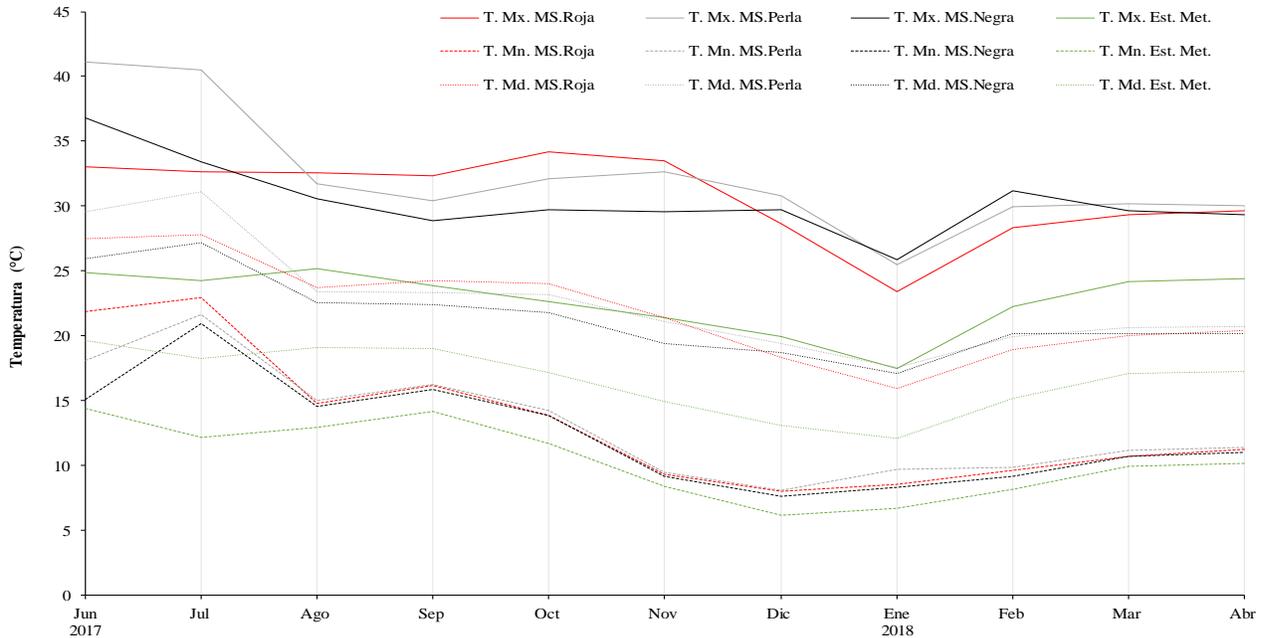


Figura 3. Temperaturas máximas, medias y mínimas registradas en los módulos con mallas sombra color roja, perla, negra, y al exterior, en el periodo junio 2017- abril 2018.

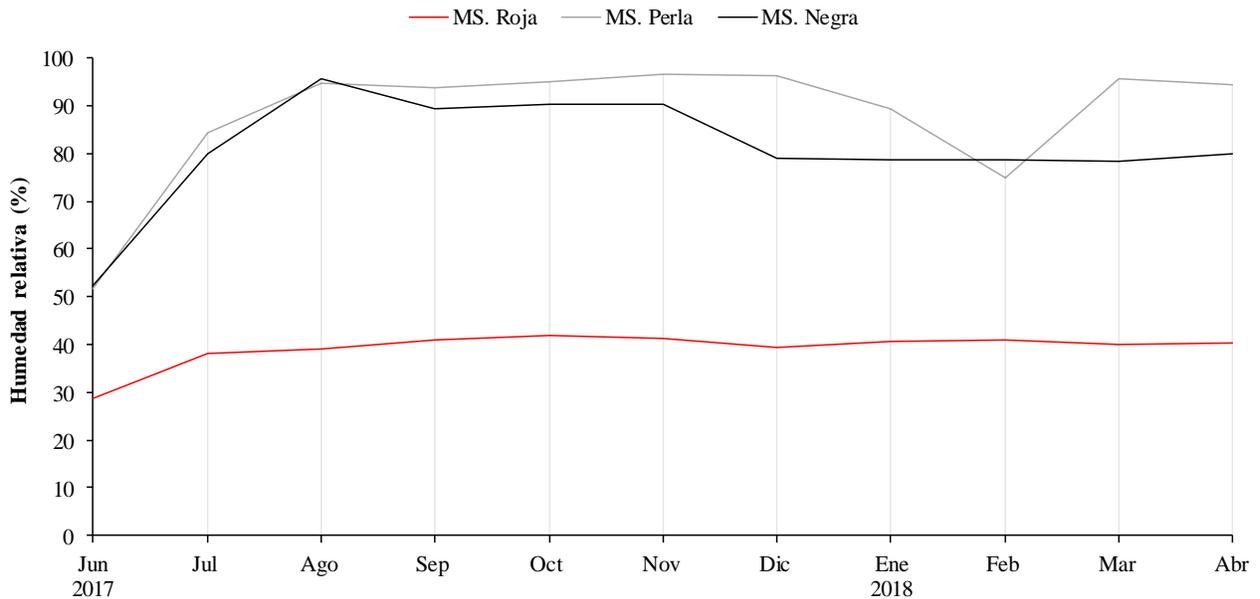


Figura 4. Humedad relativa registrada a las 12:00 hrs en los módulos con malla sombra color roja, perla y negra, en el periodo junio 2017- abril 2018.

Prendimiento del injerto hipocotiledonar

El prendimiento del injerto hipocotiledonar en los cinco porta injerto de *C. canephora*, varió del 94 al 98 % (Figura 5). Los clones C3 y C4 tuvieron un prendimiento mayor (98 %), con una diferencia de cuatro puntos porcentuales con el clon C1 (94 %). Las variaciones en prendimiento pueden deberse a las condiciones climatológicas del sitio y problemas fitosanitarios. Aunque el vigor y resistencia de la planta injertada es intermedio, entre el del patrón y la variedad, la influencia del primero es mayor (Muller y Li, 2002). Estudios de tolerancia y compatibilidad realizados por Castillo (2011) mostraron porcentajes de prendimiento del 97 % entre clones portainjerto con la variedad Oro Azteca así como también el injerto en la etapa de semillero; es decir, antes de ser trasplantados a contenedores.

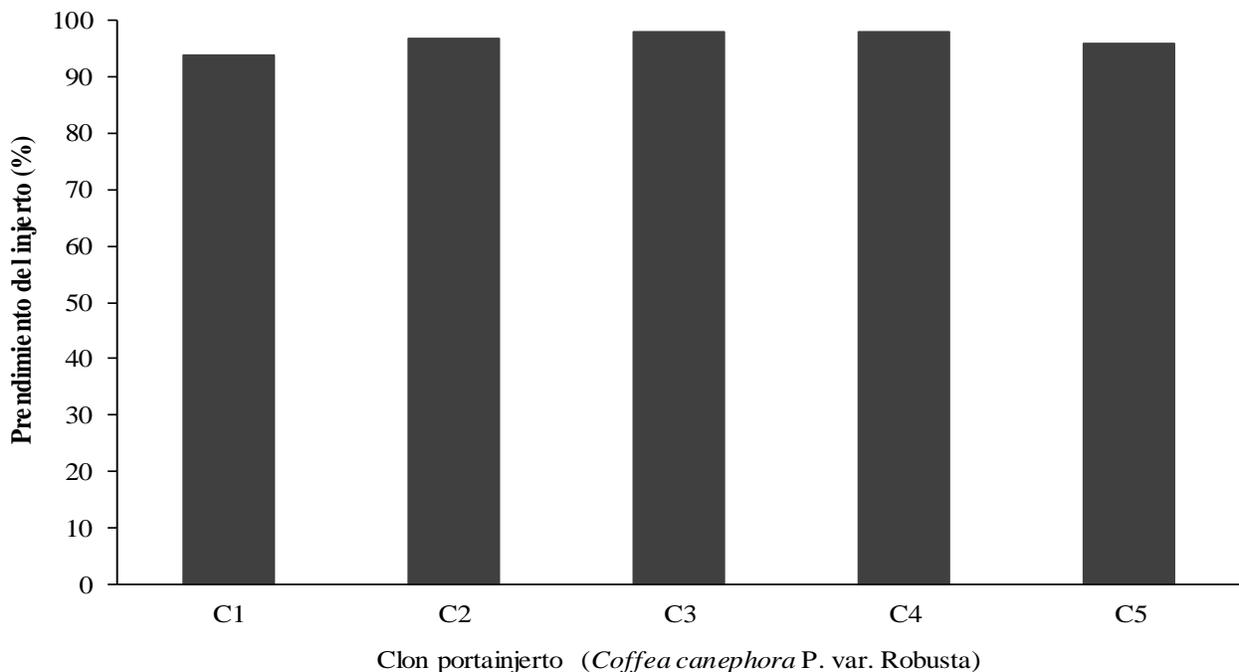


Figura 5. Porcentaje de prendimiento de injerto entre clones de *Coffea canephora* P. como portainjertos y *Coffea arabica* L. variedad Oro Azteca.

Por su parte Castro-Caicedo *et al.*, (2010) obtuvieron prendimientos del 98 % al injertar plantas en estado hipocotiledonar de la variedad Colombia (*C. arabica* L.) sobre portainjertos de *C. canephora* (BP 358) y *C. arabica* variedad Borbón en la etapa fenológica cotiledonar. Los

porcentajes de prendimiento obtenidos en el presente trabajo coinciden en general con los dos trabajos anteriores.

Altura de la planta

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas para los factores malla sombra ($P= 0.0023$), clon ($P= 0.0001$), contenedor ($P= 0.0074$), tiempo ($P= 0.0001$); y para las interacciones malla sombra x clon ($P= 0.0066$), clon x contenedor ($P= 0.0001$), malla sombra x clon x contenedor ($P= 0.0001$), malla sombra x tiempo ($P= 0.0001$), clon x tiempo ($P= 0.0001$), contenedor x tiempo ($P= 0.0001$), malla sombra x contenedor x tiempo ($P= 0.0001$), clon x contenedor x tiempo ($P= 0.0001$), malla sombra x clon x contenedor x tiempo ($P= 0.0001$). La altura promedio de las plantas fue mayor y superior en la malla sombra roja ($10.85\text{cm} \pm 0.25$), con respecto a las mallas sombra perla ($9.39\text{cm} \pm 0.25$) y negra ($9.19\text{cm} \pm 0.25$). El contenedor de 420 ml presentó una altura promedio superior ($10.54\text{cm} \pm 0.29$) en comparación con los contenedores de 800 ml ($9.93\text{cm} \pm 0.29$) y 400 ml ($8.97\text{cm} \pm 0.29$), en los tres tipos de malla sombra (Figura 6). Landis *et al.* (1990), menciona que la altura tiende a aumentar en relación directa con la densidad de plantas por metro cuadrado en bandejas, probablemente como resultado de la gran competencia por luz entre las plantas. No obstante, el diámetro del tallo, el peso de la parte aérea y el peso de la raíz, decrecen al reducir el espacio entre plantas, lo que también es reflejado por la alta relación tallo/raíz a altas densidades. El clon C5 (var. Nemaya) fue superior en altura promedio ($10.94\text{cm} \pm 0.17$), seguido del clon C4 ($9.96\text{cm} \pm 0.17$); sin embargo, los clones C1, C2 y C3 son significativamente inferiores. El pie franco (pf) de *C. arabica* Var. Oro Azteca ($9.67\text{cm} \pm 0.17$) presentó menores alturas que las plantas injertadas sobre los clones C5 y C4, en los tres tipos de contenedores (Figura 4).

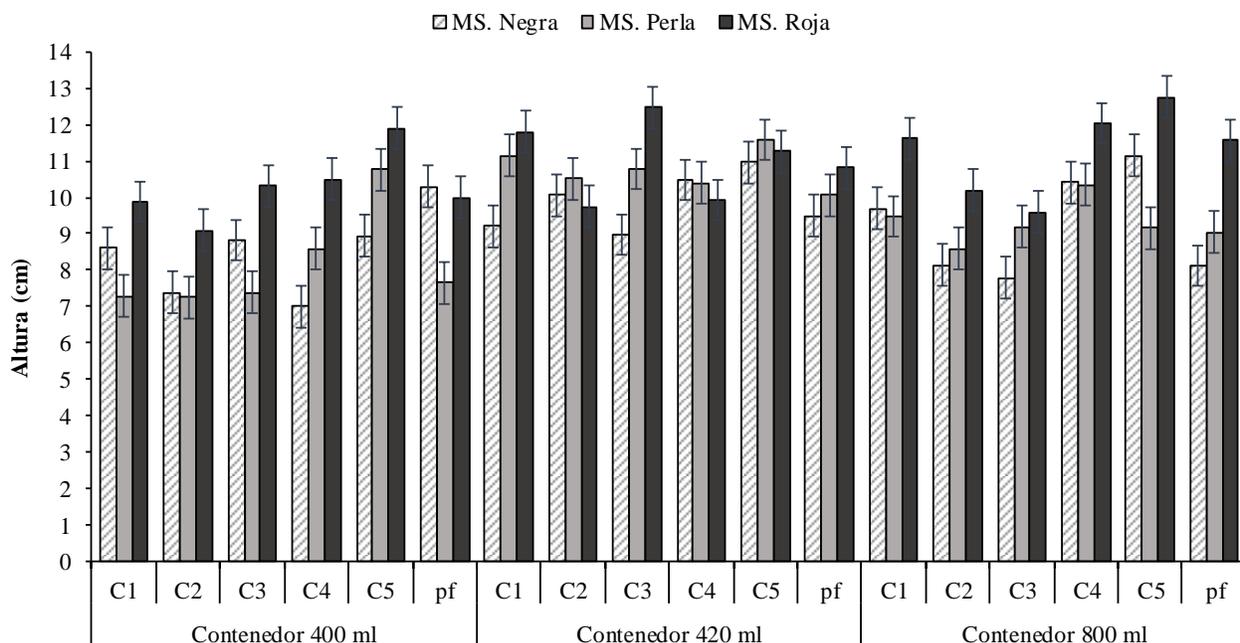


Figura 6. Altura promedio de plantas de café var. Oro Azteca injertadas en cinco clones de café robusta, bajo diferentes colores de malla sombra y tamaño de contenedores.

Diámetro del tallo

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas para los factores malla sombra ($P= 0.04$), clon ($P= 0.0001$), contenedor ($P= 0.0001$); y para las interacciones malla x contenedor ($P= 0.0002$), malla sombra x contenedor x clon ($P= 0.0004$), sobre el diámetro del tallo promedio por planta. El diámetro de tallo promedio fue mayor y superior en la malla sombra roja ($2.66 \text{ mm} \pm 0.20$) a diferencia de la malla sombra perla ($2.19 \text{ mm} \pm 0.20$) y negra ($1.77 \text{ mm} \pm 0.20$). El contenedor de 420 ml presentó el mayor diámetro promedio ($2.65 \text{ mm} \pm 0.14$) en comparación con los contenedores de 800 ml ($2.28 \text{ mm} \pm 0.14$) y de 400 ml ($1.69 \text{ mm} \pm 0.14$) en los tres tipos de malla sombra. El clon C5 (var. Nemaya) mostró el mayor diámetro promedio en tallo ($2.81 \text{ mm} \pm 0.18$), seguido del clon C1 ($2.15 \text{ mm} \pm 0.1$). Las plantas de pie franco (pf) presentan mayor diámetro de tallo ($2.82 \text{ mm} \pm 0.18$) en comparación con los clones en los tres tipos de contenedores, lo que tiene relación con la no interrupción del crecimiento (Figura 7).

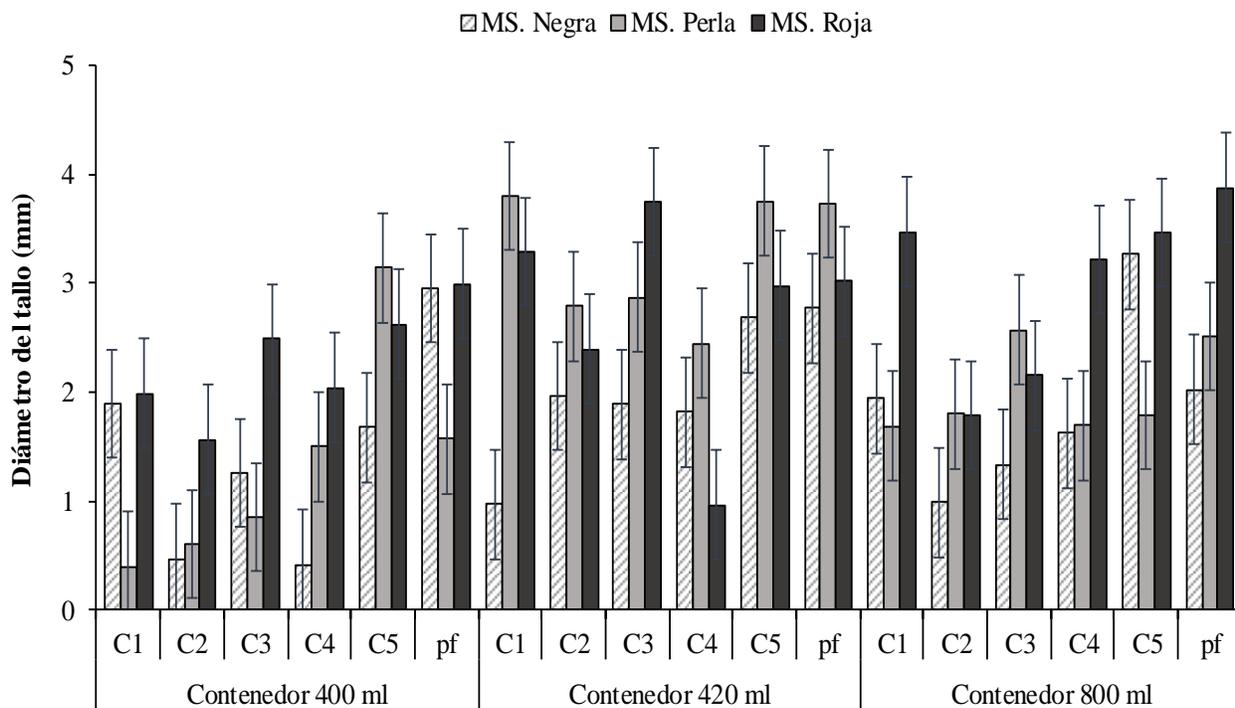


Figura 7. Diámetro promedio del tallo de plantas de café var. Oro Azteca, injertadas en cinco clones de café robusta, bajo diferentes colores de malla sombra y tamaño de contenedores.

Número de pares de hojas verdaderas

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas para los factores malla sombra ($P=0.0098$), clon ($P=0.0001$), contenedor ($P=0.0001$) y tiempo ($P=0.0001$); y para las interacciones malla x contenedor ($P=0.0001$), contenedor x clon ($P=0.0100$), malla sombra x tiempo ($P=0.0001$), clon x tiempo ($P=0.0001$), contenedor x tiempo ($P=0.0001$), malla sombra x contenedor x tiempo ($P=0.0001$), sobre el número promedio de par de hojas por planta. El número promedio de par de hojas fue mayor y superior en la malla sombra roja (5.06 ± 0.15) a diferencia de la malla negra (4.46 ± 0.13) y perla (4.22 ± 0.12). De acuerdo con Baraldi *et al.*, (1998) la malla color roja puede influir en el desarrollo y crecimiento de los cultivos, esto al reducir la radiación solar incidente por encima del intervalo de 400 nm a 600 nm. Este efecto reduce el porcentaje de radiación entre los espectros de luz azul, verde, amarillo y rojo, comparado con la radiación solar natural. Las plantas reaccionan con un aumento en el desarrollo de la superficie de la hoja, un

alargamiento de los entrenudos y una floración y maduración temprana. Los contenedores de 420 ml (5.02 ± 0.11) y 800 ml (4.77 ± 0.11) presentaron mayor número de pares de hojas promedio en comparación al contenedor de 400 ml (3.98 ± 0.09), en los tres tipos de malla sombra. Estos resultados confirman lo reportado por Kinghorn (1974), que afirma que en general, tanto más grande sea el contenedor, más grande será la planta que puede ser producida en él.

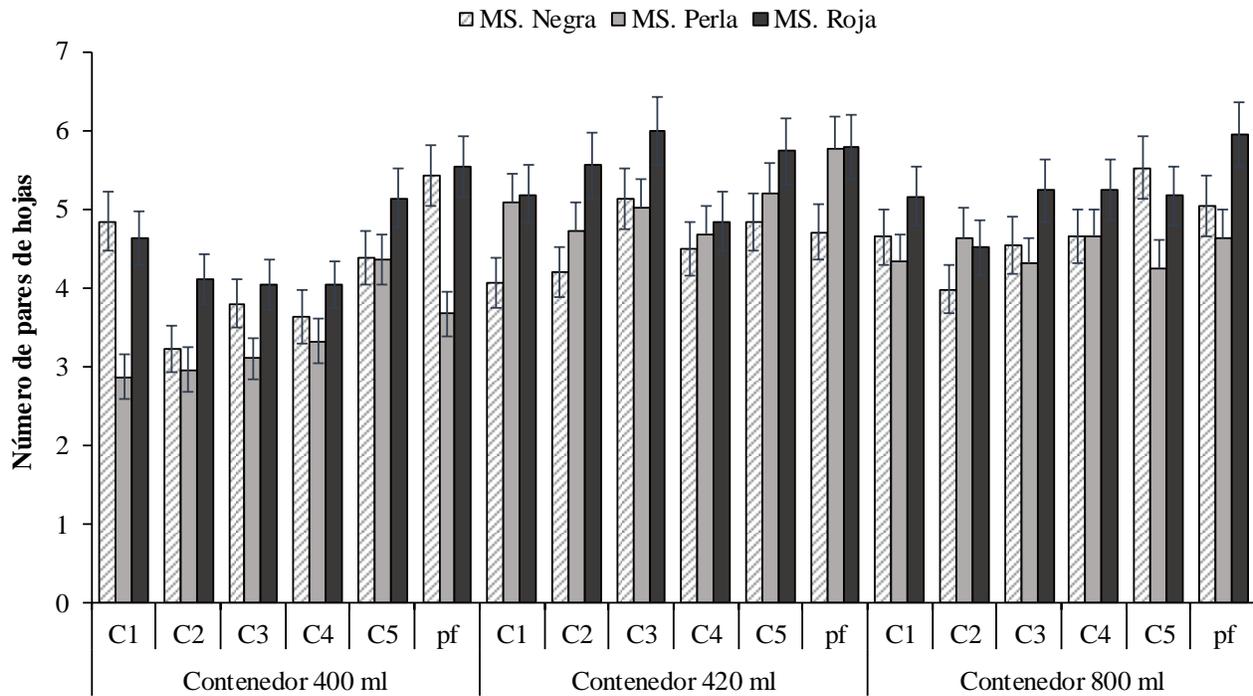


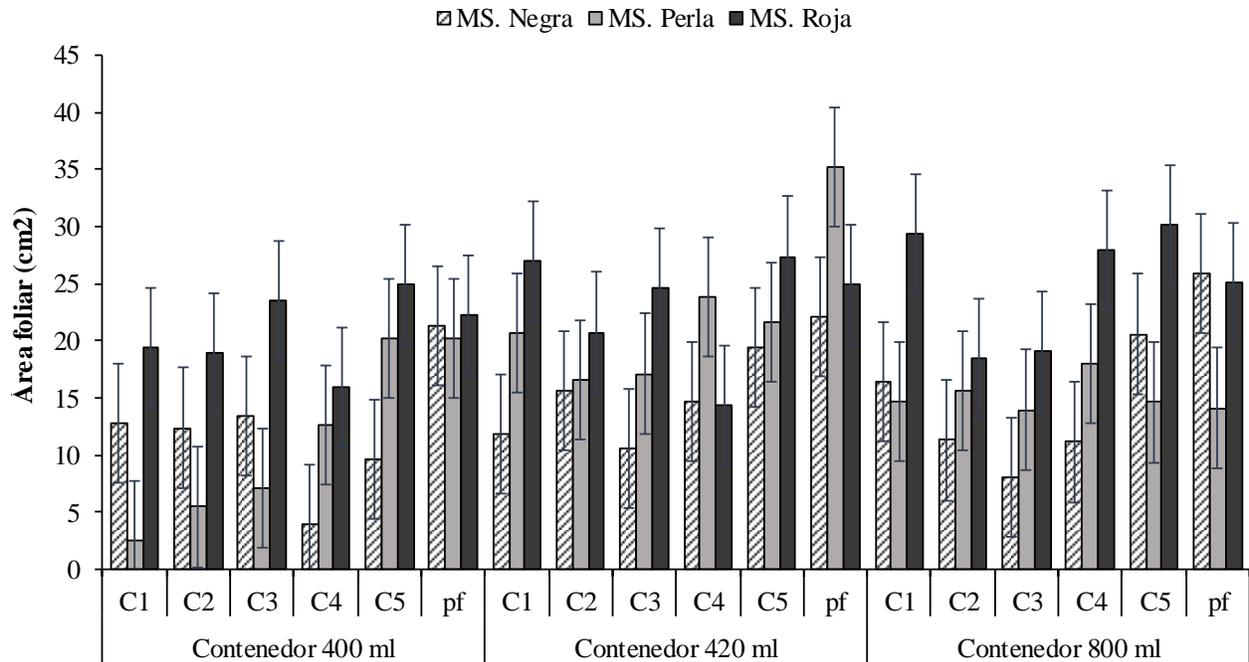
Figura 8. Número promedio de pares de hojas de plantas de café var. Oro Azteca, injertadas en cinco clones de café robusta, bajo diferentes colores de malla sombra y tamaño de contenedores.

Arizaleta y Pire (2008) señalan que para la variedad Caturra, el tratamiento con bolsas de mayor capacidad (18 x 23 cm), presentaron más biomasa aérea y radical; asociado a la reserva de nutrimentos y de humedad, factores que benefician el desarrollo y crecimiento de las plantas. Los clones C5 (var. Nemaya) (4.92 ± 0.14) y C4 (4.49 ± 0.13) registraron los mayores promedio de pares de hojas. Las plantas de pie franco (pf) tuvieron el mayor número de pares de hojas (5.11 ± 0.14) en los tres tipos de contenedores (Figura 8).

Área foliar

El análisis de varianza reportó diferencias estadísticas significativas en los tipos de malla sombra ($P=0.033$), clon ($P=0.0011$), contenedor ($P=0.0005$); y para la interacción malla sombra x contenedor ($P=0.0402$) sobre el área foliar promedio por planta. El tamaño de las hojas fue mayor en la malla sombra roja ($23.02 \text{ cm}^2 \pm 2.05$) -y menor en las mallas sombra perla ($15.57 \text{ cm}^2 \pm 2.05$) y negra ($14.51 \text{ cm}^2 \pm 2.05$). Estos resultados parecen ser una respuesta a la reducción de la luz (Salisbury y Ross, 2000) y al incremento en la proporción de luz rojo lejano, con respecto a la luz roja o azul, que promueve la respuesta fotomorfogénica de expansión foliar (Mortensen y Stromme, 1987; Rajapakse y Kelly, 1992). Las plantas de pie franco ($23.45 \text{ cm}^2 \pm 1.91$) superaron a los clones de *C. canephora*. Pero entre clones, el clon C5 (var. Nemaya) ($20.12 \text{ cm}^2 \pm 1.91$) y el clon C1 ($17.20 \text{ cm}^2 \pm 1.91$) son superiores al resto, en los tres tipos de contenedores. El contenedor de 420 ml presentaron las plantas con mayor área foliar promedio ($20.47 \text{ cm}^2 \pm 1.52$), en comparación con los contenedores de 400 ($18.60 \text{ cm}^2 \pm 1.52$) y 800 ml ($14.02 \text{ cm}^2 \pm 1.52$), en los tres tipos de malla sombra (Figura 9). Se sabe que las plantas sombreadas invierten, relativamente, mayor proporción de fotoasimilados en el aumento del área foliar, la cual se incrementa linealmente en función del incremento de los niveles de sombra para maximizar la captación de la luz disponible (Gobbi *et al.*, 2011); sin embargo, el área foliar específica disminuye con valores altos de radiación (Castrillo, 2006). El incremento del área foliar en plantas expuestas a luz roja es un hallazgo reiterado en trabajos realizados en fresa (Nishizawa *et al.*, 1997) y en brócoli (Casierra-Posada y Rojas, 2009). En pepino (*Cucumis sativus*), el resultado fue diferente al

encontrado en este estudio, puesto que las plantas desarrollaron mayor área foliar cuando se expusieron a luz blanca, púrpura y azul que cuando crecieron bajo la influencia de luz roja y verde



(Wang *et al.*, 2009).

Figura 9. Área foliar promedio de plantas de café var. Oro Azteca, injertadas en cinco clones de café robusta, bajo diferentes colores de malla sombra y tamaño de contenedores.

En general, en la malla sombra roja se observaron los valores más altos de crecimiento para las variables evaluadas: altura de la planta ($10.85 \text{ cm} \pm 0.25$), diámetro del tallo ($2.66 \text{ mm} \pm 0.20$), número de pares de hojas (5.06 ± 0.15), área foliar ($23.02 \text{ cm}^2 \pm 2.05$), comparado con los tratamientos en las mallas sombra perla y negra. Según Rodríguez y Morales (2015), esto puede deberse a una respuesta fotomorfogénica inducida por el fitocromo, siendo que éste es más activo biológicamente en función de una mayor cantidad de luz roja lejano, que reciben las plantas bajo la malla sombra roja 35%. En tal sentido, Oren-Shamir *et al.*, (2001) en su investigación sobre características de mallas de diversos colores sobre plantas decorativas, observaron que el sombreado de las mallas rojas mejora la relación del espectro de luz rojo lejano en el ambiente. De

tal forma que la relación de luz influiría particularmente en los procesos mediados por el fitocromo y también en el proceso fotosintético.

Contrario a lo esperado, el contenedor de mayor capacidad (800 ml) presentó valores menores para todas las variables, en comparación con los contenedores de 420 y 400 ml. De acuerdo con Landis *et al.*, (1990) cuanto más largo sea el contenedor, tendrá mayor proporción de sustrato bien drenado. Todos los contenedores crean una franja húmeda de sustrato debido a que las moléculas de agua son atraídas por el sustrato en el contenedor, el agua no puede drenar libremente al fondo del mismo, creándose así una capa permanentemente saturada de sustrato. Por lo tanto, la profundidad de esta capa saturada está en función de la altura del contenedor y de las propiedades físicas del sustrato. Con igual sustrato, la profundidad de la zona de saturación es siempre mayor en los contenedores menos profundos, favoreciendo mayor crecimiento radical (Luna *et al.*, 2012). Por el contrario, el contenedor de 400 ml tuvo se observaron los valores promedios mas bajos para todas las variables evaluadas en los tres colores de malla sombra. Esto puede deberse a la densidad de plantas en la charola (40) y por tanto el poco espacio que tiene cada una de ellas. Luna *et al.*, (2012), menciona que en general, las plantas que crecen con menor espaciamiento, se desarrollan más altas y tienen menor diámetro a nivel del cuello, que aquellas que se cultivan más distanciadas. Esto confirma los resultados en altura ($8.97 \text{ cm} \pm 0.29$), y diámetro del tallo ($1.69 \text{ mm} \pm 0.14$), en el contenedor de 400 ml. El espaciamiento entre contenedores condiciona la cantidad de luz, agua y nutrientes que están disponibles para cada planta afectando la altura, la rectitud de los tallos, el diámetro del cuello y la frondosidad. (Luna *et al.*, 2012; Landis *et al.*, 1990). Por lo cual, la calidad de la planta producida en contenedor aumentará con la reducción de la densidad de las cavidades por metro cuadrado. Sin embargo, en muchas ocasiones los viveristas necesitan producir el número

máximo de plantas por unidad de área, poniendo en riesgo la calidad de la planta (Landis *et al.*, 1990).

En general los resultados concluyentes apuntan que los clones C1, C4 y sobre todo el C5 obtuvieron los valores más altos para crecimiento, esto concuerda con López (2018) en su trabajo de investigación sobre evaluación de cuatro clones de café robusta a nivel vivero, obtuvo valores altamente significativos en altura, incidencia de agallamiento en la raíz, volumen y desarrollo radical para los clones C1 y C4.

1.4. Conclusiones

La sobrevivencia de plantas utilizando el injerto hipocotiledonar con el método inglés simple, esta asociada al portainjerto de *C. canephora* L. utilizado, observando prendimiento superior al 95% en los clones C2 (97-10), C3 (97-17), C4 (97-20), y C5 (var. Nemaya). La malla sombra roja con 35% de sombra permitió mayor crecimiento de las plantas injertadas de café, lo que tiene relación con la selectividad de la radiación solar y los cambios en las temperaturas y humedad relativa. Las características y diseño del contenedor de 420 ml, con una menor restricción del espacio de crecimiento y mejor aprovechamiento del recurso hídrico y de radiación solar, permitió mayor crecimiento de las plantas. Los clones 5 (var. Nemaya) y C4 (97-20) fueron superiores en la mayoría de las variables de crecimiento, en los tres tamaños de contenedor. La alternativa de producción de plantas injertadas de café en condiciones de vivero tecnificado, permitirá obtener plantas de calidad en un periodo de 10 meses.

1.5. Literatura citada

- AMECAFE (Asociación Mexicana de la Cadena Productiva de Café) (2012) Plan integral de promoción del café. AMECAFE. México. 63 p.
- Anzueto F., Bertrand B., Dufoer M. (1995) “Nemaya”, Desarrollo de una variedad porta-injerto resistente a los principales nematodos en América Central. Boletín IICA- PROMECAFE. Guatemala. pp:13-15.
- Anzueto F., Eskes A., B. Sarah J., L. Decazy B. (1991) Recherche de la resistance a *Meloidogyne* spp. dans une collection de *Coffea arabica* in Colloque scientifique international sur le café. San Francisco, California Estados Unidos, ASIC. pp: 534 - 543.
- Arizaleta M. y R. Pire (2008) Respuesta de plántulas de cafeto al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. Agrociencia 42: 47-55, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000100006
- Baraldi, R., F. Rapparini, A. Rotondi & G. Bertazza (1998) Effects of simulated light environments on growth and leaf morphology of peach plants, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 73:2, 251-258, <https://doi.org/10.1080/14620316.1998.11510972>
- Bertrand B., Peña M., X. Anzueto F., Cilas. C; Etienne, H; Anthony, F; Eskes, A. B. (2000) Genetic study of *Coffea canephora* coffee tree resistance to *Meloidogyne incognita* nematodes in Guatemala and *Meloidogyne* spp. nématodes in El Salvador for selection of root stock varieties in Central América. Euphytia. pp:1-8, <https://doi.org/10.1023/A:1003931918187>
- Bonilla B., A. (2018) Desarrollan sistema de vigilancia epidemiológica para el cultivo de café. CONACYT. Consultado en: 30 de marzo de 2018. <http://conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/19135-sistema-vigilancia-epidemiologica-cafe>
- Bulder H., A. Nijj, E. Speek, and V. Hasselt (1991) The effect of low root temperature tolerant rootstock genotypes for cucumber. J. Plant Physiol. 138: 661-666.
- Casierra-Posada F. y J. Rojas (2009) Efecto de la exposición del semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). Agronomía Colombiana 27 (1): 49-55, <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11359/37719>

- Castillo P., G. (2011) Plan de innovación de la cafecultura en el estado de Veracruz. SAGARPA, COFUPRO, INCA RURAL, AMECAFÉ, SISTEMA PRODUCTO CAFÉ CRUO-UACH. Huatusco, Ver., Mex. 144 p.
- Castrillo M. (2006) Fotosíntesis en tres poblaciones altitudinales de la planta andina *Espeletia schultzii* (Compositae). International Journal of Tropical Biology and Conservation. 54 (4): 1143-1149. ISSN 2215-2075., DOI 10.15517/rbt.v54i4.3091.
- Castro-Caicedo B. L., Cortina-Guerrero H.A., Sánchez-Arciniegas P. M. (2010) Evaluación de injertos de café sobre patrones resistentes a *Ceratocystis fimbriata* Ell. Halts. Hunt. Cenicafe 61(1):46-54.
- Duicela G., L. A. (2003) Desarrollo de tecnologías para la producción de café arábigo orgánico. Consejo Cafetalero Nacional Manabí (Ecuador). 346 p.
- Escamilla P., E. y A. Zamarripa C. (2016) Variedades de café en México. SAGARPA. COFUPRO. CENACAFÉ. Universidad Autónoma Chapingo. Xalapa, Ver. México. 43 p.
- Flores M., H. (2015) Descripción y caracterización de cuatro clones de café robusta (*Coffea canephora* P.) con potencial en resistencia a nematodos en el Mpio. de Tlacotepec de Mejía, Ver. Tesis profesional en ingeniería en agronomía. Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Veracruz. 45 p.
- García E. (1988) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana), offset Larrios, 4a. ed., México.49 p.
- Gobbi K., F. García R. Ventrella, M., C. Garcez Neto, A., F. y Rocha G., C. (2011) Área foliar específica e anatomía foliar quantitativa do capim-braquiariae do anendoin-forrageiro sometidos a sombreamento. Revista Brasileira de Zootecnia. 40 (7): 1436–1444, <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011000700006>.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) (2005). Clones de *Coffea canephora* como patrones para injertos con tolerancia a la corchosis de la raíz del café. Folleto técnico no. 3. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado 1 April 2018. En: http://www.inifap.gob.mx/Documents/reportes/reporte_anual2004.pdf
- Kinghorn J., M. (1974) Principles and concepts in container planting. En: Tinus , R.W., W.I. Stein y W.E. Blamer (eds). Proo. North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium. Great Plains Agricultural Council, Denver, Colorado. pp.8-18.

- Landis, T. D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E.; Barnett, J. P. (1990) Containers and Growing Media, Vol.2. The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbok. 674. Washington, DC. U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 88p.
- López D., F. (2018) Evaluación de clones élite de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) a la respuesta de infestación de nematodos. Tesis profesional, Centro Regional Universitario Oriente - Universidad Autónoma Chapingo. Huatusco de Chicuéllar, Veracruz, México. 64 p.
- Luna T., Landis, T. D., Kasten, R. D. (2012) Contenedores: Aspectos técnicos, biológicos y económicos. Producción de plantas en viveros forestales. Fecha de consulta el 1 de agosto de 2016. En: http://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2012_luna_t001.pdf.
- Mortensen L., M. and E. Stromme (1987) Effects of light quality on some greenhouse crops. *Scientia Horticulturae* 33:27-36.
- Muller D., S. and S. Li (2002) Use of aeroponic chambers and grafting to study partial resistance to *Fusarium solani* f. sp. Glycines in soybean. *Plant Disease* 86: 1223-122, <https://doi.org/10.1094/PDIS.2002.86.11.1223>
- Nishizawa, T., Y. Shishido, M. Kudo, H. Kumakura and H. Hamamoto (1997) Petiole length, chlorophyll and carbohydrate levels, and photosynthetic rates of June-bearing strawberry plants as influenced by red-light irradiation during storage under cool conditions. *Scientia Horticulturae* 72(1): 25-33, [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(97\)00113-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00113-1)
- Oda, M. (1995) Nuevos métodos de injerto para hortalizas con fruto en Japón. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 29: 187-198, DOI: 10.4236 / as.2013.45033
- Oren-Shamir, M.; Gussakovsky, E.E.; Shpiegel, E.; Nissim-Levi, A.; Ratner, K.; Ovadia, R.; Giller, Y.E.; Shahak, Y. (2001) Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76(3): 353-361, <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511377>
- Paz G., A. y E. Escamilla P. (2016) Manual de propagación de cafetos injertados. SAGARPA. COFUPRO. CENCAFÉ. Universidad Autónoma Chapingo. Xalapa, Ver. México. 31 p.
- Plan de Innovación en la Cafeticultura de México (2011). Fecha de consulta el 30 de enero del 2018. En: <http://docplayer.es/12578740-Plan-de-innovacion-en-la-cafeticultura-de-mexico.html>

- Rajapakse N., C. and J. W. Kelly (1992) Regulation of *chrysanthemum* growth by spectral filters. Journal of the American Society for Horticultural Science 117:481-485. <http://journal.ashspublications.org/content/117/3/481.full.pdf+html>
- Restrepo Y., C., Osorno L. F., Patiño-Hoyos D., Castañeda-Sánchez A. (2008) Efecto de los nematodos en la cantidad y calidad de raíces y métodos de evaluación. Politécnica 7: 47-57. <http://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/111>
- Renard H. M., & Larroa T. R. (2017). Política pública y sustentabilidad de los territorios cafetaleros en tiempos de roya: Chiapas y Veracruz. Estudios Latinoamericanos, 0(40), 95-113. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rel/article/view/61593>
- Rodríguez M. y D. Morales (2015) Efecto de mallas sombreadoras sobre la producción y calidad de frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta Scientia Agropecuaria 6 (1): 41 – 50, <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.01.04>
- Salisbury F. B. y C. W. Ross (2000) Fisiología de las Plantas 3: Desarrollo de las Plantas y Fisiología Ambiental. Ed. Paraninfo. México. 460 p.
- SE (Secretaría de Economía) (2017) Consulta 18 de mayo de 2017. En: Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI) . <http://www.economia-snci.gob.mx/>
- Vaast P., Caswell-Chen, E. P., Zasoski, R. J. (1997) Effects of two endoparasitic nematodes (*Pratylenchus coffeae* and *Meloidogyne konaensis*) on ammonium and nitrate uptake by Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). Appl. Soil Ecol. 10: 171-178, [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00037-7](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00037-7)
- Wang H., M. Gu, J. Cui, K. Shi, Y. Zhou and J. Yu. (2009) Effects of light quality on CO₂ assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 96 (1): 30-37, <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2009.03.010>
- Zamarripa C., A; Méndez L., M. Vázquez M., A. Contreras J., A. Fernández R. (1995) Oro Azteca: una nueva variedad de café con resistencia a la roya anaranjada *Hemileia vastatrix* Berk. In: Tercer Simposio Internacional de Café. Xicotepec de Juárez, Puebla,

**CAPÍTULO II. BIOMASA EN PLANTAS DE CAFÉ VARIEDAD ORO AZTECA
INJERTADO EN *Coffea canephora* P., BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE
MALLA SOMBRA Y CONTENEDORES
BIOMASS IN COFFEE PLANTS VARIETY ORO AZTECA GRAFTED IN *Coffea
canephora* P., UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF SHADOW MESH AND
CONTAINERS**

**Braulio Coutiño-Mendoza¹, Eliseo García-Perez^{1*}, Esteban Escamilla-Prado², Josafhat Salinas-
Ruiz³, Octavio Ruiz-Rosado¹**

RESUMEN

En el estado de Veracruz, cerca de 85,000 cafeticultores producen más de 60,000 toneladas de café tostado anualmente en alrededor de 140,000 hectáreas, lo cual representa ingresos por alrededor de 150 millones de dólares. Con el brote de la roya del café y la incidencia de nematodos, esta actividad se ha visto afectada por la destrucción de plantaciones. Ante esta problemática, surge la necesidad de evaluar alternativas para tecnificar los sistemas de producción de plantas de café y hacer renovaciones de plantaciones con variedades tolerantes y de alta productividad. El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes condiciones de malla sombra y contenedores, en la acumulación de biomasa fresca y seca, en plantas de *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca, injertadas en *Coffea canephora* P. El estudio se realizó de junio 2017 a abril 2018. Los factores y niveles estudiados fueron: Malla sombra color negro con 50% de sombra y color perla y rojo con 35% de sombra; contenedores con capacidad de 400, 420 y 800 ml; portainjertos de café robusta clones 95-02 (C1); 97-10 (C2); 97-17 (C3); 97-20 (C4) y variedad Nemaya (C5). Se utilizó el injerto hipocotiledonar con el método inglés simple. El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas para las variables de acumulación de biomasa fresca y seca, en los factores e interacciones. La malla sombra color perla y roja presentaron los valores más altos para radiación fotosintéticamente activa (548.15 y $299.82 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), sin embargo, la mayor relación biomasa fresca y seca total fue para la interacción malla sombra roja ($10.86\text{g} \pm 0.48$, $3.57\text{g} \pm 0.22$), contenedor de 800 ml ($10.71\text{g} \pm 0.63$, $3.15\text{g} \pm 0.18$), y clones C5 (variedad Nemaya) ($8.72\text{g} \pm 0.94$, $2.66\text{g} \pm 0.25$) y C1 (95-02) ($6.95\text{g} \pm 0.94$, $2.21\text{g} \pm 0.25$).

Palabras clave: *Coffea arabica* L., *Coffea canephora* P., biomasa, injerto hipocotiledonar, malla sombra, contenedores.

SUMMARY

In the state of Veracruz, about 85,000 coffee growers produce more than 60,000 tons of roasted coffee annually in about 140,000 hectares, which represents revenues of around 150 million dollars. With the outbreak of coffee rust and the incidence of nematodes, this activity has been affected by the destruction of plantations. Given this problem, there is a need to evaluate alternatives to technify the production systems of coffee plants and make renovations of plantations with tolerant and highly productive varieties. The objective was to evaluate the effect of different shadow mesh and container conditions on the accumulation of fresh and dry biomass in *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca, grafted in *Coffea canephora* P. The study was conducted from June 2017 to April 2018. The factors and levels studied were: Shade mesh black color with 50% shade and pearl color and red with 35% shade; containers with a capacity of 400, 420 and 800 ml; robusta coffee rootstock clones 95-02 (C1); 97-10 (C2); 97-17 (C3); 97-20 (C4) and variety Nemaya (C5). The hypocotyledonar graft was used with the simple English method. The analysis of variance showed significant statistical differences for the variables of accumulation of fresh and dry biomass, in the factors and interactions. The pearl and red shade mesh presented the highest values for photosynthetically active radiation (548.15 and $299.82 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), however, the highest ratio of fresh and total dry biomass was for the red shadow mesh interaction ($10.86\text{g} \pm 0.48$, $3.57\text{g} \pm 0.22$), container of 800 ml ($10.71\text{g} \pm 0.63$, $3.15\text{g} \pm 0.18$), and clones C5 (variety Nemaya) ($8.72\text{g} \pm 0.94$, $2.66\text{g} \pm 0.25$) and C1 (95-02) ($6.95\text{g} \pm 0.94$, $2.21\text{g} \pm 0.25$).

Keywords: *Coffea arabica* L., *Coffea canephora* P., biomass, hypocotyledonar graft, shade mesh, containers.

2.1. Introducción

El cultivo del café tiene una importancia económica y cultural. En México, aproximadamente 500 mil familias dependen directamente de este sistema agroforestal, sobre todo en las comunidades serranas del sur de nuestro país (Acosta y Guerra, 2014). Los estados de Veracruz, Chiapas, Puebla y Oaxaca concentran alrededor del 84% de la producción. En el estado de Veracruz, cerca de 85,000 cafeticultores producen más de 60,000 toneladas de café tostado anualmente en alrededor de 140,000 hectáreas, lo cual representa ingresos por alrededor de 150 millones de dólares. Veracruz aporta casi el 27% de la producción nacional, México a su vez aporta arriba del 2% de la producción mundial (Secretaría de Economía, 2017).

A pesar de su relevancia, que puede verse desde diversas perspectivas (histórica, económica, social, ambiental, cultural), el sector cafetalero ha estado inmerso en crisis recurrentes. La tendencia decreciente en la producción nacional de café se explica principalmente por la reducción en la productividad de los cafetales y en la superficie cosechada durante los últimos años (FIRA, 2016). Destaca la existencia del 14 % de cafetales improductivos debido a la edad avanzada de las plantaciones, variedades antiguas de baja producción y baja resistencia al ataque de la roya (Plan de Innovación en la Cafecultura de México, 2011), así como la infección por el nematodo endoparásito en plantaciones de café en Veracruz.

Una alternativa económica y eficiente para el manejo de nematodos es el uso de plantas injertadas, que consiste en unir dos especies de café que permite combinar las características deseadas. Las variedades de la especie *Coffea arabica* L., son por naturaleza grandes productores, pero su sistema radical es débil y susceptible al ataque de muchos organismos patógenos. *Coffea canephora* P. tipo Robusta, aunque produce granos de calidad inferior, posee un sistema radical vigoroso que la hace resistente al ataque de nematodos y a ciertas enfermedades de la raíz (Colorado, 2001). Sin embargo, se requiere utilizar un patrón o portainjerto de la variedad robusta que esté plenamente

identificado por su alta tolerancia a nematodos sobre todo del género *Meloidogyne* spp. (Flores ,2015).

Ante la demanda de grandes cantidades de plantas con ciertos estándares de calidad, es trascendental valorar y proponer alternativas de producción que permitan la obtención de plantas injertadas de calidad para lograr altos índices de supervivencia y crecimiento en el sitio de plantación (Santiago *et al.*, 2015).

El sistema de producción en contenedor se perfila como una opción viable toda vez que, en sustitución de la bolsa, maneja envases rígidos (contenedores) tipo tubete o charolas compactas, son reciclables y los diseños permiten un mejor crecimiento de raíz, con ello se evitan los problemas de espiralamiento. La materia prima utilizada en su fabricación limita su durabilidad y reutilización. En cambio, su diseño (volumen, altura, diámetro y forma) determina las características morfológicas y funcionales que influyen en el crecimiento de las plantas en vivero y, en particular, en las características y estructura del sistema radical.

Las plantas de café, tradicionalmente, se producen bajo sombra, ya sea natural o artificial, cuyo objetivo fundamental es que las mismas tengan las condiciones requeridas para ser llevadas al campo (Marín, 2012). Para lograr que las plantas tengan esas condiciones expresadas en biomasa, es necesario utilizar eficientemente los factores ambientales, especialmente la luz, que permita una mejor utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento (Santos *et al.*, 2010), aprovechando la capacidad de aclimatación de las plantas a una determinada intensidad lumínica que puede ser variable, tanto entre especies como entre poblaciones de una misma especie (Valladares, 2002). Una propuesta innovadora es el establecimiento de viveros con mallas sombras termorreflectoras, para sustituir a la tradicional de color negro, con la cual se busca disminuir la intensidad de la radiación solar (Valera y Gil, 2001). De acuerdo con Shahak *et al.*, (2008) la nueva

tecnología fomenta la estimulación diferencial de algunas respuestas fisiológicas reguladas por la luz tales como la fotosíntesis, teniendo efectos sobre la elongación del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila, y muchos otros metabolitos secundarios (Decoteau *et al.*, 1993).

Ante la necesidad de evaluar alternativas para tecnificar los sistemas de producción de plantas de café y contribuir con clones seleccionados de Robusta como portainjertos, el objetivo fue evaluar la acumulación de biomasa fresca y seca, en plantas de *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca, injertadas en *Coffea canephora* P. bajo diferentes condiciones de mallas sombra y contenedores.

2.2. Materiales y métodos

El estudio se realizó durante el periodo de junio 2017 – abril 2018, en condiciones de un vivero tecnificado en el Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh), en Huatusco, Veracruz. Ubicado a los 19° 08' 48" latitud norte y 96° 57' 00" longitud oeste, a 1344 msnm. El clima es C(m) w"b(i)g templado húmedo, con lluvias abundantes en verano, con una temperatura media anual de 16.59 °C, el mes más cálido (Junio) con 19.60 °C y el más frío (enero) con 12.08 °C, con presencia esporádica de heladas (García, 1988). La precipitación pluvial total anual es de 1889 mm. El mes más seco (diciembre) con 11.8 mm, el mes más lluvioso (septiembre) con 452.7 mm (Estación meteorológica del CRUO, 2018).

Material vegetal

Portainjertos usados: *Coffea canephora* P. Clones 95-02 (C1); 97-10 (C2); 97-17 (C3); 97-20 (C4). Materiales colectados en una plantación madre de clones de café tipo robusta en el municipio de Tlacotepec de Mejía, Veracruz, presentan óptimas características morfológicas y agronómicas, alta tolerancia a nematodos y con buen desarrollo en suelos pobres en nutrientes (Castillo, 2011). El quinto portainjerto fue *C. canephora* P., variedad Nemaya (C5). Material obtenido del banco

de germoplasma ubicado en el campo experimental del CRUO de la UACH. Variedad obtenida en 1995 por la Asociación Nacional del Café (ANACAFE) en Guatemala, resultado de la cruce de dos plantas de café robusta (T5361 y T3751) obtenidas de la colección del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, Costa Rica (Anzueto *et al.*, 1995). La descendencia híbrida de esta cruce ha resultado altamente resistente a los nematodos *Meloidogyne arenaria* en El Salvador, *Meloidogyne* sp. en Guatemala, *Meloidogyne exigua* y *Meloidogyne arabicida* en Costa Rica y *Meloidogyne incognita* en Nicaragua (Anzueto *et al.*, 1991; Bertrand *et al.*, 2000).

Injerto: Se utilizó *C. arabica* L. variedad Oro Azteca. Material colectado en el campo experimental del CRUO de la UACH, desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en 1996 como respuesta a las afectaciones de la roya del cafeto. Esta variedad fue obtenida de la cruce de la variedad Caturra Rojo, que le confiere características de porte bajo y rendimiento, con el híbrido de Timor, que le otorga la resistencia al hongo *Hemileia vastatrix*. Tiene una adaptabilidad a alturas desde los 600 hasta los 1200 msnm, con una producción aproximada de 9 – 11 t ha⁻¹ de café cereza y buena calidad en tasa (Zamarripa *et al.*, 1995; Escamilla y Zamarripa, 2016).

Factores y niveles estudiados

1) Color de malla sombra fotoselectiva. Tres módulos con malla sombra de polietileno tipo rashel, color negro con 50% de sombra y color perla y rojo con 35% de sombra.

2) Tamaño de contenedor.



Figura 10. Contenedor de 400 (a), 420 (b) y 800 ml (c).

- a) Bandeja de polietileno de alta densidad con 40 cavidades, cada cavidad de 400 ml, con un diámetro superior de 5.8 cm e inferior de 2.5 cm, y una altura de 20 cm.
- b) Contenedor individual de polietileno tipo cono de 400 ml, con un diámetro superior de 9 cm e inferior de 5.5 cm, y una altura de 14 cm.
- c) Contenedor individual de polietileno tipo tubete de 800 ml, con un diámetro superior e inferior de 9 cm, y una altura de 18.5 cm.

3) Porta injertos de *C. canephora* P. Clones: 95-02 (C1), 97-10 (C2), 97-17 (C3), 97-20 (C4), y variedad Nemaya (C5). Además, un testigo sin injertar, pie franco (pf), *C. arabica* L. variedad Oro Azteca.

Diseño experimental

Por la naturaleza de la investigación se utilizó un diseño completamente al azar, con una estructura de tratamientos en parcelas subdivididas en el tiempo (3x3x5), con cuatro repeticiones y una planta como unidad experimental.

Modelo estadístico

El modelo empleado, considera el efecto de cada variable analizada en campo, bajo el siguiente modelo:

$$y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + rep(\alpha)_{i(m)} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \tau_l + (\alpha\tau)_{il} + (\beta\tau)_{jl} + (\alpha\beta\tau)_{ijl} + (\gamma\tau)_{kl} + (\alpha\gamma\tau)_{ikl} + (\beta\gamma\tau)_{jkl} + (\alpha\beta\gamma\tau)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm}$$

$$i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, 4, 5; k = 1, 2, 3; l = 1, \dots, 11; m = 1, 2, 3, 4$$

Donde: y_{ijklm} es la respuesta observada en la repetición m (planta), (malla) i , (clon) j , (charola) k , en el tiempo l ; μ es la media general; α_i es el efecto fijo debido al tipo de malla; $rep(\alpha)_{i(m)}$ es el efecto aleatorio debido a repetición dentro de malla asumiendo $rep(\alpha)_{i(m)} \sim N(0, \sigma_{rep(\alpha)}^2)$, β_j , γ_k , τ_l son los efectos fijos debido al tipo de clon, charola y el tiempo de muestreo; $(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$, $(\beta\gamma)_{jk}$, $(\alpha\tau)_{il}$, $(\beta\tau)_{jl}$, $(\gamma\tau)_{kl}$ son los efectos de la doble interacción de los factores malla, clon, charola y tiempo de muestreo; $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$, $(\alpha\beta\tau)_{ijl}$, $(\alpha\gamma\tau)_{ikl}$, $(\beta\gamma\tau)_{jkl}$, y $(\alpha\beta\gamma\tau)_{ijkl}$ son los efectos de la triple y cuarta interacción de los factores en estudio; y ε_{ijklm} es error aleatorio asumiendo $\varepsilon_{ijklm} \sim N(0, \sigma^2)$.

2.2.5 Variables evaluadas

Radiación fotosintéticamente activa (RFA) ($\mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$), cada dos meses se muestrearon dieciocho plantas por modulo de malla sombra, registrando a las 12 horas del día, utilizando un sistema portátil digital (Modelo CID 340 Bio-science Inc. Washington, USA).

Biomasa fresca total (g), esta variable se registro cuando la planta estuvo en condiciones para trasplante al campo (11 meses), se muestrearon cuatro plantas por tratamiento y con una balanza digital (Modelo ESNOVA SE-2000, México) se pesó por separado la raíz y la parte aérea (tallos y hojas); la relación parte aérea-raíz se obtuvo por el cociente entre el peso fresco de la parte aérea y peso fresco de la raíz.

Biomasa seca total (g), la raíz y la parte aérea se secaron por separado en una estufa de gas (Modelo Riossa H-82, Monterrey, México) a 70 °C durante 72 horas, posteriormente se pesó con una balanza digital; la relación parte aérea-raíz se obtuvo por el cociente entre el peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz.

Sobrevivencia (%), se determinó haciendo una relación entre el número total de plantas al inicio del experimento y el número total de plantas vivas al finalizar el experimento, para cada factor y nivel evaluado.

Plantas con primer par de ramas primarias o “primera cruz” (%), se muestrearon doce plantas por tratamiento y se contabilizó el número de cruces total, a los once meses.

Tipo y método de injertación

Injerto hipocotiledonar. Plantas de café en estado juvenil con 20 a 30 días de diferencia, obtenidas de semilla de café tipo Robusta (*C. canephora* P.), a fin de que coincidan las etapas fenológicas de mariposa al momento de la injertación (apertura de las primeras hojas cotiledonales) del portainjerto y el estado de soldadito (cotiledones cubiertos por el pergamino o tegumento) de la variedad a injertar. Se usan variedades comerciales de *C. arabica*, por ser altamente productoras y con calidad en taza, sobre patrones o portainjerto de *C. canephora*. con sistema radical abundante y profundo, y tolerantes a nematodos.

Método inglés simple. Se realizaron cortes diagonales en el tallo de las plántulas de aproximadamente dos centímetros de largo, en el patrón (portainjerto) y en la vareta (injerto), ambas partes se unen para hacer coincidir los cortes y vendar inmediatamente con tira de Parafilm[®], de medio centímetro de ancho (Paz y Escamilla, 2016). Después se transplantan en un propagador con arena, donde se mantienen por 30 días, en condiciones de buena humedad y luz, y con control de enfermedades fungosas. Después, se seleccionan las plántulas con óptimo

prendimiento del injerto, estas se trasplantaron en contenedores de diferente volumen y módulos con malla sombra de diferente color.

Manejo técnico en vivero

El sustrato, estuvo compuesto con la mezcla de 22.6 % de peat moss, 11.7 % de agrolita, 63.3 % de lombricomposta, 0.97 % de micorriza o peat coffee y 1.4 % de potenciabilizador solubilizador dihidro (PSD), mejorador de suelo orgánico. Para el control de hongos se usaron compuestos orgánicos como caldos minerales, sulfocálcico, bordelés y visosa; alternando su uso cada 15 días para evitar resistencia de hongos y otros patógenos. El abonado de los cafetos se hizo aplicando 50 g de lombricomposta, y 50 g de gallinaza, por planta, a los 30 y 120 días de establecer los injertos en los módulos de colores, para todos los tratamientos. Para el control de arvenses se programaron limpiezas manuales cada 15 días. El riego se llevó a cabo por aspersión cada tercer día, en periodos de sequía.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de las variables evaluadas en esta investigación se realizó con el programa SAS® v. 9.4 para Windows, mediante análisis de varianza bajo el diseño completamente al azar con una estructura de tratamientos en parcelas divididas, con el procedimiento PROC GLIMMIX y la prueba de medias (LSD, $\alpha = 0.05$).

2.3. Resultados y discusión

Radiación fotosintéticamente activa (RFA)

El análisis de varianza mostro diferencias estadísticas significativas de los factores malla sombra ($P = 0.0001$), sobre la radiación fotosintéticamente activa. La prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha \leq 0.05$) (Cuadro 2), para los valores de PAR en $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, muestra los valores estadísticamente superiores en la malla sombra perla ($548.15 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1} \pm 67.04$), en relación a

las mallas roja ($299.82 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1} \pm 67.04$) y negra ($286.8 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1} \pm 67.04$). Estos resultados denotan que las mallas sombras de colores transmitieron diferentes cantidades de radiación fotosintética activa, por el contrario en la malla sombra negra, sólo la radiación que pasa a través de los orificios de la malla es transmitida, ya que los hilos de plástico negro son esencialmente opacos (Ayala-Tafoya *et al.*, 2011). De acuerdo con Shahak *et al.*, (2004) la malla perla tiene una mayor difusión de luz (62%) que la malla roja (35.6%) y negra (11.4%). Las mallas de colores, son tejidas más densamente para lograr el mismo efecto de sombreo, dejan pasar una mayor fracción de la radiación solar a través de los hilos plásticos y además es filtrada selectivamente (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak, 2008). Debido a que la luz difusa penetra mejor los doseles densos, la exposición de las plantas a la luz total bajo las mallas de colores (difusoras) es mayor que en las mallas negras. Por lo que las plantas bajo una malla de color con 30% de sombra realmente capta más luz que aquellas bajo una malla sombra negra 30% (Ayala-Tafoya, 2011). Esto explica la respuesta de mayor acumulación de biomasa en las plantas bajo malla sombra roja.

Cuadro 2. Medias de radiación fotosintéticamente activa (RFA) en tres colores de malla sombra.

Color de malla sombra	RFA ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$)
Perla (35%)	548.15 ± 67.04^a
Roja (35%)	299.82 ± 67.04^b
Negra (50%)	286.8 ± 67.04^b

^{ab}Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Alados *et al.*, (1996) y Dimitrijevič *et al.*, (1999) mencionan que existe una dependencia estacional en la proporción de radiación fotosintéticamente activa, con respecto a la radiación solar. Los valores más altos ocurren durante el verano mientras que en invierno estos valores son menores y más variables. De ahí que los valores registrados en el periodo (otoño-invierno) del

presente trabajo sean bajos, en comparación con el trabajo de Reyes-Landa *et al.*, (2018) que reporta valores superiores para las mismas mallas sombra negra (683.65), perla (855.3) y roja (796.34), en el primer ciclo de instaladas. Araujo *et al.*, (2008) menciona que la variación en los niveles de radiación fotosintéticamente activa no afectan significativamente la asimilación neta, ya que las hojas de los cafetos presentan una plasticidad morfológica o anatómica, más que fisiológica, para responder a los cambios de radiación.



Figura 11. a) Módulos con malla sombra de diferente color en el Centro Regional de Oriente de la UACh, Huatusco, Veracruz. b) Medición de radiación fotosintéticamente activa, en hojas de plantas injertadas de café.

Araujo *et al.*, (2008) y Franck & Vaast (2009) afirman que el café es una especie adaptada a la sombra con hojas, que mantienen su desempeño fotosintético, en baja disponibilidad de luz. Tal como en el caso de la radiación fotosintéticamente activa, la asimilación decrece exponencialmente, con incrementos de la sombra. Con respecto al efecto ocasionado por mallas sombra de colores sobre la radiación fotosintéticamente activa hay coincidencia con los resultados de Retamates *et al.*, (2008), quienes al comparar el rendimiento de arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.) obtenido bajo mallas de colores encontraron que con la malla blanca de 35% de sombra, se incrementaron los rendimientos en 90.5 y 44.6%, y, 84.2 y 31.9% con la malla roja

50% en dos años consecutivos, respectivamente. Estos autores también indicaron que la malla negra, comúnmente utilizada por los agricultores, tuvo efectos negativos sobre el rendimiento. Los rendimientos con la malla sombra negra 35% fueron 37.2 y -8%, mientras que con la malla sombra negra 50% fueron -3.2 y -28% con respecto al testigo sin malla, durante los dos años, respectivamente.

Biomasa fresca aérea

El análisis de varianza mostro diferencias estadísticas significativas de los factores malla sombra ($P= 0.0013$), clon ($P= 0.0001$), contenedor ($P= 0.0001$); y para las interacciones malla sombra x contenedor ($P= 0.0006$), sobre el peso de la biomasa fresca aérea promedio (Cuadro 3). El peso de la biomasa fresca aérea de las plantas fue significativamente influido por las mallas sombra, especialmente en la de color rojo ($5.63g \pm 0.30$) siendo muy superior en comparación con la malla sombra perla ($4.10g \pm 0.30$) y negra ($3.30g \pm 0.30$). Estos resultados muestran concordancia con lo señalado con Castilla (2007), en donde la luz roja favoreció una mayor altura y producción biomasa fresca aérea de la 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. El contenedor de 420 ml presentó el mayor peso fresco aéreo promedio ($5.64g \pm 0.28$) en comparación con el contenedor de 400 ml ($2.78g \pm 0.28$) y 800 ml ($4.61g \pm 0.28$) en los tres tipos de malla sombra. Los clones C5 ($5.11g \pm 0.39$) y C3 ($4.16g \pm 0.39$) obtuvieron los valores más altos, sin embargo el pie franco (pf) ($5.88g \pm 0.39$) es superior a los clones (Cuadro 4).

Biomasa fresca de raíz

El análisis de varianza mostro diferencia estadísticas significativas de los factores malla sombra ($P= 0.0042$), clon ($P= 0.0001$) y contenedor ($P= 0.0001$) sobre el peso de la biomasa seca total

promedio (Cuadro 3). El peso de la biomasa fresca de la raíz de las plantas injertadas fue significativamente influido por las mallas sombra color rojo ($5.22\text{g} \pm 0.45$) siendo superior en comparación con la malla sombra perla ($4.31\text{g} \pm 0.45$) y negra ($2.29\text{g} \pm 0.45$). El contenedor de 800 ml presentó el mayor peso fresco de raíz promedio ($6.09\text{g} \pm 0.53$) en comparación con el contenedor de 400 ml ($1.65\text{g} \pm 0.53$) y 420 ml ($4.09\text{g} \pm 0.53$) en los tres tipos de malla sombra. Los clones C5 ($3.61\text{g} \pm 0.78$) y C1 ($3.16\text{g} \pm 0.78$) obtuvieron los valores más altos, sin embargo el pie franco (pf) ($8.72\text{g} \pm 0.78$) es superior a los clones (Cuadro 4).

El contenedor con volumen de 420 ml favoreció mayor producción de biomasa aérea, por el contrario disminuyó el sistema radical. Sin embargo, el contenedor con volumen de 800 ml favoreció la producción del sistema radical y disminuyó la producción de biomasa aérea. Un sistema radical fibroso y largo, así como la biomasa están estrechamente relacionados con la supervivencia y el desarrollo en el sitio de plantación (Atzmon *et al.*, 1994; Haase, 2006). Entre más grande sea el sistema radical de la planta, tendrá más puntos de crecimiento y mayor posibilidad de explorar el suelo para captar agua y nutrientes; además, incrementará la probabilidad de infección micorrízica (González, 1995).

Biomasa fresca total

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas de los factores malla sombra ($P= 0.0001$), clon ($P= 0.0001$), contenedor ($P= 0.0001$), sobre la biomasa fresca total (Cuadro 3). De acuerdo al cuadro 4 la biomasa fresca total de las plantas fue significativamente influido por las mallas sombra, especialmente en la de color rojo ($10.86\text{g} \pm 0.48$) siendo significativo y superior en comparación con el peso fresco total de las plantas en malla sombra perla ($8.42\text{g} \pm 0.48$) y negra ($5.59\text{g} \pm 0.48$). Así como lo reportaron Casierra *et al.*, (2011) en un estudio hecho en remolacha, las plantas expuestas a malla sombra roja y perla, 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. Para el contenedor de 800 ml se presentó el mayor peso fresco promedio ($10.71\text{g} \pm 0.63$) en comparación con el contenedor de 420 ml ($9.73\text{g} \pm 0.63$) y 400 ml ($4.43\text{g} \pm 0.63$) en los tres tipos de malla sombra. 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 radical; como se comentó anteriormente, existe una mayor reserva de nutrimentos y de humedad, factores que benefician el desarrollo y crecimiento de las plantas. Por su parte, las plantas injertadas con el clon C5 registro el mayor peso fresco total promedio ($8.72\text{g} \pm 0.94$), superiores a los otros clones y con menores promedios que las plantas de pie franco (pf) ($14.61\text{g} \pm 0.94$) en los tres tipos de contenedores. Reyes-Landa *et al.*, (2018), evaluaron pie franco de *C. arabica* variedad Geisha en seis colores de malla sombra, en el que se aprecia el efecto del color de la malla sombra sobre el peso total en base fresca es altamente significativa en la malla sombra perla (12.3 g), roja (12.3 g) y en menor grado en la malla sombra negra (9.8 g). Así también, Pérez *et al.*, (2018) evaluó el crecimiento pie franco de seis variedades de café (*C. arabica* L.), incluyendo Oro azteca, propagadas en seis colores de malla sombra (rojo, perla, negro, azul, gris y aluminizado), obteniendo valores superiores de biomasa fresca en la malla sombra perla (9.27 g) y roja (6.67 g), con respecto a la malla sombra negra (6.11 g).



Figura 12. Plántulas de café injertadas, en tubetes de 420 y 800 ml, en malla sombra roja (a), perla (b) y negra (b).



Figura 13. Plántulas de café injertadas, en contenedores de 400 ml en malla sombra roja (a), perla (b) y negra (b).

Cuadro 3. Valores de significancia ($p \leq 0.05$) de biomasa fresca, para los tres factores y sus interacciones.

Nivel	Factor ó interacción	Biomasa Fresca		
		Aérea	Raíz	Total
1	Clon	0.0001	0.0001	0.0001
	Contenedor	0.0001	0.0001	0.0001
	Malla sombra	0.0013	0.0042	0.0001
2	Contenedor + clon	0.9735	0.1641	0.4638
	Malla sombra + Clon	0.9352	0.2981	0.6325
	Malla sombra + Contenedor	0.0006	0.5485	0.1709
3	Malla sombra + contenedor + clon	0.1184	0.5532	0.4222

Cuadro 4. Biomasa fresca acumulada en plantas de café injertadas a los once meses de edad.

Factor	Biomasa Fresca		
	Aérea (g)	Raíz (g)	Total (g)
C1	3.79 ± 0.39 ^c	3.16 ± 0.78 ^b	6.95 ± 0.94 ^{bc}
C2	3.37 ± 0.39 ^c	2.54 ± 0.78 ^b	5.91 ± 0.94 ^c
C3	4.16 ± 0.39 ^{bc}	2.72 ± 0.78 ^b	6.88 ± 0.94 ^{bc}
C4	3.76 ± 0.39 ^c	2.91 ± 0.78 ^b	6.68 ± 0.94 ^{bc}
C5	5.11 ± 0.39 ^a	3.61 ± 0.78 ^b	8.72 ± 0.94 ^b
pf	5.88 ± 0.39 ^a	8.72 ± 0.78 ^a	14.61 ± 0.94 ^a
Cont. 400 ml	2.78 ± 0.28 ^c	1.65 ± 0.53 ^c	4.43 ± 0.63 ^b
Cont. 420 ml	5.64 ± 0.28 ^a	4.09 ± 0.53 ^b	9.73 ± 0.63 ^a
Cont. 800 ml	4.61 ± 0.28 ^b	6.09 ± 0.53 ^a	10.71 ± 0.63 ^a
Ms. Negra	3.30 ± 0.30 ^b	2.29 ± 0.45 ^b	5.59 ± 0.48 ^c
Ms. Perla	4.10 ± 0.30 ^b	4.31 ± 0.45 ^a	8.42 ± 0.48 ^b
Ms. Roja	5.63 ± 0.30 ^a	5.22 ± 0.45 ^a	10.86 ± 0.48 ^a

^{abc} Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Biomasa seca aérea

El análisis de varianza mostro diferencias estadísticas significativas de los factores malla sombra ($P= 0.0016$), clon ($P= 0.0001$), contenedor ($P= 0.0001$); y para las interacciones malla sombra x contenedor ($P= 0.0013$), sobre la biomasa seca aérea promedio (Cuadro 5). El peso de la biomasa seca aérea de las plantas fue significativamente influido por las mallas sombra color rojo ($1.84g \pm 0.10$) siendo superior en comparación con la malla sombra perla ($1.39g \pm 0.10$) y negra ($1.01g \pm 0.10$). El contenedor de 420 ml presentó el mayor peso seco aéreo promedio ($1.78g \pm 0.09$) en comparación con el contenedor de 400 ml ($0.95g \pm 0.09$) y 800 ml ($1.52g \pm 0.09$). Los clones C5 ($1.57g \pm 0.12$) y C1 ($1.37g \pm 0.12$) obtuvieron los valores más altos sin embargo, el pie franco (pf) ($1.95g \pm 0.12$) es superior a los clones (Cuadro 6). Para las variables de biomasa seca de tallo y hojas, se observa relativamente una relación positiva para ciertos grados de intensidad de luz con respecto a los tratamientos probados, encontrándose plantas con tallos y hojas con menor cantidad de biomasa acumulada en las mallas sombra perla y negra con menor intensidad de luz. Lo anterior es debido a que en estas condiciones los tallos presentan relativamente mayor cantidad de líquidos en sus células de parénquima esponjoso y, por tanto, mayor succulencia a menores intensidades de luz (Tucker y Emmingham, 1977).

Biomasa seca de raíz

El análisis de varianza mostro diferencia estadísticas significativas de los factores malla sombra ($P= 0.0005$), clon ($P= 0.0001$), contenedor ($P= 0.0001$); y para las interacciones malla sombra x clon ($P= 0.0001$), malla sombra x contenedor ($P= 0.0005$), sobre la biomasa seca de raíz promedio (Cuadro 5). El peso promedio de la biomasa seca de la raíz, fue significativamente influido por las mallas sombra color rojo ($1.72g \pm 0.12$) siendo superior, en comparación con la malla sombra perla ($1.12g \pm 0.12$) y negra ($0.58g \pm 0.12$). El contenedor de 800 ml presentó el mayor peso seco de

raíz promedio ($1.63\text{g} \pm 0.11$) en comparación con el contenedor de 400 ml ($0.61\text{g} \pm 0.11$) y 420 ml ($1.18\text{g} \pm 0.11$) en los tres tipos de malla sombra. Para el tipo de clon, los clones C5 ($1.09\text{g} \pm 0.14$) y C4 ($0.87\text{g} \pm 0.14$) obtuvieron los valores más altos, sin embargo el pie franco (pf) ($2.59\text{g} \pm 0.14$) es superior a los clones (Cuadro 6). En las plantas en crecimiento se mantiene un balance entre el área de la superficie total disponible para la elaboración de asimilados (área foliar o superficie fotosintetizadora) y el área de la superficie disponible para la absorción de agua y minerales (área radical). En plántulas, la superficie de absorción excede ampliamente la superficie sintetizadora; sin embargo, la relación raíz/parte aérea (R/PA) disminuye gradualmente con la edad de la planta (Raven *et al.*, 1999). Julca *et al.*, (2015) menciona que la mejor calidad de planta se obtiene cuando la parte aérea es relativamente pequeña y la raíz es grande, lo que puede garantizar una mayor supervivencia ya que se evita que la transpiración exceda la absorción de agua. Reyes-Landa *et al.*, (2018) menciona que la producción de biomasa puede ser explicada a través de la cantidad de radiación interceptada y la eficiencia con la que dicha radiación es transformada en biomasa, concluyendo que las plantas de café bajo el color de malla sombra perla y roja fueron superiores en peso fresco y seco presentando una mayor eficiencia fotosintética, en comparación con las plantas en malla sombra color aluminizada, gris, negra y azul.

Biomasa seca total

El análisis de varianza mostro diferencias estadísticas significativas de los factores malla sombra ($P= 0.0006$), clon ($P= 0.0001$), contenedor ($P= 0.0001$); y para las interacciones malla sombra x clon ($P= 0.0004$), malla sombra x contenedor ($P= 0.0004$), sobre la biomasa seca total promedio (Cuadro 5). La biomasa seca total promedio de las plantas fue significativamente influido por las mallas sombra color rojo ($3.57\text{g} \pm 0.22$) siendo muy superior en comparación con la malla sombra perla ($2.51\text{g} \pm 0.22$) y negra ($1.60\text{g} \pm 0.22$). El contenedor de 800 ml presentó la mayor biomasa

seca total promedio ($3.15\text{g} \pm 0.18$) en comparación con el contenedor de 400 ml ($1.57\text{g} \pm 0.18$). y 420 ml ($2.96\text{g} \pm 0.18$). Por su parte, las plantas injertadas con el clon 5, registro el mayor peso seco promedio ($2.66\text{g} \pm 0.14$), apenas significativo para las plantas injertadas con el clon 1, 2, 3 y 4. Sin embargo, el peso seco promedio en plantas de pie franco (pf) fue significativamente superior ($4.54\text{g} \pm 0.25$) en los tres tipos de contenedores (Cuadro 6). Con respecto a la acumulación de materia seca, diversos estudios han revelado que el máximo se alcanza al 100% de intensidad de luz, disminuyendo ésta en una relación directa conforme disminuye la cantidad de luz recibida (Velázquez *et al.*, 1985). El peso (biomasa aérea y radical) de la planta tiene alta correlación con la supervivencia en campo, así el peso seco es un indicador efectivo cuando se relaciona el peso seco de la parte aérea con el peso seco del sistema radical (Vera, 1995). Pérez *et al.*, (2018) evaluó seis variedades de café (*C. arabica* L.) propagadas en seis colores de malla sombra, obteniendo mayor acumulación de biomasa seca en la malla sombra roja (2.07 g) y perla (1.95 g), en menor grado la malla sombra negra (1.58 g). Reyes-Landa *et al.*, (2018) menciona que el peso de materia en base seca presentan una diferencia estadística altamente significativa de acuerdo con el tipo de malla sombra evaluada, de acuerdo a su investigación las mallas de color perla (3.3 g) y roja (3.2 g) sobresalieron, con respecto a la malla sombra negra (2.3 g), concluyendo que el crecimiento de las plantas de café está determinado por la fotosíntesis, y debido a esto existe una relación lineal entre la biomasa total acumulada y la cantidad de radiación fotosintéticamente activa.

Cuadro 5. Valores de significancia ($p \leq 0.05$) de biomasa seca, para los tres factores y sus interacciones.

Nivel	Factor ó interacción	Biomasa Seca		
		Aérea	Raíz	Total
1	Clon	0.0001	0.0001	0.0001
	Contenedor	0.0001	0.0001	0.0001
	Malla sombra	0.0016	0.0005	0.0006
2	Contenedor + clon	0.6774	0.2002	0.5758
	Malla sombra + Clon	0.7016	0.0001	0.0014
	Malla sombra + Contenedor	0.0013	0.0005	0.0004
3	Malla sombra + contenedor + clon	0.1794	0.0962	0.2285

Cuadro 6. Biomasa seca acumulada en plantas de café injertadas a los once meses de edad.

Factor	Biomasa Seca		
	Aérea (g)	Raíz (g)	Total(g)
C1	1.37 ± 0.12 ^{bc}	0.83 ± 0.14 ^b	2.21 ± 0.25 ^{bc}
C2	1.07 ± 0.12 ^c	0.71 ± 0.14 ^b	1.79 ± 0.25 ^c
C3	1.32 ± 0.12 ^{bc}	0.76 ± 0.14 ^b	2.08 ± 0.25 ^{bc}
C4	1.21 ± 0.12 ^c	0.87 ± 0.14 ^b	2.09 ± 0.25 ^{bc}
C5	1.57 ± 0.12 ^b	1.09 ± 0.14 ^b	2.66 ± 0.25 ^b
pf	1.95 ± 0.12 ^a	2.59 ± 0.14 ^a	4.54 ± 0.25 ^a
Cont. 400 ml	0.95 ± 0.09 ^c	0.61 ± 0.11 ^c	1.57 ± 0.18 ^b
Cont. 420 ml	1.78 ± 0.09 ^a	1.18 ± 0.11 ^b	2.96 ± 0.18 ^a
Cont. 800 ml	1.52 ± 0.09 ^b	1.63 ± 0.11 ^a	3.15 ± 0.18 ^a
Ms. Negra	1.01 ± 0.10 ^c	0.58 ± 0.12 ^c	1.60 ± 0.22 ^c
Ms. Perla	1.39 ± 0.10 ^b	1.12 ± 0.12 ^b	2.51 ± 0.22 ^b
Ms. Roja	1.84 ± 0.10 ^a	1.72 ± 0.12 ^a	3.57 ± 0.22 ^a

^{abc} Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Sobrevivencia de plantas

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas para los factores clon ($P=0.0008$), contenedor ($P=0.0339$); y para la interacción malla sombra x contenedor x clon ($P=0.0174$). El porcentaje de sobrevivencia fue mayor en la malla sombra roja ($48\% \pm 0.04$), con respecto a las mallas sombra perla ($44\% \pm 0.04$) y negra ($44\% \pm 0.04$). El contenedor de 420 ml presentó un porcentaje de sobrevivencia superior ($51\% \pm 0.03$), en comparación con los contenedores de 800 ml ($41\% \pm 0.03$) y 400 ml ($45\% \pm 0.03$), en los tres tipos de malla sombra. Los clones C5 ($51\% \pm 0.04$) y C3 ($47\% \pm 0.04$) tuvieron porcentajes de aprovechamiento superiores en comparación con los otros clones, sin embargo pie franco ($58\% \pm 0.04$) es superior a los clones. La triple interacción malla sombra x contenedor x clon, muestra el efecto asociado de cada una de los factores en el porcentaje de sobrevivencia. La interacción clon C5 y contenedor de 420 ml en la malla sombra negra ($75\% \pm 0.09$) fue superior para todas las interacciones (Figura 15). En general, el número de plantas promedio que llegaron al final del experimento para cada factor evaluado estuvo por debajo del 50 % de un total de 1080 plantas al inicio de la investigación. En particular, los clones C3 y C5 alcanzaron los mayores valores de sobrevivencia en los tres tipos de contenedores y los tres colores de malla sombra. El comportamiento del genotipo de los clones de robusta en asociación con las condiciones climatológicas de humedad relativa y temperatura fueron determinantes para la sobrevivencia de las plantas de café a los once meses de edad.

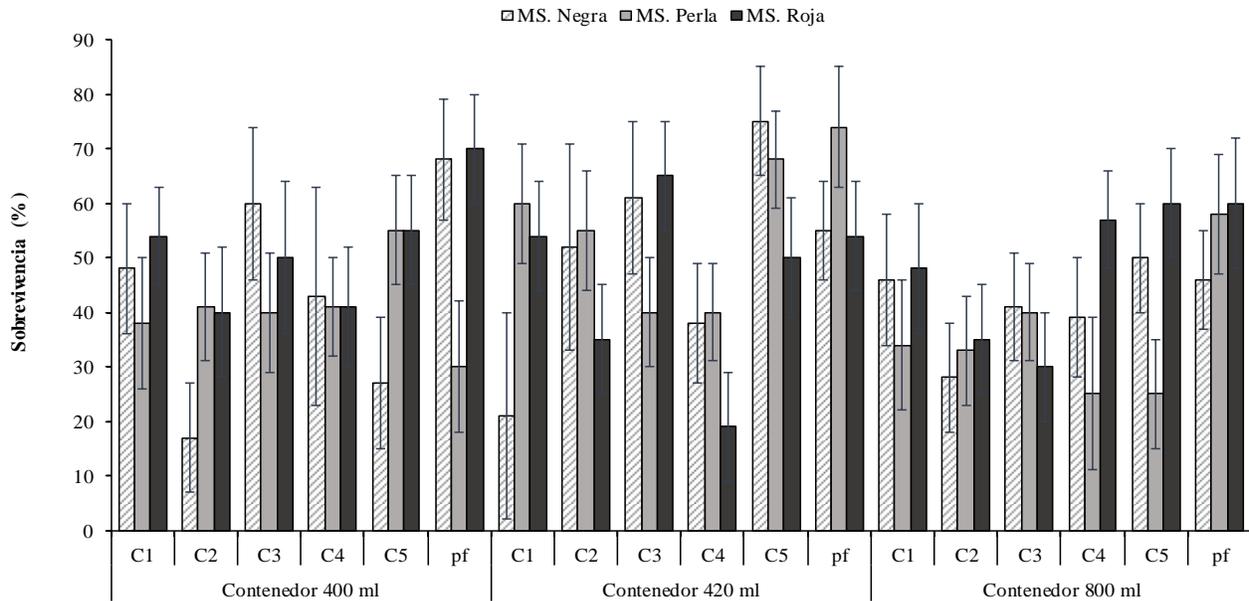


Figura 14. Porcentaje de sobrevivencia de plantas de café var. Oro Azteca injertadas en cinco clones de café robusta, a los once meses de edad, bajo diferentes colores de malla sombra y tamaño de contenedores.

Primer par de ramas primarias o primera “cruz”.

El número de plantas promedio, que obtuvieron el primer par de ramas primarias a los once meses



de edad, fue superior en la malla sombra roja (44 %), a diferencia de la malla sombra perla (34 %) y negra (21 %). Esta variable fue mayor en el contenedor de 420 ml (41%) en comparación con los contenedores de 800 ml (30 %)y 400 ml (29%). Los clones C5 (var. Nemaya) (42 %)y C3 (36 %) fueron superiores a los otros clones, pero fueron superados por las plantas de pie franco (50 %) (Figura 17).

Figura 15. Planta injertada de once meses con “primera cruz”, en contenedor de 420 ml.

La emergencia del primer par de ramas primarias o “primera cruz”, a partir del séptimo u octavo mes, es un indicador fisiológico de que la planta esta en condiciones de ser transplantada a campo, llevarse tardíamente aumenta el estrés por efectos del trasplante, las plantas pueden desarrollar un sistema radical atrofiado y están más propensas al volcamiento y a la proliferación de chupones (Arcila, 2000). Es a partir del momento de la siembra en el sitio definitivo, que la planta comienza la formación de las ramas que van a ser responsables de la producción (Arcila *et al.*, 2001). La variedad Oro Azteca, en la etapa de vivero tiene excelente crecimiento, con plantas vigorosas, seis meses después del trasplante a bolsas alcanzan el desarrollo apropiado para poder sembrarlas al terreno definitivo (Zamarripa y López, 2013).

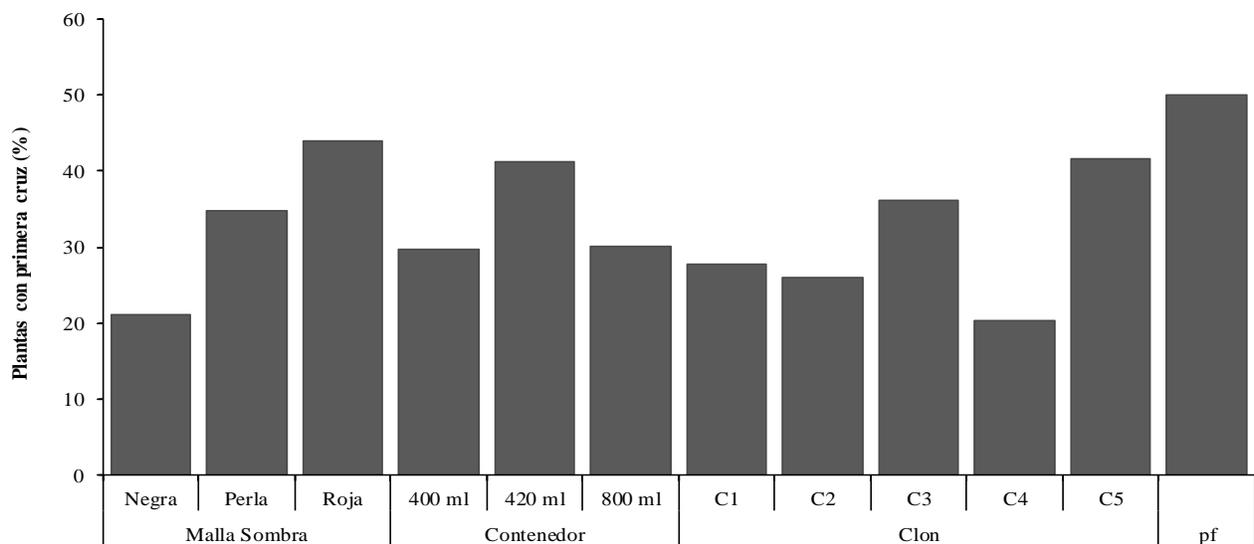


Figura 16. Porcentaje de plantas que llegaron a la primera cruz, de acuerdo al efecto independiente del color de malla sombra, tamaño de contenedor y tipo de clon.

Correlación entre variables

Los datos del Cuadro 7 muestran que las variables de biomasa fresca y seca (aérea, raíz y total), presentan una correlación altamente significativa ($P \geq 0.8$). La sobrevivencia y las plantas que llegaron a la primera cruz ($P=0.879$) presentan una alta correlación puesto que a un mayor número de plantas con vida, existe una mayor posibilidad de que hayan llegado a la primera cruz; así

también biomasa seca (P=0.860) y fresca (P=0.859) aérea, y plantas con primera cruz estan fuertemente correlacionadas, siendo que aquellas plantas que llegaron a la primera cruz por consecuente tuvieron una mayor producción de biomasa seca y fresca (aérea, raíz y total); por su parte el vigor de la planta esta altamente correlacionado con la biomasa aérea fresca (P=0.860) y seca (P=0.840), y la plantas con primera cruz (P=0.861), con esto podemos inferir que el vigor de la planta al ser una variable de tipo cualitativa esta relacionado con variables de tipo cuantitativo que permite darle un valor mayor a las características de la planta. Sin embargo, la respuesta en radiación fotosintéticamente activa no fue significativa en correlación con otras variables.

Cuadro 7. Correlación de biomasa fresca y seca acumulada, y otras variables evaluadas.

Variables	BF Aérea	BF Raíz	BF Total	BS Aérea	BS Raíz	BS Total	Sobrevivencia	1ª Cruz	RFA
BF Aérea	1	0.782*	0.902*	0.982*	0.809*	0.903*	0.719*	0.859*	0.174
BF Raíz		1	0.974*	0.829*	0.984*	0.962*	0.561	0.686*	0.132
BF Total			1	0.928*	0.973*	0.992*	0.648*	0.785*	0.154
BS Aérea				1	0.851*	0.937*	0.712*	0.860*	0.199
BS Raíz					1	0.981*	0.609*	0.743*	0.057
BS Total						1	0.669*	0.813*	0.112
Sobrevivencia							1	0.879*	0.059
1ª Cruz								1	0.213
RFA									1

BF: Biomasa fresca; BS: Biomasa seca; RFA: Radiación fotosintéticamente activa. *p≤0.05.

Las variables de biomasa fresca aérea y radical, y biomasa seca aérea y radical, presentan una alta correlación entre ellas mismas (Cuadro 7). De acuerdo a Rodríguez (2008), la producción de biomasa es importante debido a que refleja el desarrollo de la planta en vivero. Una relación igual a uno, significa que la biomasa aérea es igual a la subterránea; pero si el valor es menor a uno, entonces la biomasa subterránea es mayor que la aérea; al contrario, si el valor es mayor a uno, la biomasa aérea es mayor que la subterránea por lo que una buena relación debe fluctuar entre 1.5 y 2.5 ya que valores mayores indican desproporción y la existencia de un sistema radical insuficiente

para proveer de energía a la parte aérea de la planta; el cociente de ésta relación no debe ser mayor a 2.5, particularmente cuando la precipitación es escasa en los sitios de plantación (Thompson, 1985). Una planta de buena calidad, entre otras características, debe tener un sistema radical fibroso y un valor alto del cociente biomasa de raíz/ biomasa aérea (García, 2007).

2.4. Conclusiones

La intensidad de luz, según el color de malla sombra, tiene un efecto positivo en la producción de biomasa fresca y seca de plantas de café en vivero, presentándose plantas con mayor acumulación de biomasa fresca y seca a intensidades medias luz en malla sombra color rojo (35%). Sugiriendo que niveles intermedios de sombreado, sin llegar a valores de alta o baja intensidad de luz, favorecen la producción de biomasa. Permitiendo así también un mayor porcentaje de sobrevivencia y mayor número de plantas con primer par de ramas primarias. La mejor relación biomasa fresca total y biomasa seca total fue para la interacción malla sombra roja, contenedor de 800 ml, y clones C5 (variedad Nemaya) y C1 (95-02). El contenedor de 800 ml permitió plantas con mayor producción de biomasa fresca y seca a los once meses. Sin embargo, para el porcentaje de sobrevivencia y el número de plantas con primera cruz, los valores más altos fueron en el contenedor de 420 ml. Los clones C1 (95-02), C4 (97-20) y C5 (var. Nemaya), tuvieron la mayor producción de biomasa seca y fresca, así como para el porcentaje de sobrevivencia, número de plantas con primera cruz.

2.5. Literatura citada

- Acosta B.; R. y Guerra G.; G. A. 2014. Café con aroma de sustentabilidad: análisis y prospectiva económica. Universidad Veracruzana. México. 332 p.
- Alados, I.; Foyo Moreno, I. & Alado Arboledas, L. 1996. Photosynthetically active radiation: measurements and modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*. 78:121-131.
- Anzueto F., Bertrand B., Dufoer M. 1995. Nemaya Desarrollo de una variedad porta-injerto resistente a los principales nematodos en América Central. *Boletín IICA- PROMECAFE*. Guatemala. pp:13-15.
- Anzueto F., Eskes A., B. Sarah J., L. Decazy B. 1991. Recherche de la resistance a *Meloidogyne* spp. dans une collection de *Coffea arabica* in Colloque scientifique international sur le café. San Francisco, California Estados Unidos, ASIC. pp: 534 - 543.
- Araujo, W. L.; Dias, P. C.; Moraes, G.A.B.K.; Celin, E. F.; Cunha, R. L.; Barros, R. S.; Damatta, F. M. 2008. Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. *Plant Physiol. Biochem*. 46(10): 884-890.
- Arcila P., J. 2000. Evite errores en el manejo de almácigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 274:1-8.
- Arcila P., J.; Buhr, L.; Bleiholder, H.; Hack, H.; Wicke, H. 2001. Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café *Coffea* sp. *Boletín Técnico Cenicafé* No. 23:1-31.
- 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.
- Atzmon N., E. Solomon, O. Reuveni and J. Riov. 1994. Lateral root formation in pine seedlings. *Trees* 8: 268-277.
- Ayala-Tafoya, Felipe, Zatarain-López, Daniela María, Valenzuela-López, Marino, Partida-Ruvalcaba, Leopoldo, Velázquez-Alcaraz, Teresa de Jesús, Díaz-Valdés, Tomás, & Osuna-Sánchez, Jesús A.. 2011. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 403-410. Recuperado en 17 de octubre de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018757792011000400403&lng=es&tlng=es.

- Bertrand B., Peña M., X. Anzueto F., Cilas. C; Etienne, H; Anthony, F; Eskes, A. B. 2000. Genetic study of *Coffea canephora* coffee tree resistance to *Meloidogyne incognita* nematodes in Guatemala and *Meloidogyne* spp. nématodes in El Salvador for selection of root stock varieties in Central América. *Euphytia*. pp:1-8, <https://doi.org/10.1023/A:1003931918187>
- 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.
- Castilla, P.N. 2007. Invernaderos de plástico, Tecnología y manejo. 2ª edición. España. 462 p.
- Castillo P., G. 2011. Plan de innovación de la cafecultura en el estado de Veracruz. SAGARPA, COFUPRO, INCA RURAL, AMECAFÉ, SISTEMA PRODUCTO CAFÉ CRUO-UACH. Huatusco, Ver., Mex. 144 p.
- Colorado L., J. L. 2001. Evaluación preliminar de variedades de *Coffea arabica* L. injertadas sobre patrón de *Coffea canephora* P. y sus similares propagadas por semilla en suelos con presencia de Nematodos en Zentla y Huatusco, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Córdoba, Veracruz. 109 p.
- Decoteau, D. R., H. A. Hatt, J. W. Kelly, M. J. McMahon, N. Rajapakse, R. E. Joung, and R. K. Pollock. 1993. Applications of photomorphogenesis research to horticultural systems. *Hortscience* 28: 974-1063.
- Dimitrijevič, M.; Martinov, M. and Grafiadellis, M. 1999. Daily and monthly variations in the light transmission of four greenhouse types. *Acta Horticulturae*. 486 :75-82.
- Escamilla P., E. y A. Zamarripa C. 2016. Variedades de café en México. SAGARPA. COFUPRO. CENACAFÉ. Universidad Autónoma Chapingo. Xalapa, Ver. México. 43 p.
- FIRA (Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura). 2016. Panorama agroalimentario. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. 36 p.
- Flores M., H. 2015. Descripción y caracterización de cuatro clones de café robusta (*Coffea canephora* P.) con potencial en resistencia a nematodos en el Mpio. de Tlacotepec de Mejía, Ver. Tesis profesional en ingeniería en agronomía. Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Veracruz. 45 p.
- Franck, N.; Vaast, P. 2009. Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. *Trees*. (Germany). 23(4):761-769.

- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana), offset Larios, 4a. ed., México. 49 p.
- García M., A. 2007. Importancia de la calidad del plantín forestal. In: XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA. 10 p. In: <http://www.inta.gov.ar/concordia/info/Forestales/contenido/pdf/2007/312.II.GARCIA.pdf> (Consultada: 19 de Septiembre de 2018).
- González, K. V. 1995. Tipos de envases en viveros forestales. In: Viveros forestales. Publicación especial No. 3. Centro de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP-SAGARPA. México, D. F. pp. 26-36.
- Haase D., L. 2006. Morphological and physiological evaluations of seedling quality. In: Riley, L. E., R. K. Dumroese and T. D. Landis (coords.). 2007. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 2006. RMRS-P-50. USDA, Forest Service. Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO, USA. pp: 3-8.
- Julca O., A.; R. Borjas V.; S. Bello A.; Y. Ladera M.; D. Rebaza F. 2015. El crecimiento del café var. Caturra Roja y su relación con la aplicación de abonos orgánicos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL. Vol. 2. (2): Pp. 75-89.
- Marín, G. 2012. Producción de Cafés Especiales. (ser. Programa Selva Central), Manual Técnico. p. 46, ISBN 978-612-4043-41-3.
- Oren-Shamir, M., E. E. Gussakovsky, E. Spiegel, A. Nissim-Levi, K. Ratner, R. Ovadia, Y. E. Giller, and Y. Shahak. 2001. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. J. Hortic. Sci. Biotech. 76: 353-361.
- Paz G., A. y E. Escamilla P. 2016. Manual de propagación de cafetos injertados. SAGARPA. COFUPRO. CENCAFÉ. Universidad Autónoma Chapingo. Xalapa, Ver. México. 31 p.
- Pérez R.; A. U. 2018. Desarrollo fenológico de plantas de seis variedades de Café (*Coffea arabica* L.) en condiciones de vivero, con diferentes colores de malla sombra. Tesis de ingeniería agrícola. Universidad Nacional Autónoma de México. Estados de México. 103 p.
- Plan de Innovación en la Cafeticultura de México. 2011. Fecha de consulta el 30 de enero del 2018. En: <http://docplayer.es/12578740-Plan-de-innovacion-en-la-cafeticultura-de-mexico.html>

- Raven, P. H.; Evert, R. F.; Eichhorn, S.E. 1999 Biology of plants. 6. ed. New York, Freeman Publishers Co., 1999. 944 p.
- Retamates, J. B., J. M. Montecino, G. A. Lobos, and L. A. Rojas. 2008. Colored shading nets increase yields and profitability of highbush blueberries. *Acta Hortic.* 770: 193-197.
- Reyes-Landa, D.; Mercado-Mancera, G.; Escamilla-Prado, E.; Robledo-Martínez, J. D. 2018. Innovaciones tecnológicas en la producción de planta de café (*Coffea arabica* L.) *Agroproductividad.* 11 (4):74-79.
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Universidad Autónoma Chapingo. Mundi Prensa México. 156 p.
- Santiago T., Olga.; Vargas H., J. J.; Aldrete A.; López U. J.; & Fierros G. A. M.; 2015. Sustratos y tamaños de contenedor en el desarrollo de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales,* 6(31), 94-113.
- Santos, C. M.; Segura, A. M.; López, Ñ. y Eduardo, C. 2010. Análisis de Crecimiento y Relación fuente-demanda en cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Municipio de Zipaquirá (Cundinamarca-Colombia)”. *Revista Facultad Nacional de Agronomía.* 63 (1): 5253-5266.
- Secretaría de Economía. 2017. Consulta realizada en el Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI) el día 18 de mayo de 2017. <http://www.economia-snci.gob.mx/>
- Shahak, Y., E. E. Gussakovsky, E. Gal, and R. Ganelevin. 2004. Colornets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Hortic.* 659:143-151.
- Shahak, Y., E. Gal, Y. Offir, and D. Ben-Yakir. 2008. Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Hortic.* 797: 75-80.
- Thompson, B. 1985. Seeling morphological evaluation. What can you tell by looking. In: *Evaluating seeling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test.* M. L. Durges. Forest Research Laboratory. Oregon State University. 59-65.
- Tucker, G.F. and W.H. Emmingham. 1977. Morphological changes in leaves of residual western hemlock after clear and shelterwood cutting. *For. Sci.* 23 (2): 195-203.
- Valera, D., F. Molina y J. Gil. 2001. Las mallas como técnica de control climático en invernaderos. *Vida Rural* 8: 50-52.

- Valladares, F.; Chico, J.; Aranda, I.; Balaguer, L.; Dizengremel, P.; Manrique, E. y Dreyer, E. “The greater seedling high-light tolerance of *Quercus robur* over *Fagus sylvatica* is linked to a greater physiological plasticity”. *Trees*, vol. 16, no. 6, agosto de 2002, pp. 395-403, ISSN 0931-1890, 1432-2285, DOI 10.1007/ s00468-002-0184-4.
- Velázquez, M.; A. M. R. Keyes Y G. Zarate de L. 1985. Influencia de la intercepción de luz solar en el crecimiento de la regeneración artificial de *Pinus hartwegii* Lindl. En Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. pp. 579-594.
- Vera C., J. A. G. 1995. The influence of antidesiccants on field performance and physiology of 2+0 ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl.) seedlings. Ph.D. Thesis. Oregon State University. Corvallis, OR, USA. 134 p
- Zamarripa C., A; Méndez L., M. Vázquez M., A. Contreras J., A. Fernández R. 1995. Oro Azteca: una nueva variedad de café con resistencia a la roya anaranjada *Hemileia vastatrix* Berk. In: Tercer Simposio Internacional de Café. Xicotepec de Juárez, Puebla, México. s/p
- Zamarripa, C. A. y López, M. R. 2013. Oro Azteca: Variedad de café con resistencia a la roya anaranjada. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Desplegable para productores No. 18.

CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

La hipótesis general indica que: Las plantas de café formadas con portainjertos de *Coffea canephora* P. e injerto de *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca, bajo diferentes mallas sombra y tamaño de contenedores, permitirá obtener plantas tolerantes a nematodos y con diferencias en crecimiento. De acuerdo a los resultados, la evaluación del crecimiento de plantas de café formadas con clones portainjertos de *C. canephora* e injerto de *C. arabica* var. Oro azteca, permitió identificar los genotipos C4 (97-20) y C5 (var. Nemaya) con mayor crecimiento y acumulación de biomasa foliar y radical, en el contenedor de 420 ml y la malla sombra color rojo, lo cual permitió obtener plantas de calidad, con mayor tolerancia a nematodos y a la roya del café. Por lo anterior la hipótesis general no se rechaza.

Contrastación de las hipótesis específicas:

H01: El trabajo con clones de *C. canephora* P., permitirá la identificación de portainjertos tolerantes a nematodos, compatibles con *C. arabica* L. y de mayor crecimiento en condiciones de vivero tecnificado. El desarrollo de plantas injertadas con genotipos clones de *C. canephora*, permitió identificar a él clon C4 (97-20) y C5 (var. Nemaya) como los materiales con mayor crecimiento en los tres colores de malla sombra y los tres tamaños de contenedor, por lo que la hipótesis no se rechaza.

H02: El crecimiento de las plantas de café injertadas, dependerá de las mallas sombras usadas y su efecto sobre la radiación fotosintéticamente activa. De acuerdo a los resultados obtenidos, donde el crecimiento fue diferente y estadísticamente significativo entre los colores de malla sombra, siendo la de color rojo con 35 % de sombra y una radiación fotosintéticamente activa de 299.82

$\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, la que tuvo un mayor efecto sobre el crecimiento de las plantas de café. Por lo tanto, la H02 se rechaza parcialmente.

H03: El tamaño de los contenedores pueden afectar significativamente el crecimiento de las plantas injertadas. Los contenedores tuvieron efecto sobre el crecimiento de las plantas injertadas de café, el contenedor de 420 ml en general permitió mayor crecimiento, posiblemente por su menor restricción del espacio de crecimiento y mejor aprovechamiento del agua y de la radiación solar, por lo anterior la hipótesis (H03) no se rechaza.

CONCLUSIONES GENERALES

La evaluación del crecimiento de plantas de café formadas con portainjertos de *Coffea canephora* P. e injerto de *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca, utilizando el injerto hipocotiledonar con el método inglés simple, permitió identificar a los clones C2 (97-10), C3 (97-17), C4 (97-20), y C5 (var. Nemaya) con un prendimiento superior al 95%.

La malla sombra roja con 35% de sombra, permitió plantas con mayor crecimiento (altura, número de hojas, área foliar, diámetro del tallo) y mayor acumulación de biomasa fresca y seca (aérea y radical), lo que tiene relación con la selectividad de la radiación solar y los cambios en las temperatura y humedad relativa.

Las características y diseño del contenedor de 420 ml, con una menor restricción del espacio de crecimiento y mejor aprovechamiento del agua y de la radiación solar, permitió mayor crecimiento de las plantas, mayor porcentaje de sobrevivencia y número de plantas con primera cruz.

Los clones C1 (95-02), C4 (97-20) y C5 (var. Nemaya), fueron superiores para las variables de crecimiento y producción de biomasa fresca y seca (aérea y radical), así como para el porcentaje de sobrevivencia y número de plantas con primera cruz.

La alternativa de producción de plantas injertadas de café en condiciones de vivero tecnificado, permitió obtener plantas de calidad en un periodo de 11 meses, esta tecnología puede contribuir a la mejora del agroecosistema café.

RECOMENDACIONES GENERALES

Se sugiere continuar evaluando el desarrollo de las plantas injertadas de café en vivero, con los clones C4 (97-20) y C5 (var. Nemaya), estableciéndose a una altitud por debajo de los 1000 msnm, en condiciones climatológicas más cálidas, que permitan una acumulación constante de biomasa aérea y radical.

Es necesario continuar con la evaluación del crecimiento plantas de café injertadas, formadas con los clones portainjerto, C4 (97-20) y C5 (var. Nemaya), e injertos tolerantes a roya de *C. arabica* var. Oro Azteza, que permita conocer su comportamiento en campo y tolerancia a nematodos.

Es importante concluir el estudio con los productores de café, sobre el uso de las plantas injertadas de café, así como la adopción de tecnología en la propagación de plantas en viveros, en la zona de Huatusco, Veracruz.

ANEXOS

Anexo 1. Valores de significancia ($p \leq 0.05$) para las variables: Altura (Al), número de hojas (N.h.), área foliar (A.f.), diámetro del tallo (D.t.), primera cruz (P.c.), y radiación fotosintéticamente activa (R.F.A.), para los tres factores y sus interacciones.

Nivel	Factor ó interacción	Al.	N.h.	A.f.	D.t.	P.c.	R.F.A
1	Clon	0.0001	0.0001	0.0011	0.0001	0.0001	0.959
	Contenedor	0.0074	0.0001	0.0005	0.0001	0.0001	0.0003
	Malla sombra	0.0023	0.0098	0.0333	0.04	0.0001	0.0001
	Tiempo	0.0001	0.0001	--	--	--	--
2	Contenedor + clon	0.0001	0.01	0.7992	0.3669	0.0001	0.7846
	Malla sombra + Clon	0.0066	0.6781	0.4714	0.7686	0.0001	0.5725
	Malla sombra + Contenedor	0.4376	0.0001	0.0402	0.0002	0.0001	0.0001
	Clon + tiempo	0.0001	0.0001	--	--	--	--
	Contenedor + Tiempo	0.0001	0.0001	--	--	--	--
	Malla sombra + Tiempo	0.0001	0.0001	--	--	--	--
3	Malla sombra + Contenedor + Clon	0.0001	0.1097	0.8573	0.0004	0.6729	0.9692
	Malla sombra + Clon + Tiempo	0.9969	0.9593	--	--	--	--
	Malla sombra + Contenedor + Tiempo	0.0001	0.0001	--	--	--	--
	Contenedor + Clon + Tiempo	0.0001	0.9917	--	--	--	--
4	Malla sombra + Contenedor + Clon + Tiempo	0.0001	0.4489	--	--	--	--

Anexo 2. a) Colecta de frutos de los cinco clones *Coffea canephora* en parcela experimental del Sr. Víctor, en el municipio de Tlacotepec de Mejía, Veracruz. b, c) Despulpe, lavado y secado de las semillas de los clones de *Coffea canephora*. d, e, f) Preparación de camas para la siembra de semilla de *C. canephora* y *C. arabica*.



Anexo 3. a, b, c, d) Proceso de siembra de semillas de los cinco clones de *C. canephora* y *C. arabica* variedad Oro Azteca, con tres meses de diferencia, para la producción de cafetos injertados.



Anexo 4. a) Preparación del sustrato a base de agrolita, PSD, peat moss, lombricomposta y micorrizas. b, c, d) Llenado de tubetes y charolas con sustrato, y acomodo de contenedores dentro de los módulos de mallas de colores.



Anexo 5. a) Selección de plántulas de *C. canephora* en fase de soldadito, para portainjerto. b) Injertadores especializados en el proceso de injertos de café, haciendo los respectivos cortes al injerto y portainjerto. c, d) Siembra en reposadero de las plántulas recién injertadas, en grupos de diez e identificadas según el número de clon.



Anexo 6. a) Selección de plantas injertadas en reposadero, con óptimo prendimiento para llevar a contenedor. b) Plantas injertadas seleccionadas próximas a transplantar en contenedor. c) Transplante de plantas injertadas en contenedor de 400 ml. d) Transplante de plantas, pie franco de *C. arabica* variedad Oro Azteca, en contenedor de 400 ml.



Anexo 7. a, b) Plantas injertadas y de pie franco, recién transplantadas, en contenedores de 400, 420 y 800 ml. c, d) Plantas injertadas y de pie franco, a los 30 días de siembra, en contenedores de 400, 420 y 800 ml.



Anexo 8. a, b) Aplicación de caldos minerales, sulfocálcico, bordelés y visosa; alternando el uso cada 15 días para evitar resistencia de hongos y otros patógenos. c) Desbrosamiento dentro de los módulos de colores, para el control de arvenses y humedad. d) Colocación de malla térmica (Agribond) en los tres módulos de mallas de colores.



Anexo 9. a) Cubierta de malla térmica (Agribond) en los tres módulos con mallas de colores, para protección el aislamiento de temperaturas ambientales cercanas a los 0°C y humedad relativa baja en los meses de diciembre y enero. b) Capacitación técnica en el uso del sistema portátil digital (Modelo CID 340 Bio-science Inc. Washington, USA) para la medición de la Radiación fotosintéticamente activa. c) Medición de altura, con escuadra graduada, en plantas injertadas a los 30 días de trasplante. d) Medición de diámetro de tallo, en plantas injertadas a los once meses de edad.



Anexo 10. a) Evaluación de plantas injertadas y de pie franco, a los onces meses de edad. b, c) Evaluación de acumulación de biomasa (aéreo y raíz) en balanzas granatarias.



Anexo 11. Participación en el primer congreso mexicano de fisiología vegetal en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, con el cartel “Crecimiento de café variedad Oro Azteca injertado en *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner., bajo diferentes condiciones de sombra y contenedores, en Veracruz, México”.

CRECIMIENTO DE CAFÉ VARIEDAD ORO AZTECA INJERTADO EN *Coffea canephora* PIERRE EX A. FROEHNER., BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE SOMBRA Y CONTENEDORES, EN VERACRUZ, MÉXICO

Regulio Costello-Mendoza¹, Eliseo García-Pérez², Esteban Escamilla-Prado³, Jonathan Salinas-Ruiz⁴, Octavio Rulo-Rosado⁵
¹ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz; ² Universidad Autónoma Chapingo; ³ Centro Regional Universitario Oriente; ⁴ Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba; ⁵ coutino.braulio@colpos.mx

INTRODUCCIÓN:
 En México, las pérdidas en la producción cafetalera por nematodos del género *Meloidogyne* se van de 30 a 100% y por causa de este fitoparásito 50,000 ha de café están infectadas en el estado de Veracruz, lo que implica reducciones en el potencial productivo del orden del 30% (AMICAFE, 2012). Paz y Escamilla (2016), comentan que cafetales injertados sobre patrones de robusta y plantados en suelos altamente infestados por nematodos, los presentaron buena tolerancia superando en un 30% en producción a los no injertados. Por lo anterior, es necesario plantas injertadas de calidad para llevar a campo.

Objetivo:
 Evaluar el crecimiento de plantas de café (C. arabica L.) var. Oro Azteca, injertadas sobre cinco clones de *Coffea canephora* P., bajo diferentes mallas sombra y contenedores.

MATERIALES Y MÉTODOS:
 El estudio se realizó en el periodo de julio 2017 – abril 2018, en condiciones de invernadero en el Centro Regional Universitario de Oriente, en Huixtla, Veracruz. Se utilizó un diseño completamente al azar, con una estructura de tratamientos en parcelas subdivididas en el tiempo (SxTx) con cuatro repeticiones y una planta como unidad experimental.

Factores y niveles estudiados:

Factor	Nivel
Portainjerto Clon (C. canephora P.)	95-02 (C3), 97-24 (C2), 97-17 (C4), 97-30 (C4) var. Naimaya (C5)
Contenedor	Capacidad de 400, 400 y 800 ml
Malla sombra	Color negro con 50% de sombra, perlita con 55% de sombra y roja con 35% de sombra

Tipo de injertación:
 Injerto hipocotilífero: Plantas de café en estado juvenil.
 Método inglés simple

Diagrama: Injerto: *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca. Estado fisiológico: "Dormante" (20 días). Alimento productivo y con calidad en todo. Injerto con cinta Plangilim.

Portainjerto: Clon: *Coffea canephora* P. Clon. Estado fisiológico: "Vegativo" (185 días). Sistema radicular abundante y profundo, y tolerante a nematodos.

Fuente: Paz y Escamilla (2016).

RESUMEN Y DISCUSIÓN:

Porcentaje de preeminencia de injerto entre clones de *Coffea canephora* P. como portainjertos y *Coffea arabica* L. variedad Oro Azteca.

Altura de plantas de café var. Oro Azteca injertadas en cinco clones de café robusta.

Diámetro del tallo de plantas de café var. Oro Azteca, injertadas en cinco clones de café robusta.

Número de pares de hojas en plantas de café var. Oro Azteca, injertadas en cinco clones de café robusta.

Área foliar de plantas de café var. Oro Azteca, injertadas en cinco clones de café robusta.

El preeminencia de plantas usando el injerto hipocotilífero con el método inglés simple, fue superior al 90% en los clones C2, C3, C4, y C5. Castillo (2011), confirma que los pruebas de tolerancia y compatibilidad en portainjertos clones con la variedad Oro Azteca como injerto, son ampliamente satisfactorias.

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) para las variables de crecimiento, en los factores e interacciones. Los factores malla sombra roja, contenedor de 400 ml y el clon C3 presentaron los valores más altos para las variables altura de la planta (12.85 cm e 1.25), diámetro del tallo (12.66 mm e 0.20), número de pares de hojas (5.06 e 0.15) y área foliar (23.02 cm² e 2.95).

CONCLUSIÓN:
 La malla sombra roja con 35% de sombra, las características y diseño del contenedor de 400 ml permitió mayor crecimiento de las plantas injertadas de café. Los clones C3 (var. Naimaya) y C4 (97-20) fueron superiores en la mayoría de las variables de crecimiento, en los tres tamaños de contenedores. Con esta tecnología en suertes, es posible obtener plantas injertadas, de café de calidad y tolerantes a nematodos a los 10 meses.

LITERATURA CITADA:
 Castillo, P. G. 2011. Clones de café robusta tolerantes a la coque de la raíz. Ficha tecnológica sistema productivo café SAGARPA, inst. Campo experimental Itzapa, México, Veracruz.
 AMICAFE (Asociación Mexicana de la Cadena Productiva de Café). 2012. Plan integral de promoción del café. AMICAFE. México. 61 p.
 Paz G., A. y E. Escamilla P. 2016. Manual de propagación de cafetales injertados. SAGARPA, CDRUPRO. CHANGAP, Universidad Autónoma Chapingo. México, 1er. México. 31 p.

Palabras clave:
 A Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Centro Regional Universitario Oriente de la Universidad Autónoma Chapingo y al Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

