



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

**Desarrollo fenológico de plantas de seis
variedades de Café (*Coffea arabica* L.) en
condiciones de vivero, con diferentes colores de
malla sombra**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

ADRIÁN URIEL PÉREZ ROSAS

ASESOR: Dr. ESTEBAN ESCAMILLA PRADO

COASESOR: Dr. GUSTAVO MERCADO MANCERA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES - CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

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

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

Desarrollo fenológico de seis variedades de Café (Coffea arabica L.) en condiciones de vivero, con diferentes colores de malla sombra

Que presenta el pasante: ADRIÁN URIEL PÉREZ ROSAS
Con número de cuenta: 41201694-5 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Agrícola

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 29 de agosto de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.E. Eiva Martínez Holguín	
VOCAL	M.C. Vicente Silva Carrillo	
SECRETARIO	Dr. Gustavo Mercado Mancera	
1er. SUPLENTE	Dra. Gloria Herrera Vázquez	
2do. SUPLENTE	M.C. Juan Roberto Guerrero Agama	

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

Agradecimientos

Agradezco a Dios por todo el amor que ha manifestado en mi vida a través de las personas que me rodearon a lo largo de éste camino.

A mi madre Elvia Rosas Barrios, por tu amor incondicional y siempre motivarme a dar lo mejor de mí, esforzándote para darnos lo mejor a mis hermanos y a mí, te amo mami.

A mi padre José Adrián Pérez Ríos por ser el sostén de la familia, darme la oportunidad de seguir con el estudio, así como transmitirme tu voluntad de ser una mejor persona y profesional. Por amarme a tu manera.

A mis hermanos Ulises Arturo y Jorge Eduardo por ayudarme en éste proceso y existir en mi vida, aunque no se los diga frecuentemente... los amo.

A mi abuelita Domi, a mis tías y tíos, Ciry, Vero, Carmen, José, Memo, Pedro, por apoyarme y darme ánimos, transmitirme su amor, lo más importante para todo ser humano.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por ser parte de mi formación académica y brindarme las herramientas para crecer y desarrollarme en todos estos años de carrera.

Al Centro Regional Universitario de Oriente (CRUO) de la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme el apoyo, la confianza y disposición para realizar mi trabajo de tesis.

Al Dr. Gustavo Mercado Mancera por su confianza, por creer en mí, por su apoyo y comprometerse con mi sueño, no existen palabras para expresar mi total gratitud y a los hechos me remito. Dios lo bendiga siempre.

Al Dr. Esteban Escamilla por abrirme las puertas y permitirme trabajar con usted, asesorarme, orientarme y atenderme a pesar de sus múltiples ocupaciones. Por su confianza y compartirme de sus conocimientos.

A la Ing. Dalia Reyes y familia, por su apoyo, su confianza, sus consejos y su valiosa amistad, el enorme corazón que tuvieron al hacerme sentir como en casa.

Al M.C. Víctor M. Cisneros Solano y al Dr. Emiliano Pérez Portilla, del CRUO por brindarme su apoyo, valioso tiempo y amistad durante mi estancia.

Al personal del CRUO, especialmente para Don Genaro Arias, el Tec. Alejandro Paz y Primo por ser parte importante en el experimento y toma de datos, así como a Don Cupertino, Don Noé, Don Chikis, Ángel y Don Pepe, por la amistad que me brindaron día con día en el vivero.

A mis compañeros Portoneros, Nico, Carlos, Martin, Jacobo, Ivette, Gabriel, Berna y Toño por hacer más alegres mis días en la pensión, así como a Doña Concha, Doña Chio, Jeny, Chucho, Quique y Omar, por quererme tanto y cuidarme como si fuese de la familia. Mi amigo el marinero Arturo Berrier.

A mi compas Francisco Toledo, Braulio Coutiño, Paola Mendoza y Monse Tuxtla, por su amistad, alegría y apoyo hacia mi persona, todos esos momentos divertidos que pasamos en Huatusco.

A mis amigos de México por mandarme sus mejores vibras y deseos optimistas, motivándome a seguir luchando por mis sueños, hacerme reír a distancia cuando más lo necesitaba, Erick, Steve, Javi, Diego, Sánchez, Jesús Manuel, Zaira, Pau, Marilyn, Sharon, Esperanza, Carmen, Paola, Sam, Alondra, Michell, Guille, Angy.

A mi profesor, amigo y maestro Arturo Meza, por sus consejos, por su confianza, por su amor, por ser amigo y mostrarme que podía lograr cualquier cosa con trabajo, disciplina, meditación y esfuerzo, no hay imposibles teniendo FE.

A todas esas personas que confiaron en mí a pesar de ser un desconocido, que me brindaron su apoyo, hospitalidad, amistad, servicio, fuerza y motivación para concluir una etapa más en mi vida, siempre me apoyaron de una u otra forma, por los que estuvieron y por los que ya no están.

DEDICATORIA

“Qué sería de mí si no me hubieras alcanzado, que sería de mí si no me hubieras perdonado... Si no fuera por tu gracia y tu luz, gracias Señor...”

Con cariño para gloria de Dios y todas las personas que puso en mi camino para la culminación de este objetivo.

A mis padres, que me lo han dado todo, la vida, educación, valores y sobre todo el amor incondicional, apoyándome en mis decisiones, brindarme la libertad y confianza, son un ejemplo para mí y, a quienes más amo en el mundo, me inculcaron a no rendirme en ante las dificultades, motivándome cada día a llegar más alto, esto apenas comienza.

A mis hermanos Arturo y Jorge, quienes me han apoyado, alentándome a seguir adelante e inspirarme en ir por más logros, los amo y va por ustedes.

A mi abuelita Domitila Barrios, con todo mi cariño, amor y respeto, sus consejos, apoyo, buen sentido del humor, fueron mi inspiración, gracias por preocuparse por mí y estar al pendiente de la familia, la amo abuelita.

A mis tías, tíos, primos, primas, que siempre me hicieron llegar su amor, su apoyo, buenos deseos, esperanzas y orgullo, que me estimularon para dar lo mejor de mí y nunca sentirme solo. Gracias por tanto cariño, lo logramos!

A mis Amigos de primaria, secundaria, prepa, universidad y a los que fui haciendo en el sendero de la vida, que han sido la parte de mi alegría, de mi optimismo, confianza, dedicación, perseverancia, con quienes comparto mis alegrías, tristezas, logros, fracasos, penas y glorias, agradecido siempre por estar conmigo.

A MFCJ, donde me acerque a Dios, mi espiritualidad fue una fortaleza para cada mañana disfrutar de la vida, a cada uno de mis amigos emefecistas por brindarme su apoyo cuando comencé esta aventura, por hacerme sentir querido a pesar de la distancia, y sus oraciones por mí, les llevo en el corazón, Javi, Isa, Tere, Ali, tíos Mari y Fer, Génesis, Corintios, las Criaturas del Señor, Dani, Bola, Karime, Chopper, Saku y demás amigos del bosque.

En memoria a mis abuelitos, Pedro Rosas, Rosalio Pérez, Guadalupe Ríos. A la Güera, el señor Armando, el señor Blanco, la señora Florecita y todas esas personas que me estimaban y ya no pudieron verme terminar ésta etapa de mi vida. A mis compañeros Ubaldo Martínez y Andrés Avendaño, agrícolas con sentido del humor, talentosos y siempre con una sonrisa a la vida.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>i</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>ii</i>
RESUMEN	<i>v</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	2
1.1.1. Objetivos particulares	2
1.2. Hipótesis	2
II. ANTECEDENTES	3
2.1. El café en México	3
2.1.1. Problemática de la cafecultura veracruzana	4
2.1.2. La producción de plantas de café en vivero tradicional	6
2.1.3. Aspectos que afectan la producción de plantas de café en vivero	9
2.1.4. Factores ambientales que influyen en el desarrollo del café en vivero	13
2.2. Aspectos fenológicos de la planta de café	17
2.2.1. Funciones fisiológicas de las plantas	18
2.3. Variedades comunes de café en producción	22
2.3.1. Catucaí	23
2.3.2. Garnica	23
2.3.3. Geisha	24
2.3.4. Oro Azteca	25
2.3.5. Sarchimor	26
2.3.6. Typica 949	27
2.4. El vivero tecnificado	28
2.4.1. Uso de mallas sombras de diversos colores	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1. Descripción del sitio de estudio	35
3.1.1. Características climáticas y edáficas	36
3.1.2. Localización del área experimental	36

	Página	
3.2.	Metodología	38
3.2.1.	Diseño experimental	40
3.2.2.	Modelo estadístico	41
3.2.3.	VARIABLES A EVALUAR	42
3.2.4.	Análisis estadístico	43
3.3.	Materiales	43
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1.	VARIABLES CLIMÁTICAS	45
4.2.	Fenología	51
4.3.	Altura de planta	55
4.4.	Efecto de la malla sombra y de la variedad sobre los componentes de rendimiento de las plantas de café en vivero	58
4.4.1.	Efecto del color de malla sombra sobre el diámetro de tallo, número de hojas y aprovechamiento de las plantas de café	58
4.4.2.	Efecto de la variedad sobre el diámetro de tallo, número de hojas y aprovechamiento de las plantas de café	63
4.4.3.	Efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia en base fresca de toda la planta, de la parte aérea y raíz	67
4.4.4.	Efecto de la variedad sobre el peso en materia fresca de toda la planta, de la parte aérea y raíz	69
4.4.5.	Efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de toda la planta, de la parte aérea y raíz	72
4.4.6.	Efecto de la variedad sobre el peso en materia seca de toda la planta, de la parte aérea y raíz	74
4.4.7.	Efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa	77
V.	CONCLUSIONES	84
VI.	LITERATURA CITADA	86
	ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Producción de café cereza en México (SIAP, 2017).	4
Figura 2. Localización del municipio de Huatusco, Ver. (INEGI, 2010).	35
Figura 3. Climograma en Huatusco, Ver. (SNM, 2010).	36
Figura 4. Localización del área experimental, Huatusco, Ver. (Google Earth, 2017).	37
Figura 5. Módulos experimentales (Google Earth, 2017).	37
Figura 6. Siembra de las variedades de café.	38
Figura 7. Registro de temperaturas y humedad dentro de las mallas sombras.	39
Figura 8. Medición de altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas.	39
Figura 9. Medición de radiación fotosintéticamente activa.	40
Figura 10. Distribución de los tratamientos.	41
Figura 11. Temperaturas máxima ambiental dentro de cada módulo.	45
Figura 12. Temperaturas mínima ambiental dentro de cada módulo.	46
Figura 13. Humedad ambiental máxima dentro de cada módulo.	47
Figura 14. Humedad ambiental mínima dentro de cada módulo.	47
Figura 15. Temperatura ambiental matutina dentro de cada módulo.	48
Figura 16. Temperatura ambiental al mediodía dentro de cada módulo.	49
Figura 17. Humedad ambiental matutina dentro de cada módulo.	49
Figura 18. Humedad ambiental del mediodía dentro de cada módulo.	50
Figura 19. Fases fenológicas de las seis variedades, en las seis mallas sombras.	53
Figura 20. Días acumulados para la aparición de las diversas fases fenológicas de las seis variedades, en los diferentes colores de malla sombra.	55
Figura 21. Altura promedio de la planta de café por color de malla sombra.	56
Figura 22. Altura promedio de la planta de café por variedad.	58
Figura 23. Diámetro de tallo promedio de la planta de café por color de malla sombra.	59
Figura 24. Número de hojas promedio de las plantas de café por color de malla sombra.	61
Figura 25. Aprovechamiento vegetal por color de malla sombra.	63
Figura 26. Diámetro de tallo promedio de la planta de café por variedad.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 27. Efecto de la variedad sobre el número de hojas de la planta.	65
Figura 28. Aprovechamiento vegetal por variedad.	66
Figura 29. Radiación fotosintéticamente activa acumulada, de las seis variedades en los diferentes colores de malla sombra.	78
Figura 30. Radiación fotosintéticamente activa, de las de tres mediciones realizadas por color de malla sombra.	79
Figura 31. Radiación fotosintéticamente activa promedio por malla sombra.	82

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Porcentaje final de germinación de cada variedad en los módulos de colores.	51
Tabla 2. Tiempo que tardó cada variedad en días, a partir de la siembra para alcanzar determinada fase fenológica, en los diferentes colores de malla sombra.	52
Tabla 3. Aparición de las fases fenológicas (días) de las seis variedades en los diferentes colores de malla sombra.	54
Tabla 4. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre la altura de planta a la última medición efectuada.	56
Tabla 5. Prueba de Tukey para efecto del color de la malla sombra sobre la altura de planta a la última medición efectuada.	57
Tabla 6. ANOVA del efecto de variedad sobre la altura de planta a la última medición efectuada.	57
Tabla 7. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre el diámetro de tallo de la planta a la última medición efectuada.	59
Tabla 8. Prueba de Tukey para efecto del color de la malla sombra sobre el diámetro de tallo de la planta a la última medición efectuada.	60
Tabla 9. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre el número de hojas de las plantas a la última medición efectuada.	61
Tabla 10. Prueba de Tukey para efecto del color de la malla sombra sobre el número de hojas de las plantas a la última medición efectuada.	62
Tabla 11. ANOVA del efecto de la variedad sobre el diámetro de tallo de las plantas a la última medición efectuada.	64
Tabla 12. Prueba de Tukey para efecto de la variedad sobre el diámetro de tallo de las plantas a la última medición efectuada.	64
Tabla 13. ANOVA del efecto de la variedad sobre el número de hojas de las plantas a la última medición efectuada.	65

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 14. Prueba de Tukey para efecto de la variedad sobre el número de hojas de las plantas a la última medición efectuada.	66
Tabla 15. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia fresca de toda la planta a la última medición efectuada.	67
Tabla 16. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia fresca de toda la planta a la última medición efectuada.	67
Tabla 17. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia fresca de la parte aérea a la última medición efectuada.	68
Tabla 18. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia fresca de la parte aérea a la última medición efectuada.	68
Tabla 19. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia fresca de la raíz a la última medición efectuada.	69
Tabla 20. Prueba de Tukey del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia fresca de la raíz a la última medición efectuada.	69
Tabla 21. ANOVA del efecto variedad sobre el peso en materia fresca de toda la planta.	70
Tabla 22. Prueba de Tukey para el efecto variedad sobre el peso en materia fresca de toda la planta.	70
Tabla 23. ANOVA del efecto variedad sobre el peso en materia fresca de la parte aérea de la planta a la última medición efectuada.	71
Tabla 24. Prueba de Tukey para el efecto variedad sobre el peso en materia fresca de la parte aérea de la planta a la última medición efectuada.	71
Tabla 25. ANOVA del efecto variedad sobre el peso en materia fresca de la raíz de la planta a la última medición efectuada.	71
Tabla 26. Prueba de Tukey para el efecto variedad sobre el peso en materia fresca de la raíz de la planta a la última medición efectuada.	72
Tabla 27. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de toda la planta a la última medición efectuada.	72
Tabla 28. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de toda la planta a la última medición efectuada.	73
Tabla 29. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de la parte aérea de la planta a la última medición efectuada.	73
Tabla 30. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de la parte aérea de la planta a la última medición efectuada.	73
Tabla 31. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de la raíz de la planta a la última medición efectuada.	74
Tabla 32. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de la raíz de la planta a la última medición efectuada.	74
Tabla 33. ANOVA del efecto de variedad sobre el peso en materia seca de toda la planta a la última medición efectuada.	75
Tabla 34. Prueba de Tukey para efecto de variedad sobre el peso en materia seca de toda la planta a la última medición efectuada.	75

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 35. ANOVA del efecto de variedad sobre el peso en materia seca de la parte aérea de la planta a la última medición efectuada.	76
Tabla 36. Prueba de Tukey para efecto de variedad sobre el peso en materia seca de la parte aérea de la planta a la última medición efectuada.	76
Tabla 37. ANOVA del efecto de variedad sobre el peso en materia seca de la raíz de la planta a la última medición efectuada.	76
Tabla 38. Prueba de Tukey para efecto de variedad sobre el peso en materia seca de la raíz de la planta a la última medición efectuada.	77
Tabla 39. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa, en el mes de Noviembre.	79
Tabla 40. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa, en el mes de Noviembre.	79
Tabla 41. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa, en el mes de Diciembre.	80
Tabla 42. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa, en el mes de Diciembre.	80
Tabla 43. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa, en el mes de Abril.	81
Tabla 44. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa, en el mes de Abril.	81

RESUMEN

La cafecultura en México representa una actividad fundamental en el sector agrícola, sin embargo, atraviesa momentos críticos que han reducido la producción por diversas razones, por tal motivo, es necesario emplear alternativas que ayuden a combatir la crisis actual mediante renovación de cafetales, produciendo plantas de calidad a través de propagación en viveros tradicionales y tecnificados. El objetivo del presente trabajo fue el de analizar el crecimiento y desarrollo fenológico de seis variedades de café (*C. arábica* L.) propagadas en condiciones de vivero con diferentes colores de malla sombra en Huatusco, Veracruz. Los parámetros evaluados fueron: de índole climático (temperatura, humedad ambiental); de índole fenológico (fases fenológicas del cultivo); de índole morfométrico (altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, aprovechamiento vegetal, peso en materia fresca total, parte aérea, radicular y peso en materia seca total, parte aérea y radicular). Además se midió la radiación fotosintéticamente activa de las plantas dentro de cada malla. Fue un diseño factorial compuesto de seis colores de malla sombra (rojo, perla, negro, azul, gris y aluminizado) por seis variedades de café (Catucaí, Garnica, Geisha, Oro Azteca, Sarchimor y Typica 949) con una planta por repetición, diez en total. El análisis estadístico se realizó a través del análisis de varianza y comparación de medias por prueba de Tukey. Se encontraron diferentes condiciones de temperatura y humedad ambiental relativa bajo cada malla sombra. Los registros indicaron diferencias significativas para la mayoría de las variables. La malla sombra azul presentó las plantas con mayor altura, sin embargo; en la malla de color roja se presentaron los valores más altos en diámetro de tallo; en la malla perla se presentó mayor número de hojas, mayor peso en materia fresca. Asimismo en la malla roja se obtuvo mayor valor en materia seca. La variedad Catucaí resultó con los valores más altos en altura, diámetro de tallo y número de hojas, además destacó con mayor peso en materia fresca y en materia seca. Se presentó mayor radiación fotosintéticamente activa en la malla perla, y los valores más bajos en la malla azul. Se concluye que el uso de mallas de diferentes colores en viveros tiene efecto en la tendencia de temperatura y humedad modificando la respuesta fenológica de las plantas de café.

I. INTRODUCCIÓN

La cafecultura en México representa una actividad fundamental en el sector agrícola, no sólo por el valor de su producción, sino por ser un importante generador de divisas; además, por las bondades que ofrece al ser un cultivo de gran relevancia ambiental, puesto que el 99 % de los predios cafetaleros se establecen bajo sombra (SAGARPA, 2015).

Sin embargo, el sector cafetalero atraviesa momentos críticos, se ha reducido la producción por diversas razones, destacando problemas ocasionados por plagas y enfermedades, como la broca del fruto (*Hypothenemus hampei*), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y la roya (*Hemileia vastratix*), enfermedad que provoca la caída de las hojas de los cafetos ocasionando que los granos no maduran completamente; al caer las hojas reduce la capacidad de formar frutos, causando la disminución de la productividad.

Aunado a las plagas y enfermedades que afectan a las plantaciones, se encuentra el envejecimiento de los cafetos y efectos del cambio climáticas, como son heladas, sequías, vientos y granizadas.

Los cafecultores viven una situación difícil en el aspecto económico, en primera instancia, el precio de este grano en México se rige por las cotizaciones en la bolsa de Nueva York, por lo que su comercialización depende del mercado exterior y, en segunda instancia, en muchos casos no es el productor primario quien da el valor agregado al producto final, sino que existen intermediarios en la fase de transformación de café cereza hasta el tostado del grano.

Según cifras de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la demanda interna y el valor de las exportaciones han crecido más de un 30 % en los últimos 10 años (Barragán, 2016). Después de las exportaciones de petróleo, el café representaba hasta hace 10 años el segundo lugar generador de divisas para México.

Por tal motivo es necesario emplear alternativas que ayuden a combatir la crisis actual en la cafecultura mexicana, mediante la renovación de cafetales viejos, enfermos,

descompensados, produciendo planta de calidad a través de la propagación en viveros tradicionales y tecnificados.

El presente trabajo busca comparar el efecto de diferentes colores de malla sombra, en el desarrollo fenológico de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) de seis distintas variedades en la etapa de vivero, en Huatusco, Veracruz. Para la realización de la investigación se plantearon los objetivos siguientes:

1.1. Objetivo general

- Analizar el crecimiento y desarrollo fenológico de plantas de café de seis variedades propagadas en viveros tecnificados con malla sombra de diferentes colores en Huatusco, Veracruz.

1.1.1. Objetivos específicos

- Registrar la tendencia diaria de la temperatura y humedad de un vivero tecnificado de café con diferentes colores de malla sombra, en Huatusco, Veracruz.
- Comparar el desarrollo fenológico de plantas de café de las variedades Catucaí, Garnica, Geisha, Oro Azteca, Sarchimor, y Typica 949 en condiciones de vivero con la tendencia de temperatura y humedad.
- Analizar el efecto del color de malla sombra en las condiciones ambientales y el desarrollo de las plantas de café, variedades Catucaí, Garnica, Geisha, Oro Azteca, Sarchimor y Typica 949.

1.2. Hipótesis

- Ht: El color de la malla sombra tiene un efecto sobre las tendencias de la temperatura y humedad al interior del vivero, modificando la respuesta fenológica entre las variedades de café evaluadas.

II. ANTECEDENTES

2.1. El café en México

Se conoce como café o cafeto a un género de árboles de la familia de las rubiáceas, a sus semillas y a la bebida que se prepara con ellas. Existen más de treinta especies, pero destacan tres: arábica, canephora y libérica (SIAP, 2016).

En México predomina el cultivo de variedades de la especie *Coffea arabica* por su alta calidad reconocida a nivel mundial, aunque en los últimos años se está incrementado la superficie cultivada de *C. canephora*, principalmente en los estados de Chiapas y Veracruz (Grupo Técnico Interdisciplinario de Café, 2017).

Esta especie ofrece rusticidad, resistencia a nemátodos, a roya anaranjada y, un alto rendimiento de grano y, existe una creciente demanda del mercado interno. La variedad a propagar se debe elegir con base a las características de adaptación ambiental, productividad, tolerancia a problemas fitosanitarios, en especial a la roya (*Hemileia vastatrix*), calidad física del grano y sensorial de la bebida y, también es importante considerar el mercado objetivo.

El café se cultiva en altitudes entre 1,000 y 1,300 metros sobre el nivel del mar, es cosechado a mano y da frutos una vez al año, previa floración blanca fugaz. Los cafetos requieren de sombra, por lo que regularmente se encuentran bajo árboles y pueden llegar a sobrevivir hasta por más de 60 años. La producción nacional se concentra en los meses de diciembre a marzo (SIAP, 2016).

El cultivo de café es mucho más que una actividad económica en México. Los 600 mil productores que laboran para obtener esta semilla en Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla y Morelos aportan servicios ambientales a sus estados porque los cafetales son selvas cultivadas. Además, los mismos productores son custodios de formas de organización social y expresiones culturales que han sobrevivido a 40 años de fuertes impactos como la caída de precios de su producto y la llegada de plagas letales para las plantas. La última de esas catástrofes fue el rebrote de la epidemia de roya, que inició en 2012 (Ecosur, 2016).

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), estimó una producción de 839 mil toneladas de café cereza en el periodo 2017 (Figura 1).

El principal estado productor para 2017 fue Chiapas, quien aportó con el 41 % del volumen nacional, seguido por Veracruz (24 %) y Puebla (15.3 %). Además, un rendimiento de 1.3 toneladas por hectárea a nivel nacional provocó un incremento de 15 mil toneladas respecto al año anterior (SIAP, 2017).

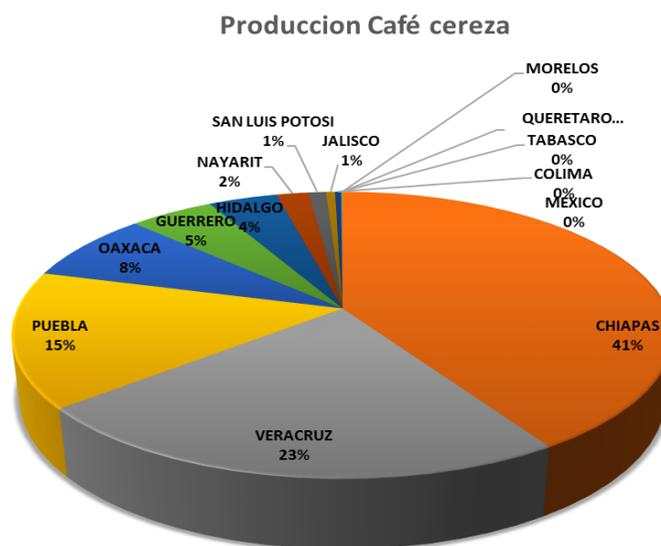


Figura 1. Producción de café cereza en México (SIAP, 2017).

Este cultivo se encuentra actualmente en 484 municipios del país, pero únicamente 74 de ellos generan 70 % de la producción nacional.

2.1.1. Problemática de la cafecultura veracruzana

A diferencia de lo que sucede en los principales países productores como Brasil y Colombia, en México el café lo producen fundamentalmente las familias campesinas e indígenas y a pequeña escala (Moguel y Toledo, 1996).

Con la desaparición del Consejo Mexicano del Café, actualmente los programas del sector cafetalero se maneja a través de órganos descentralizados de la SAGARPA, y en el caso de los programas especiales a cargo de la Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café A.C., como agente técnico (AMECAFE, 2011).

Para fortalecer con capacitación y acompañamiento técnico por medio de seis instancias (SAGARPA, COFUPRO, INCA RURAL, AMECAFE, SISTEMA PRODUCTO CAFE Y CRUO-UACH) se realizaron diagnósticos de la estructura productiva y diagnósticos rápidos participativos, los cuales permitieron conocer la compleja problemática en la cadena productiva del cultivo de café: variedades cultivadas, edad de las plantaciones, rendimientos, plagas y enfermedades, calidad del producto, precios entre muchos conceptos (*Ídem*).

De acuerdo a los trabajos de Diagnóstico de Estructura Productiva en las 10 regiones intervenidas (Atzalan, Coatepec, Córdoba, Chicontepec, Huatusco, Los Tuxtlas, Misantla, Papantla, Tezonapa y Zongolica), consideró necesario realizar acciones encaminadas al mejoramiento de las fincas, mediante la renovación, recepa y podas de los cafetos, respectivamente. Un 18 % de las fincas requieren de renovación, un 16 % de podas y un 12% de recepa.

En este aspecto, el diagnóstico resaltó que más del 60 % de plantas en Veracruz, requieren de sustitución inmediata; es decir, quitar las viejas, improproductivas y enfermas para poner planta nueva de calidad mejorada y, también incrementar la densidad y cubrir los espacios vacíos.

Las plantaciones viejas son uno de los principales problemas en todas las regiones, junto con el poco o nulo manejo de las mismas, en todo su contexto agroecológico, situación que trae como consecuencia los bajos niveles de rendimiento, aun cuando las aptitudes agroclimáticas indican que Veracruz tiene potencial para llegar a los 40 Qq ha⁻¹ de manera sustentable.

Por otra parte, detectó y priorizó 10 problemas, entre éstos: cafetales viejos, cambio climático, deficiencia nutricional de los cafetos, falta de asistencia técnica, plagas y enfermedades, falta de recursos económicos, entre otros.

En el Estado de Veracruz se definieron y priorizaron 10 alternativas para resolver los problemas detectados y priorizados.

Así mismo, fueron presentados 11 líneas estratégicas y 42 proyectos, derivados de éstas, para la cafecultura veracruzana. Entre las líneas estratégicas destacan la propagación de planta injertada y directa, asistencia técnica y capacitación integral, conservación y mejoramiento de suelo y agua, nutrición y mejoramiento de suelos de las fincas cafetaleras.

Otro problema es la enfermedad denominada roya, originaria de África que fue reportada en México por primera vez en 1981. En ese entonces los cafetales estaban preparados para enfrentar el problema, el clima era más estable y no tuvo los efectos negativos esperados. Pero en 2012 se presentó un nuevo brote epidemiológico mucho más agresivo que se fue extendió por el país, en 2016 generó las cosechas más bajas en los últimos 50 años.

Las Universidades e instituciones de investigación están implementando instancias de articulación a través de algunas iniciativas como Cenacafe y Café in Red, el año pasado 11 instituciones crearon la Red Nacional de Atención a este sector: la UV, el Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (Inifap), el Instituto de Ecología (Inecol), el Colegio de Posgraduados (Colpos), el Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), la Universidad de Chapingo, el Tecnológico de Zongolica, Pronatura, A.C., el Centro Agroecológico del Café (Cafecol), el Centro Nacional de Transferencia e Innovación de Tecnología, y Café en Red (Escalón, 2017). Juntos trabajan con diferentes comunidades y enfoques para apoyar desde la academia a los productores.

2.1.2. La producción de plantas de café en vivero tradicional

El vivero es el lugar donde permanecen temporalmente los cafetos, desde el trasplante hasta que llegan a un tamaño adecuado para su trasplante al lugar definitivo, normalmente es un año en que las plantas empiezan a formar sus primeras ramas o cruces (Paz y Escamilla, 2016).

Lo más recomendable, si las condiciones del terreno lo permiten, es orientar el vivero de Este a Oeste, para un mejor aprovechamiento de la luz; debe ubicarse cerca a fuentes de agua por si se necesita regar.

Existen diversas formas de hacer un vivero, con camellón, tubetes, cuper block, en este caso se describe el vivero tradicional utilizando macetas de polietileno (tubos o bolsas), ya

que tiene ciertas ventajas en comparación con otros métodos de propagación (Paz y Escamilla, 2016).

Es importante llenar adecuadamente las bolsas sin fondo o tubos, de esto depende parte del buen desarrollo de la planta. No debe quedar demasiado floja, evitar que salga la tierra o se voltee la maceta al hacer los riegos, pero tampoco compactada que encharque el agua y cause enfermedades por hongos, se debe evitar los extremos. Inicialmente se hace una limpieza total del terreno y posteriormente se instala el cobertizo, cuya estructura otorgue un sombreado al interior del vivero, que genere un microclima regulado en humedad y temperatura, sin variaciones bruscas. El sombreado se puede hacer con diferentes materiales como son; malque (es la hoja de helecho), hojas de plátano, costales de yute, o malla plástica que dé 60 % de sombra. Se debe procurar que la altura del emparrillado sea suficiente para que permita el desarrollo de las actividades dentro del vivero (*Ídem*).

Pueden emplearse desde materiales económicos, hasta estructuras metálicas fijadas al suelo con concreto. El techo puede elaborarse con materiales convencionales locales o mediante la colocación de malla sombra al 50 % de filtro de luz. También se puede aprovechar la sombra de los árboles y procurar que el sombreado no afecte el crecimiento de las plantas en el vivero (INIFAP, 2013).

Vivero de tubo de polietileno: en un terreno bien nivelado, las camas pueden ser de 1.2 a 1.5 m, de ancho por el largo que más convenga al productor. El llenado de bolsa o tubo (de 15 x 30 cm ó 18 x 25 cm), el sustrato más conveniente puede ser tierra normal o mezclas de lo anterior con arena o material orgánico, para tener un suelo franco que facilite el desarrollo radicular, el sustrato debe ser desinfectado como en el semillero y después se acomoda la bolsa en hileras (Illescas, 2002).

El tamaño de la bolsa depende del número de posturas y del tiempo que estarán en el almácigo.

➤ Selección de semilla: la selección de las semillas debe ser con base al vigor de la planta de la cual se recolecta la semilla, se debe cosechar:

- Cerezas bien maduras de la parte media de las ramas que se localizan en la parte central de las plantas.
- Plantas fuertes o vigorosas, sanas o libres de plagas y enfermedades.
- La calidad del fruto (tamaño de semillas)
- Debe ser una planta joven, con un rango entre 4 y 7 años de edad, si es muy vieja no se asegura el máximo vigor de la planta hija.

La semilla seleccionada se separa del resto de la cosecha, se despulpa, se deja secar bajo sombra, posteriormente se colocan las semillas en agua, aquellas que floten son generalmente semillas vanas o sin embrión, también se desechan las semillas tipo elefante o triángulo (Aranda *et al.*, 2015).

➤ Semillero o almacigo: los semilleros tienen como finalidad un mayor control de factores que influyen tanto en la germinación, como en la calidad de plántulas a obtener. El semillero debe establecerse en un lugar de acceso fácil y contar con una fuente de agua cercana (Zepeda *et al.*, 1996).

Una vez seleccionada la semilla, es recomendable colocar una cobertura sobre la capa superficial del suelo para conservar humedad y propiciar calor en el entorno de la semilla sembrada, la siembra es bajo techo para proteger la cama del impacto directo de las gotas de lluvia.

Se recomienda establecer el semillero en sustrato para extraer las plántulas sin que la raíz sufra algún daño. Antes de utilizar el sustrato se debe solarizar exponiéndolo a la radiación y dándole la vuelta de tal forma que todo el material reciba los rayos del sol o aplicar agua hirviendo. También debemos revisar que la humedad del germinado no sea escasa ni excesiva (Aranda *et al.*, 2015).

En una estructura general de madera de 4 soportes con techo de palma, en un área aproximada de 1 m². La semilla se coloca en la tierra y es cubierta con un saco de ixtle, o con más cobertura vegetal. Esto se hace con el fin de mantener la humedad en la tierra,

evitar un exceso de temperatura y, evitar que las semillas entren en letargo, retrasando la germinación.

Una vez desarrollada la radícula, se trasplanta en bolsas de polietileno, llenas con una mezcla de sustrato preparada de composta, vermicomposta o enriquecida con hojarasca y/o estiércol y, estas bolsas se colocan en el vivero. Este debe estar protegido de animales domésticos por lo que es recomendable colocar una barda de malla de gallinero alrededor.

Se acostumbra colocar como techo hojas de palma, o bien, colocarlo a la sombra para evitar la pérdida de humedad. Entre las principales actividades a llevar a cabo en el vivero son el riego y la eliminación de malezas.

➤ Siembra: La siembra es un paso importante, se prepara el terreno en cuanto a su ubicación, sombrío de árboles, textura, nutrientes y limpieza. Ya las plantas tienen unos 7 meses y están bien desarrolladas para ser transportadas al terreno donde al cabo de 3 a 4 años comienza a producir comercialmente los frutos del caféto (Grupo Mesófilo, 2006).

2.1.3. Aspectos que afectan la producción de plantas de café en vivero

➤ Factores técnicos: Existen diversas prácticas que pueden influir en la calidad del café, al afectar la situación nutrimental de la planta. Si la planta de café está bien manejada se producen en general, granos llenos que alcanzan el potencial de calidad dado por la variedad.

Las bolsas o contenedores de las semillas o plántulas deben aislarse del suelo por medio de tarimas, camas de madera o de piedra, esto para evitar exceso de humedad y hongos que infecten nuestras plantas.

El exceso de humedad y de sombra, así como el uso de estiércoles sin compostear y en general la falta de atención y cuidado en el manejo de sustrato, provocan la aparición del hongo *Rizhoctonia solani*, que pudre y ahorca los tallos de los cafétos.

Las principales técnicas a seguir son:

- Riegos: El vivero debe regarse con agua de buena calidad, de preferencia en la tarde para que siempre esté húmedo. Algunos productores que han experimentado con riegos de aguamiel que sacan del beneficiado húmedo del café, diluido al 50 %, han observado un mejor desarrollo del vivero (Aranda *et al.* 2015).

- Abonado: Se debe abonar el vivero con composta o abono de lombriz en dosis de 50 gr por planta. Además, se debe aplicar cada 15 o 20 días abonos foliares, como humus de lombriz en forma líquida, para lo cual se pueda usar 1 litro de humus diluido en 20 litros de agua (*Ídem*).

Los suelos para el cultivo de café deben ser de fertilidad media a alta, dicha fertilidad se viene a definir para los niveles críticos de los elementos que se hallen en él. También es importante el porcentaje de arcilla y los tipos de minerales que constituyen esa arcilla (Monge, 1999).

Los mejoradores de suelo son materiales de diferente naturaleza que sirven para ayudar al suelo a desempeñar más eficientemente sus funciones de anclaje de plantas, suministro de agua, nutrimentos y oxígeno a las raíces, proporcionar una temperatura adecuada para el crecimiento y estar libre de problemas de sales, iones tóxicos, parásitos o patógenos (Villani, 2017).

- Deshierbes: Para mantener el vivero libre de hierbas se recomienda deshierbar mensualmente con mucho cuidado. Esta actividad se debe realizar manualmente para evitar dañar las plántulas de café.

Se necesita deshierbar cuando aparezcan arvenses ya que su competencia con las plantas de café, por agua y nutrimentos, disminuye el vigor de los cafetos. Además algunas hierbas son hospederas de insectos que pueden también causar daño al follaje de la planta de café.

- Plagas y enfermedades en vivero: Con los fenómenos climáticos ocurridos en los últimos años ha incrementado la presencia de enfermedades asociadas al cultivo de café, al igual que su aparición con características en zonas donde no se había presentado anteriormente (Gil y Leguizamón, 2000).

Los problemas fitosanitarios más severos que se presentan en el vivero, en orden de importancia son: requemo (*P. costarricensis*) que ataca las yemas y hojas nuevas, sobre todo en la temporada invernal de temperaturas bajas (Castillo, 1993); damping-off (*Fusarium* spp. y *R. solani*) y ataques de gallina ciega (*Phyllophaga* sp.).

- Requemo (*Phoma costarricensis*): Esta enfermedad se presenta principalmente en las hojas de *Coffea arabica* L., produce una fuerte defoliación prematura y fuerte debilitamiento de la planta, lo que limita su crecimiento. Entre los síntomas notorios que se presentan están los tallos encogidos, mismos que dan lugar a arrugas longitudinales, asimismo, las puntas de las hojas se vuelven amarillas o más a menudo de un color bronce cobrizo (Leyva, 2010).

Es de importancia económica ya que ataca zonas de crecimiento de plántula de café en el almácigo, ocasiona atraso drástico en su desarrollo de la planta, con la consecuente malformación de las plántulas al ser trasplantadas, desarreglo de los ciclos de renovación y producción y disminución de la producción en el lote respectivamente.

Como respuesta a la muerte del brote principal y de las ramificaciones laterales, en los nudos lignificados hasta donde llegó la necrosis ocurre desarrollo anormal de la planta caracterizado por la proliferación de nuevos brotes y de ramas laterales pequeñas, que en conjunto dan la apariencia de rosetas (Gil y Leguizamón, 2000).

Esta enfermedad se encuentra en zonas cafetaleras altas, con bajas temperaturas y humedad relativa alta (Figuroa, 1985), con regímenes de lluvia prolongadas, baja luminosidad y temperatura mínima baja (20 °C). En México se localiza a los 900 m en las diferentes zonas cafetaleras (Regalado, 1982). Los síntomas aparecen en plántulas de 8 a 11 meses de edad (George, 1959).

- Damping-off (*Rhizoctonia solani*; *Fusarium* spp. *Myrothecium*): Ocurre en los semilleros de cafetos y se manifiesta en focos donde hay pobre emergencia con síntomas o muertes. Los síntomas que se observan son manchas oscuras en las raíces y canchales en la base de los tallos. Estas lesiones entorpecen la translocación de agua y minerales ocasionándoles la muerte a las plántulas (Villani, 2017).

Cancros (*Myrothecium roridum*) ocurre en viveros pero se inicia en el semillero, en la parte baja del tallo se observan cancros, además de la muerte de la raíz pivotal (principal), aquellas plantas que sobreviven y no presentan síntomas severos, al ser trasplantados al suelo eventualmente mueren (Alvarado y Monroig, 2007).

- Mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*): Ataca al café en cualquier edad desde las plántulas germinadas hasta cafetales adultos, especialmente cuando están abonados, sembrados a libre exposición solar o con poca sombra. La infección se favorece por condiciones de estrés en la planta.

Afecta al follaje y el fruto del café. En las hojas aparecen pequeñas manchas circulares de color marrón rojizo. A medida que crecen, la mancha del centro de ésta se torna gris claro y se rodea de un anillo rojizo, en algunos casos se observa un halo clorótico (Alvarado y Monroig, 2007). Cuando el ataque es fuerte ocasiona la caída de hojas y frutos. En las cerezas atacadas la pulpa se pega a la semilla y provoca mancha en el café pergamino.

La enfermedad se desarrolla a temperaturas bajas, humedad relativa elevada y alto grado de insolación. Se forma principalmente en las hojas expuestas al sol. Es conveniente revisar la intensidad de sombra, combatir las malas hierbas con oportunidad y fertilizar convenientemente (Leyva, 2010).

- Fumagina (*Capnodium* spp.): Se caracteriza por la presencia de una cobertura negra, las secreciones azucaradas de algunos insectos sirven de medio de cultivo a este hongo, reduce la actividad fotosintética de la hoja (Alvarado y Monroig, 2007).

- Mancha bacteriana (*Pseudomonas syringae*): Se observan lesiones irregulares de olor oscuro y de apariencia aceitosa, frecuentemente en vivero y cafetales con humedad excesiva.

- La bacteriosis en vivero o quemadura bacteriana (*Pseudomonas cichorii*) se ha convertido en un patógeno importante para regiones tropicales y existe un amplio rango de hospedantes entre hortalizas y plantas ornamentales. En las hojas del cafeto se observan manchas de gran tamaño, irregulares, de color oscuro, dan un aspecto de quemadura conforme avanzan y finalmente se secan; las plantas adultas presenta defoliación (Leyva, 2010). El patógeno puede sobrevivir en hojas enfermas secas o en tejido enfermo enterrado

o durante el verano de un mes en suelo infestado. El desarrollo de las lesiones tiene lugar bajo temperaturas entre 10-30 °C (óptima de 25 °C) (Baker *et al.* 1992).

- Gallina ciega (*Phyllophaga sp.*): Son gusanos que se encorvan forman una “C”, su cabeza es dura y oscura, su mandíbula bien desarrollada y posee hábitos completamente nocturnos. En los almácigos destruyen el sistema radical de la plata, hasta provocar la muerte (ICAFE, 1998).

- Nemátodos (*Meloidogyne sp.*, *Pratylenchus coffeae*, *Radopholus similis*, *Rotylenchulus reniformis* y *Xiphinema americanum*): Son organismos microscópicos que tienen forma de gusano delgado, alargados, cilíndricos e incoloros, atacan el cuello y las raíces del café, producen atrofas en estos. También se observan nudos en las raíces atacadas. Los árboles muestran amarillamiento, crecimiento reducido y no reaccionan favorables a la aplicación de abonos (Villani, 2017).

Dañan las raíces jóvenes, al afectar la absorción de agua y minerales, se observa clorosis en las hojas, defoliación y pobre desarrollo, de particular importancia en viveros (Alvarado y Monroig, 2007).

Para evitar problemas con plagas o enfermedades, es ideal no usar tierra del mismo cafetal que se cultiva porque puede tener elementos que dañan las nuevas plantas. De lo contrario, una desinfección adecuada del suelo puede reducir problemas fuertes de plagas y enfermedades y la proliferación desmedida de la maleza. Para el control de enfermedades, la aplicación de fungicidas de contacto o productos preventivos, puede realizarse como parte de un manejo integrado; si se presentan daños por gallina ciega, es necesario usar insecticidas sistémicos (INIFAP, 2013).

2.1.4. Factores ambientales que influyen en el desarrollo del café en vivero

Los factores ambientales interactúan considerablemente entre ellos para dar las condiciones de un sitio y un año determinado. Para el cultivo de café se considera que son cuatro factores los más importantes para explicar la calidad: a) la altitud sobre el nivel del mar de la plantación; b) la humedad disponible en el ciclo del cultivo; c) las características de los suelos; y d) la presencia de heladas (Santoyo, *et al.* 2016).

Sin embargo, la altitud no es una condición necesaria, puede existir por un efecto de latitud, condiciones de temperatura, precipitación, humedad relativa e insolación

El cafeto a nivel vivero puede crecer y desarrollarse bajo condiciones de sol o sombra, sin embargo, bajo condiciones de alta temperatura e intensidad lumínica tiene menor crecimiento obteniéndose plantas de porte pequeño y de tallo grueso (Martínez, 1999).

Durante el crecimiento de ramas laterales, en condiciones de temperaturas bajas (12 °C a 18°C) y días menos de 12 horas iluminadas, se tiene un crecimiento bajo y lento, lo contrario ocurre en periodos de temperaturas altas de 18-26 °C.

La textura, profundidad, pH, contenido de materia orgánica y fertilidad del suelo son aspectos que están directamente relacionado con la cantidad producida.

➤ Radiación solar: la luz solar influye en los vegetales por el efecto de dos variables: Duración (fotoperiodo) y la intensidad (irradiación).

Fotoperiodo o duración astronómica del día, es la duración de la luminosidad del día sin tomar en cuenta la intensidad de la radiación. En diversos estudios científicos se ha comprobado que para los cultivos agrícolas, la intensidad de la radiación solar es menos importante que su duración. La intensidad de radiación es la cantidad de energía recibida sobre una unidad de superficie, durante la unidad de tiempo, generalmente se expresa en calorías gramo por centímetro cuadrado por minuto (Torres, 2006).

Insolación, es la duración del asoleamiento intenso del día, o el número de horas que alumbra el sol durante el día. La insolación generalmente es menos que el fotoperiodo debido a la nubosidad del día y a la baja intensidad de la radiación oblicua durante el alba y el crepúsculo.

De estas, la que más influencia tiene sobre el comportamiento del género *Coffea* es la intensidad lumínica. En condiciones de día largo, las plantas crecen vegetativamente (Santoyo *et al.*, 2016).

➤ Temperatura: todos los procesos fisiológicos y funciones de las plantas se llevan a cabo dentro de ciertos límites de temperatura. Los procesos fisiológicos que se efectúan

dentro de la planta como la fotosíntesis, la respiración y el crecimiento, tienen diferentes respuestas a la temperatura.

Fuera de ciertos límites de temperatura, la planta ya no ejerce sus funciones normalmente y puede llegar al extremo de que muera. Las plantas no tienen una alta temperatura corporal, a diferencia de los animales, la temperatura de la mayoría de las plantas es cercana a la ambiental, las plantas absorben o pierden calor conforme el ambiente se hace más cálido o más frío (Torres, 2006).

En una zona agrícola se deben conocer los valores medios de temperatura, máximas y mínimas, las oscilaciones diurnas, anuales y otros factores que actúan sobre las plantas. Existen periodos críticos en las plantas en que las plantas son afectadas notoriamente por las temperaturas.

A altas temperaturas provocan gran evaporación de la humedad del suelo y hacen transpirar abundantemente a las plantas, causándoles deshidratación, marchitez o muerte. Las temperaturas bajas son perjudiciales, con valores iguales o inferiores a 0 °C.

La constante térmica para un determinado cultivo es la cantidad acumulada de unidades calor desde la emergencia hasta la madurez fisiológica.

La temperatura promedio anual que se requiere en el cafetal para desarrollar un café de alta calidad se ubica entre los 18°C y los 19.5°C (Aranda *et al.*, 2015).

➤ Humedad y lluvia: la humedad relativa es el porcentaje de vapor de agua que en un momento dado y a una determinada temperatura contiene el aire, en relación con la máxima cantidad de vapor que a esa misma temperatura, el aire puede tener (Torres, 2006).

El café es un cultivo temporal que requiere de una buena distribución de lluvias, los periodos de sequía disminuyen la actividad de la planta (Villani, 2017).

La lluvia ejerce influencia mecánica, fertilizante, física y química. Mecánica al compactar el terreno, disgregación de las partículas superficiales del suelo o ambas. Fertilizante ya que un litro de esta agua aporta aproximadamente 2 mg de nitrógeno en su forma amoniacal y 0.7 mg en su forma nítrica. La influencia física se refiere a la formación de suelos y

química a la solubilización de los minerales del suelo, para que en ese estado sean tomados por las plantas (Torres, 2006).

La evaporación del agua del suelo depende de la temperatura, humedad del aire, velocidad del viento, presión atmosférica, textura, entre otros factores.

El cultivo de café se produce de manera adecuada en regiones donde las lluvias oscilan entre 1600 y los 1800 mm anuales, pero en los últimos 10 años las temporadas de lluvia y los patrones de precipitación se han alterado considerablemente, de manera que cada vez caen más lluvias torrenciales en periodos de tiempo muy cortos y se padecen sequías más frecuentes y prolongadas (Aranda *et al.*, 2015).

➤ Heladas: respecto a las heladas, son contingencias que tienen fuerte influencia en la cantidad y calidad de la cosecha, así las heladas tienen un impacto directo en la producción del año en curso al reducir su valor comercial ya que el tejido del fruto muere y el grano oscurece. Además si son muy severas, pueden afectar la producción de los años subsecuentes al obligar una renovación de la planta e incluso puede provocar la muerte del cafeto (Villani, 2017).

Estas experiencias han sido evidentes con las heladas que se presentan cíclicamente en las áreas cafetaleras al norte de la vertiente del Golfo de México, situados a más de 800 metros de altitud (Santoyo *et al.* 2016).

Después de noches despejadas, frías y sin viento, las plantas bajas en lugar de cubrirse con rocío, en ocasiones presenta una cubierta de hielo, a éste fenómeno se le conoce como helada blanca o escarcha. La planta tiene una temperatura de 0 °C o menor y temperatura de rocío en el aire para que haya condensación y hielo.

Se consideran como heladas todas las temperaturas de 0 °C o inferiores y cuando el aire es demasiado seco y la temperatura de rocío debajo de 0 °C no se alcanza, no se produce helada blanca, pero los cultivos sí son dañados presentando al días siguiente en las plantas manchas necróticas en sus partes afectadas, a este fenómeno se le conoce como helada negra (Torres, 2006).

2.2. Aspectos fenológicos de la planta de café

Este término de fenología se refiere a las diferentes etapas que pasa el café en el proceso productivo y ciclo vegetativo. Comprende los cambios que van desde la semilla a la fecundación, que es cuando los granos de polen producidos por los estambres, han estallado en el momento de abrirse la flor, transportados por vientos, insectos como las abejas; que al contacto con el estilo, los granos germinan dando origen a un tubo polínico, hasta encontrar el ovario y fecundar (Cabrera, 2012).

La fenología es el estudio de los fenómenos biológicos periódicos en relación al tiempo meteorológico y al clima. Específicamente, trata con el tiempo de ocurrencia de los eventos en el ciclo de vida de las plantas y animales en una cierta área geográfica. La palabra *phenology*, fenología, se definió por primera vez por Charles Morren en 1853, aunque el concepto nació anteriormente con Karl Von Linné, en 1751.

La duración de los eventos fenológicos es generalmente llamada *fase*; una combinación de fases relacionadas o el periodo entre dos diferentes fase se le llama *estado*; y una subdivisión de una fase, *subfase* (Flores, 1987).

Para el caso del cultivo de café, se considera al periodo vegetativo que se lleva a efecto durante la fase del semillero y vivero.

Las fases fenológicas que ocurren en la planta de café en el semillero son las siguientes:

- a) Grapa o Emergencia: la semilla tarda en germinar de 30 a 35 días, la planta empieza a emerger o brota en el semillero entre los 40 a 45 días de sembrada la semilla, a esta fase los productores la denominan “grapa”, por la forma que presenta.
- b) Fosforito o Soldadito: se le llama así cuando el tallo crece a una altura de 3 a 4 cm sobre el suelo, pero aún conserva el endocarpio o pergamino, esto sucede de los 55 a 60 días de la siembra.
- c) Mariposa, palomita o concha: a esta fase llega cuando las hojas cotiledóneas han brotado del pergamino y han abierto completamente, eso ocurre de los 65 a 70 días de la siembra.

Durante este período la plántula vive exclusivamente de sus propias reservas, aunque sus raicillas son capaces de absorber nutrimentos si los encuentran disponibles.

d) Pesetilla: ocurre cuando la planta tiene de una o dos pares de hojas verdaderas, esto sucede de los 85 a 95 días de siembra.

e) Naranjito: es aquella cuando la planta tiene de tres a cinco pares de hojas, esto ocurre a los 120 días o más de siembra.

A partir de la última fase, la plántula debe emitir un nuevo par de hojas verdaderas cada tres semanas. En las plantas de café arábico se distinguen las ramas plagiotrópicas que condicionan el crecimiento lateral y las ramas ortotrópicas que permiten el crecimiento vertical.

2.2.1. Funciones fisiológicas de las plantas

Entre ellas están las siguientes.

➤ Absorción de la luz: la radiación solar es heterogénea en cuanto a longitudes de onda, se puede separar en radiación ultravioleta (UV), radiación visible (luz) y radiación infrarroja (IR).

Las plantas absorben la radiación selectivamente, es decir, determinadas longitudes de onda, ya que la luz proporciona la fuerza motriz del proceso fotosintético.

Los colores de diversas porciones del espectro visible son determinadas por su longitud de onda, expresada en milimicras: violeta de 390 a 430, azul de 430 a 500, verde de 500 a 560, amarillo de 560 a 600, anaranjado de 600 a 650 y rojo de 650 a 760 (Miller, 1967).

Las ondas más cortas que el violeta se llaman ultravioleta, más allá del ultravioleta están los rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos. En el otro extremo del espectro, las longitudes de onda mayores que la luz roja visible, se llaman rayos infrarrojos o rayos calóricos. Radiaciones de mayor longitud que el infrarrojo son las ondas de radio (*Ídem*).

La radiación infrarroja IR-A e IR-B es la parte térmica de la radiación solar y su efecto sobre las plantas es incrementar la temperatura (Torres, 2006).

Además de la longitud de onda, es importante la cantidad (intensidad) del flujo de radiación, ya que la transferencia del vapor de agua en la transpiración, el consumo de CO₂, y el transporte de nutrimentos, están directamente correlacionados con la cantidad de radiación neta (Miller, 1967).

➤ Fitocromo: el fitocromo es una cromoproteína de las plantas, se compone de una “proteína” y un grupo no proteico llamado “cromóforo” o pigmento; de ahí que al fitocromo se le considere como pigmento fotorreceptor de las plantas (Grajales, 2004), y se ubica en las partes no verdes (y etioladas) de las plantas (Reyes, 2017).

Se presenta en dos conformaciones fisiológicas: fitocromo rojo (P_r) la cual absorbe luz roja (660 nm) y fitocromo rojo lejano (P_{fr}) que absorbe luz de 730 nm. Para que puedan ejercer su función, estas dos conformaciones fisiológicas deben encontrarse en equilibrio dinámico (Grajales, 2004). Todo a través de un mecanismo molecular que implica la función de la plasmalema de las células, accionar las vías metabólicas que participan en la biosíntesis y acción de las hormonas, para que den lugar a la fotomorfogénesis.

El fitocromo participa en el fenómeno de fototropismo, un proceso por el cual las plantas se mueven hacia la luz a través de la modificación de sus patrones de crecimiento. En este proceso también intervienen los pigmentos de luz azul, igual que ocurre en otros procesos como son la elongación del hipocótilo, la estimulación de la síntesis de clorofila y carotenoides, la activación de la expresión génica, los movimientos estomáticos, el aumento de la respiración celular o el seguimiento del movimiento del sol por las hojas de la planta (Escaso *et al.*, 2010).

➤ Pigmentos de las plantas: todos los organismos con capacidad fotosintética contienen uno o más pigmentos que absorben la radiación visible que desencadena las reacciones fotoquímicas de la fotosíntesis (Pérez 2009). Pigmentos verde, amarillo, rojo, azul y púrpura se encuentran en las hojas, flores, frutos, partes vegetativas y en diferentes órganos de plantas en crecimiento. Los pigmentos pueden ser clasificado por su

solubilidad; solubles en éter (clorofilas y carotenoides) y solubles en agua (Antocianinas, Antoxantinas, ficobilinas).

Clorofilas (verde), es el compuesto orgánico que capacita a las plantas verdes para utilizar la energía del sol y formar carbohidratos con agua y CO₂ (Miller, 1967). Absorbe dos longitudes de onda; la del rojo y la del azul, la asimilación de CO₂ por las plantas ocurre por efecto de la luz y depende tanto de la intensidad como de su longitud de onda. La mayor intensidad fotosintética se detecta en las bandas roja y azul, además el intervalo azul del espectro apoya la síntesis de sustancias materiales de biocrecimiento (Torres, 2006).

Carotenoides (anaranjado), son pigmentos que presentan una absorbancia más baja, no tienen participación muy importante en el proceso de fotosíntesis; son vitales en la protección de las clorofilas por tener una mayor resistencia a la fotooxidación. Se encuentran en las membranas de los tilacoides y en la envoltura de los cloroplastos. Dentro de los carotenoides se distinguen los carotenos (α y β) y xantofilas (López, 2013).

Parte de la energía luminosa absorbida por clorofilas y carotenoides se almacena al final del proceso fotosintético como energía química. La mayoría de los pigmentos actúan como una antena en un complejo antena, captando la luz y transfiriendo la energía al centro de reacción al que están asociados y donde se transfieren electrones desde la clorofila a una molécula receptora de electrones (Pérez, 2009).

Antocianinas (rojo, azul, púrpura), pertenecen al grupo de los flavonoides que da una coloración roja o púrpura. Se forma a partir de una molécula de aglicona a la que se le une un azúcar por un enlace glucosídico. Tiene una función protectora frente a los rayos UV, pero también la de atraer insectos polinizadores por las coloraciones tan vistosas (López, 2013).

Su estabilidad está determinada por el grado de oxidación, la temperatura, la fuerza iónica, la acidez y la interacción con otros radicales y moléculas complejas. Tienen su máxima expresión de color a pH ácidos y su forma incolora se produce a pH neutros o alcalinos. Pertenecen al grupo de los flavonoides y son glucósidos (Acosta *et al.*, 2014).

Antoxantinas (amarillo), son un tipo de pigmentos flavonoide, característicos de las plantas. Solubles en agua con un rango de color que va desde el blanco o incoloro hasta el crema o amarillos. A menudo en los pétalos de las flores (*Ídem*).

Ficobilinas (rojo, azul), son pigmentos propios de algas rojas, pardas y verde azules. Las ficobilinas se asocian formando gránulos (ficobilisomas), colocados sobre las membranas. La excitación de sus electrones es responsable de la absorción de luz del espectro visible y su utilización fotosintética, son muy eficaces para transferir energía. El color intenso de las ficobilinas puede enmascarar el verde de las clorofilas. Se distinguen dos grupos: Ficocianina (azul) y ficoeritrina (rojo) (López, 2013).

- Fotomorfogénesis: se define como la influencia de la luz sobre el desarrollo de la estructura de las plantas. La luz es importante por la cantidad (la intensidad de radiación) como por la calidad de luz (intervalo de longitud de onda) recibida para los cultivos. La luz tiene efectos morfológicos en las plantas, como son:

a) Tolerancia a la luz según los intervalos de intensidad en los que prosperen mejor, como plantas heliófilas (de sol), plantas umbrófilas (de sombra) y plantas indiferentes.

b) Etiolación, condición que se presenta cuando la intensidad de luz no es suficiente para el desarrollo normal de las plantas, puede formarse órganos en la oscuridad. Éstas tienden a incrementar el alargamiento del tallo y además de entrenudos largos y delgados, las plantas presentan clorosis general y malformación en las hojas.

c) Fototropismo, donde la dirección de la que proviene la luz, determina el alto grado de dirección del crecimiento de los tallos y las hojas. El tallo se encorva hacia la fuente de luz, la raíz se aleja de dicha fuente y las hojas adquiere una posición en la que la superficie ancha del limbo queda perpendicular a los rayos de luz (Torres, 2006).

- Fotosíntesis: proceso que realizan las plantas al descomponer moléculas de agua y dióxido de carbono CO_2 , mediante la energía solar, generando compuestos orgánicos ricos en energía, con liberación de oxígeno.

Esta energía química es almacenada en forma de diversos compuestos (hidratos de carbono, principalmente, ATP Y NADPH). Mediante este procesos se fija el carbono en las moléculas de hidratos de carbono y se liberan oxígeno y compuestos altamente energéticos (ATP y NADPH), que serán posteriormente utilizados por las plantas para formar aminoácidos, ácidos orgánicos, mismos que son transportados a las zonas de crecimiento, donde pasarán a formar parte de la estructura de las plantas, contribuyendo a la generación de biomasa (Reyes, 2017).

La asimilación máxima de CO₂ de las plantas coincide con la capacidad de absorción de luz por la clorofila, ya que la mayor intensidad fotosintética se detecta en las bandas roja y azul (Torres, 2006).

El intercambio gaseoso se efectúa a través de la epidermis y raíz, sin embargo la gran cantidad de estomas en una hoja así como su estructura estomal, determinan que en éste órgano los cambios gaseoso sean más intensos. El aire penetra por los estomas lenticelos, el oxígeno se disuelve en la sabia y ésta lo conduce a las células de todos los órganos de la planta y recoge todo el dióxido de carbono y agua para expulsarlo a través de los mismo orificios (Torres, 2006).

2.3. Variedades comunes de café en producción

En México se cultivan dos especies de café: *Coffea arabica* L. la de mayor importancia en extensión y difusión y *Coffea canephora* P., ubicada principalmente en regiones de clima cálido.

La producción de café en México se sustenta en el cultivo de la especie *C. arabica*, la cual está representada, a nivel mundial, por un gran número de variedades comerciales; en México se tienen las siguientes: Typica, Borbón, Caturra, Mundo Novo, Pluma Hidalgo, Maragogipe, Garnica, Catucaí y Catimor (Escamilla, 1993), las cuales se describen brevemente a continuación:

2.3.1. Catucaí

Con este nombre se denomina la cruce de las variedades Icatú (Robusta \times Bourbon \times Mundo Nuevo) con Catucaí (Mundo Nuevo \times Caturra). Actualmente ésta variedad está cobrando gran importancia en Brasil, con resistencia moderada a la roya, alta productividad y tolerancia a la sequía. Existen dos variedades, Catucaí Amarillo y Catucaí Rojo. Se inicia su evaluación en algunas regiones de México (Zamarripa y Escamilla, 2016).

Una planta de porte bajo con un buen potencial de rendimiento, el color de brote de hoja es verde, y de calidad estándar en Centroamérica. Muy alta susceptibilidad a la roya, altitud óptima mayor a 1300 msnm (WCR, 2016).

Cruce entre Mundo Novo de alta productividad y la compacta Caturra, realizada por el Instituto Agronómico de Sao Paulo en Campinas, Brasil. La variedad fue liberada en 1968 después de la selección pedigree (selección de plantas individuales a través de generaciones sucesivas).

2.3.2. Garnica

Está formada por generaciones avanzadas de la cruce entre Mundo Novo 15 y Caturra amarillo 13. Se considera el primer híbrido de café originado en México, desarrollado por el INMECAFE en el Campo experimental Garnica, en Xalapa, Veracruz, donde adquiere el nombre (Escamilla *et al.*, 2014).

La distribución comercial de semilla y pesetilla a cafecultores mexicanos inició en 1978, en la generación F3. La variedad se constituye de 18 selecciones de porte bajo, de gran capacidad de producción y excepcional vigor (Escamilla, 1997).

Esta variedad reúne ventajas de los progenitores con menor exigencia a sombra, precoz, fácil de cosechar y alta producción en campo (Zamarripa y Escamilla, 2002). Es de producción alta y vigor excepcional.

Planta de porte piramidal, alargado e intermedio entre Mundo Novo y Caturra, su tallo es fuerte con entrenudos de tamaño medio; las hojas maduras se caracterizan por su color verde oscuro, con nervaduras notorias y el margen de la hoja muy ondulado Las hojas

tiernas se caracterizan por su color verde claro, existen selecciones de frutos de color rojo y amarillo, por sus maduración se asemeja a Mundo Novo (Zamarripa y Escamilla, 2016).

Fue liberada de forma prematura por lo que es propensa a segregar, con tendencia a porte alto, susceptible a roya. La producción reportada por el INMECAFÉ es de 6.5 kg de café cereza por planta (44 Qq ha⁻¹), en densidades de 1,660 cafetos y con registros de seis cosechas (Rivera, 1990). Castillo *et al.* (1997) reportaron niveles de producción desde 12 hasta 43 Qq ha⁻¹. La calidad en taza se considera buena (INIFAP, 2013). Actualmente se dispone de Garnica con niveles de mayor estabilidad (Zamarripa y Escamilla, 2016).

En cuanto a calidad, el peso del fruto maduro varía de 1.68 a 1.75 g; los rendimientos agroindustriales de cereza a pergamino van de 251 a 266, de pergamino a oro son de 56.6, y la proporción de grano normal fluctúan de 85.7 a 88.5 %. La evaluación sensorial muestra presencia de notas aromáticas de caramelos, chocolates, nueces, frutales y pirolíticas (Escamilla, 2007).

Algunas desventajas reportadas en Veracruz son las siguientes: ciclo productivo o longevidad corta, requiere mayor fertilización, susceptible a roya, frutos maduros poco persistentes (Zamarripa y Escamilla, 2016).

2.3.3. Geisha

Es una variedad originaria de Etiopía, identificada dentro del subtipo Typica, y una de las variedades de porte alto más exclusivas, ya que su grano se cataloga como uno de los más exóticos y es altamente cotizado por su calidad; se le han encontrado sabores, esta variedad es un referente para calidad a la taza en aspectos de catación de café (INIFAP, 2013).

En México esta variedad fue introducida por INMECAFE y se cultiva en algunas regiones cafetaleras de Veracruz y Oaxaca. En la actualidad existe interés por su cultivo por sus características de resistencia, productividad y calidad. Es resistente raza II de la roya, planta vigorosa con abundante ramificación. Sus ramas se desarrollan en un ángulo de 45° (Escamilla *et al.*, 2014).

Las hojas nuevas son bronceadas, las hojas adultas son gruesas, coriáceas, cóncavas, oscuras y de color mate. Las ramas presentan una curvatura característica en forma de S. Frutos más grandes y largos que los de la variedad *Typica*, de color rojo y con maduración tardía, recomendable su siembra para altitud mayor de 1,300 msnm.

En características organolépticas, *Geisha* destaca por su gran dulzura y sabor limpio con notas que van desde frutas rojas a cítricos, también es frecuente encontrar notas a cacao y canela y aromas florales a jazmín (Soto y Rojas, 1994).

Tiene una calidad excepcionalmente alta a gran altura. El término “*geisha*” se suele aplicar a otras variedades que no comparten la misma genética del *Geisha* de Panamá. Densidad de siembra similar al *Borbón* (3,000-4,000 plantas ha⁻¹). Potencial de rendimiento medio, es de porte alto, recomendable para alturas mayores de 1,200 msnm, susceptible a nemátodos, antracnosis de la cereza, el tamaño del fruto es promedio y tardía para la primera cosecha (WCR, 2016).

Esta variedad se evaluó en Oaxaca, el peso del fruto maduro de 1.8 g, rendimiento agroindustrial de cereza a pergamino 277, de pergamino a oro 55.7, con 85 % de granos normales y 21.6 % de grano superior a zaranda 19. En la evaluación sensorial destacan notas aromáticas a caramelos, frutales y chocolates (Escamilla, 2007).

2.3.4. Oro Azteca

Es el resultado de la cruce *Caturra Rojo* x *Híbrido de Timor*, la variedad *Caturra Rojo* le confiere características de porte bajo y rendimiento alto, mientras que el *Híbrido de Timor* le otorga la resistencia a *Hemileia vastatrix*. Este cruzamiento lo efectuó el Dr. Aníbal J. Betancourt en el CIFIC en 1959 (INIFAP, 2013).

En 1981, el INIFAP recibió e instaló en su Campo Experimental Rosario Izapa, localizado en Chiapas, progenies avanzadas de cafetos, los cuales fueron evaluados para conocer sus características agronómicas (Escamilla *et al.*, 2016).

Variedad de porte bajo, color del brote de hojas verde, la semilla es grande, resistente a varias razas de roya, recomendada para una altura de 800-1,500 msnm, tiene un alto

potencial de rendimiento y cuenta con buena calidad en taza (Grupo Técnico Interdisciplinario de Café, 2017).

Adaptada para las zonas cálidas y suelos ácidos, ricos en aluminio. Variedad de alto producción. Potencial de calidad mostrado en altura bueno, densidad de siembra similar al Caturra (5,000-6,000 plantas ha⁻¹). Susceptible a nemátodos, antracnosis de la cereza y al ojo de gallo. El tamaño del fruto es promedio y años para la primera cosecha promedio, el color de brote de la hojas es verde (WCR, 2016).

El INIFAP reporta que su productividad varía de 32.2 a 55.2 quintales por hectárea y con un promedio de 40 quintales (Zamarripa y Escamilla 2002). En Huatusco, Veracruz la productividad varía de 3.1 a 5.7 kg de café cereza por planta (Figueroa, 2002), y en el Valle Nacional, Oaxaca de 5.9 a 8.7 kg de café (Carrión, 2002).

El peso del fruto maduro varía de 1.55 a 1.71 g, los rendimientos agroindustriales de cereza a pergamino, son de 248 a 263, de pergamino a oro de 55.8 a 57.0; y la proporción de granos normales va de 78.3 a 86.5 %. En la evaluación sensorial las notas aromáticas encontradas son caramelos, chocolates, frutales y especias (Escamilla, 2007).

2.3.5. Sarchimor

Variedad originaria de Portugal, proviene del cruzamiento entre las variedades Villa Sarchi 970/10 y CIFC 8332. Se introdujo a América; la generación F2 fue denominada LC 1669 por el Instituto Agronómico de Campinas en Brasil. El material Sarchimor T 5296 se está seleccionando en Honduras, Costa Rica y México (Zamarripa y Escamilla, 2016).

También se le denomina Cuscatleco (El Salvador, 2007) y Parainema (Honduras, 2010). Algunas líneas muestran porte bajo, brotes de color verde oscuro, productividad similar y superior a Caturra y resistencia al nematodo *Meloidogyne exigua*.

En México, el INIFAP evalúa la resistencia de este material a nemátodos. En Puerto Rico, a este material se le denomina Limani; fue introducido por la UACH en 1997, donde se evalúa en suelos infestados de nemátodos en la región de Huatusco, Veracruz.

Densidad de siembra similar al Caturra (5,000-6,000 plantas ha⁻¹), variedad de porte bajo, la semilla es grande, con alto potencial de rendimiento, resistente a varias razas de roya, y algunos nemátodos (*Meloidogyne exigua*), altura de siembra recomendable entre 600-1,200 msnm, y cuenta con buena calidad en taza (WCR, 2016).

2.3.6. Typica 949

Es originaria de Etiopía, se introdujo a América en la Guayana Francesa en 1715, fue la primera variedad cultivada en América. En 1790 el español Juan Antonio Gómez de Guevara, importó cafetos de Cuba y los plantó en Córdoba, Veracruz (Zamarripa y Escamilla, 2002).

Este material ha sido la base para el desarrollo de otras variedades y se ha empleado como patrón de referencia o comparación. La planta es de porte alto y en libre crecimiento puede alcanzar los 4 a 6 metros de altura considerándose porte alto y de forma piramidal. La ramificación no es abundante, los tallos son cónicos y flexibles; los entrenudos son largos. El ángulo de inserción del tallo con las ramas primarias varía de 50 a 70°.

Las hojas jóvenes son de color bronce, las hojas maduras son de forma lanceoladas de color verde oscuro, lisas y brillosas con nervaduras poco definidas, sus ramas destacan por su gran resistencia y flexibilidad, son largas al igual que la distancia entre nudos (Escamilla *et al.*, 2016).

Aunque es una garantía para los productores de escasos recursos porque saben que es un cultivar noble, debido a que produce sin hacer grandes gastos en la finca. Actualmente con los precios bajos, muchos productores han optado por cultivar esta variedad (Escamilla, 1993).

Uno de los cafés más importantes cultural y genéticamente de *C. arabica* en el mundo, con alta calidad en Centroamérica. Bien adaptado a las condiciones más frías. Densidad de siembra similar al Borbón (3,000-4,000 plantas ha⁻¹). De porte alto, potencial en taza muy bueno, bajo potencial de rendimiento, recomendable para alturas mayores de 1,300 msnm, el color del brote de las hojas es bronce, susceptible a nemátodos, antracnosis de la cereza, su tamaño del fruto es grande y tardía para la primera cosecha (WCR, 2016).

Es muy susceptible a las enfermedades como la roya (*Hemileia vastatrix*) y requemo (*Phoma costarricensis*), tolera condiciones adversas de baja fertilidad y sequía (Zamarripa y Escamilla, 2002).

A pesar de considerarse baja su productividad, la selección Typica 947 produce de 2.7 a 4.9 kg de café cereza por planta en Huatusco, Veracruz (Figuroa, 2002), y en el Valle Nacional, Oaxaca, su producción es de 2.7 a 5.9 kg (Carrión, 2002).

La variedad Typica es apreciada por su calidad, tiene una buena bebida que destaca por su limpieza, dulzura y buen cuerpo. El peso promedio del fruto es de 1.60-1.62 g, rendimiento agroindustrial de cereza a pergamino de 246, de pergamino a oro de 55.7 y 91 % de granos normales. Las notas aromáticas son diversas, caramelos, chocolates, nueces, flores, café tostado, frutales, pirolíticos, humo y especias (Escamilla, 2007).

2.4. El vivero tecnificado

Los viveros pueden realizarse de tres formas: directamente al suelo, en bolsas y en los últimos años, en contenedores dentro de los viveros con mayor control técnico. El sistema de producción de planta de café más utilizado es el de viveros en bolsa (López *et al.*, 2009).

Todavía en la primera mitad del siglo pasado, la planta de café comúnmente usada para establecer plantaciones nuevas o hacer reposiciones de fallas en fincas en producción, eran las que crecían naturalmente debajo de los cafetos de la finca “planta de arranque”.

Actualmente muy pocos cafecultores utilizan este medio en sus fincas para resiembras o para establecer cafetales nuevos. El uso de bolsas de polietileno en vivero es un método más eficiente para obtener material de plantación de café. Sus ventajas son el poder seleccionar la plántula a trasplantar, preparar un sustrato adecuado para su crecimiento, facilitar el riego y la aplicación de fertilizantes, hacer más eficaz el control de plagas enfermedades y obtener plantas de mayor calidad agronómica (INIFAP, 2013).

Cuando el vivero se hace en bolsa con fondo se debe cuidar que al momento de la siembra no quede torcida la raíz principal. Se recomienda recortar el fondo y a la vez la raíz principal si esta torcida o doblada (Paz y Escamilla, 2016).

Ahora bien, durante los estadios de semilleros y vivero la plántula se desarrolla bajo sombra debido a que en estado de plántula, el cafeto se considera de baja capacidad fotosintética, dado el corto tiempo de los semilleros, esta condición es ventajosa, se requiere de mínima fertilización para tener plantas de buen vigor (Alejo, 1991).

La función esencial que desempeña la sombra es la de regular los procesos fisiológicos del café, como la intensidad de la fotosíntesis (respiración y nutrición a base de carbono) de la hoja es mayor cuando la luz es difusa que a plena luz (sin sombra) y que la mayor intensidad ocurre por las mañanas y pasado el mediodía.

El uso de malla sombra permite controlar la humedad relativa y la temperatura, las cuales se emplean especialmente en viveros y jardines para dar sombra a plantas ornamentales y semilleros. Con las modificaciones de microclima que causan las mallas sombras, se aporta uniformidad en la sombra, se distribuye uniformemente la humedad en todo el suelo, y por ende mayor calidad de plántulas, se puede establecer un desarrollo potencial adicional para el manejo de cultivos (Alejo, 1991).

Estas mallas son fabricadas con polietileno, en porcentajes de baja y alta densidad, incorporándose aditivos antioxidantes e inhibidores ultravioletas para defenderlas de la acción degradadora de los rayos solares (*Ídem*).

Existen comercialmente mallas de colores con propiedades fotométricas especiales para mejorar el aprovechamiento de la radiación solar. Estudios indican que el uso de mallas de colores altera la cantidad y calidad de luz transmitida sobre las plantas.

La utilización de mallas plásticas para sombrear o como pantallas termoreflectoras es una técnica de control de la temperatura cada vez más extendidas en la horticultura protegida, con la cual se disminuye la intensidad de radiación, para evitar altas de temperaturas durante los períodos cálidos (Valera *et al.*, 2001).

Estas 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 *et al.*, 2001; Shahak *et al.*, 2004).

La nueva tecnología fomenta el incremento de rendimiento comercial, la disminución de desórdenes fisiológicos y respuestas fisiológicas relacionadas al tamaño, peso, color, amarre y tiempo de cosecha del fruto (Shahak *et al.*, 2008), y 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 de alargamiento de 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) y roja lejana (700 a 800 nm), percibidas por fotorreceptores biológicos, principalmente fotocromos y criptocromos, presentes en pequeñas cantidades en las plantas (Decateau *et al.*, 1993).

El grado de sombreado de la malla se escoge de tal forma que al mediodía las plantas reciban, por lo menos, una cantidad de radiación cercana a su punto de saturación lumínica (Matallana y Montero, 2001).

2.4.1. Uso de mallas sombras de diversos colores

A continuación se describen algunas características de cada color de malla sombra

➤ Malla sombra aluminizada: son utilizadas principalmente en cultivos protegidos de plantas hortícolas para control de la luz y la temperatura (Ayala *et al.*, 2011). Tanto las mallas negras como las aluminizadas buscan disminuir la intensidad de la radiación, para evitar altas temperaturas durante periodos cálidos.

Sombrea por igual en toda la banda del espectro electromagnético, causando disminución de fotosíntesis y consecuentemente en el rendimiento agrícola (Valera *et al.*, 2001).

Las mallas aluminizadas que se caracterizan por modificar el espectro de transmitancia de la luz, dependiendo de la textura, pigmentación, densidad y porosidad del tejido (Abdel y Helal, 2010).

Leite (2001), observó en Brasil que diferentes cítricos de vivero bajo malla aluminizada, adelantaron en cuatro meses la producción de plantas preparadas para el trasplante, comparado al tiempo normal. Sin embargo, otros autores como Nomura *et al.* (2009), en su evaluación sobre el crecimiento y producción de flores de anturio (*Anthurim andraeanum* Lindman) cultivadas en Brasil, afirmaron que el sombreamiento de la malla no afectó el inicio de producción, ni causó precocidad en la fenología de la flor.

Rodríguez y Morales (2014) concluyeron que se produce un mayor retraso en la cosecha de frutos en plantas de arándanos bajo la malla aluminizada con 40 % de sombra, alterando el desarrollo fenológico de las plantas y extendiendo a su vez la duración de sus etapas, principalmente en la fase de fruto verde en crecimiento.

➤ Malla sombra azul: de acuerdo a Márquez *et al.* (2014), las plantas de tomate cherry desarrolladas bajo malla sombra azul, roja, negra y perla, registraron un mayor incremento de materia seca de la parte aérea respecto al testigo, por lo que el incremento en la altura repercute en un mayor número de hojas y por tanto en un mayor contenido de clorofila (Rodríguez *et al.*, 1998).

Páez *et al.* (2000), indicaron que en la malla azul se producen hojas más grandes pero de menor espesor. Por su parte Reyes (2017) evidenció que bajo malla azul, las plantas de café desarrollan poco diámetro de tallo, con una media de 2.7mm. También obtuvo los valores más bajos de peso de materia en base fresca, con una media de 9.7 g.

➤ Malla sombra gris: estudios informan mayor número de frutos en plantas de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo malla gris, blanca y roja en comparación con plantas bajo malla negra (Retamales *et al.*, 2008).

➤ Malla sombra negra: es la más utilizada en la horticultura protegida, por su menor costo, sin embargo, es muy 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 en el rendimiento (Valera *et al.* 2001).

El tejido de la malla plástica negra sólo permite la entrada de la radiación por los orificios de la malla, la cual no es filtrada selectivamente (Tinyane *et al.*, 2013). Es tan poco selectiva que reducen tanto la transmisión de radiación fotosintéticamente activa como la

del infrarrojo cercano (Hemming *et al.*, 2006) y no contribuyen a optimizar la fotosíntesis y la fotomorfogénesis, procesos trascendentales en el crecimiento y desarrollo vegetal.

El uso de malla sombra color negro en el cultivo de Pimiento Morrón (*Capsicum annum* L.) es una estrategia utilizada para proteger a las plantas de la radiación solar directa, reducir la temperatura y evitar la quemadura por el sol en frutos (Ayala *et al.*, 2015).

La malla negra aumentó 9.1 % la humedad relativa con respecto a la humedad relativa registrada a cielo abierto (Ayala *et al.*, 2015), las mallas reducen la ventilación y por consiguiente, la eliminación de vapor de agua de la casa sombra, por lo que en la mayoría de las veces la humedad interna llega a ser mayor que la externa.

La humedad relativa es transcendental porque en los cultivos protegidos interviene en varios procesos, como el amortiguamiento de los cambios de temperatura, transpiración, crecimiento de tejidos, viabilidad del polen para la fecundación del ovario de las flores y desarrollo de enfermedades (Bastida y Ramírez, 2008; Lorenzo, 2012).

El uso de malla negra 50 % en producción de Albahaca (*Ocimum basilicum* L) incrementó la altura de las plantas y redujo el peso seco, diámetro del tallo y número de brotes, en comparación con malla perla, azul, roja y a pleno sol, pero se redujo el contenido de aceite en 34.3 % con respecto a los demás (Martínez *et al.* 2016).

Moniruzzaman *et al.* (2009), observaron que las plantas bajo cubierta negra generan mayor dominancia apical y consecuentemente mayor altura que las establecidas sin malla sombra o mallas de colores claros.

➤ Malla sombra perla: La utilización de mallas perla en plantas de tomate mostró mejor calidad, lo que se observó con tallos más gruesos y menos largos, menor área foliar específica, y mayores contenidos de clorofila foliar (Ayala *et al.*, 2011) o bien para el ahorro de energía en invierno (Anglés, 2001).

Existen investigaciones donde se destaca que la malla con 50 % sombra es la que más permite transmitir la radiación total, en comparación con mallas roja, gris, azul, negra y aluminizada (Ayala *et al.*, 2011).

De acuerdo con Márquez *et al.* (2014) se obtuvieron mejores rendimientos en plantas de tomate Cherry bajo malla sombra perla, considerándola como alternativa viable para la producción. Se observó diferencias en el rendimiento, debido al número de frutos por planta y no al peso promedio de los mismos, el incremento en rendimiento también se reportó para el cultivo de pepino y pimiento morrón.

Diversos estudios han encontrado que las plantas desarrolladas bajo malla perla tienen hojas más grandes, de mayor espesor y fotosintéticamente activas (Oguchi *et al.*, 2003).

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

Reyes (2017) reportó que plantas de café de la variedad Geisha, presentaron el mayor diámetro de tallo bajo malla sombra perla, con un promedio de 3.3 mm, lo cual pudo deberse que al no entrar en competencia por luz, el tallo de las plantas no presentaron etiolación. También destacaron la malla roja, aluminizada, y gris, por encima de la malla negra y azul. Asimismo, obtuvo el mayor valor en pares de hojas, con una media de 6.7 pares de hojas, y encontró que los valores más altos sobre peso de materia en base fresca se produjeron en la malla perla y roja, con una media de 12.3 g. Finalmente registró los mejores pesos de materia en base seca, con valores de 3.3 y 3.2 g, respectivamente.

➤ Malla sombra roja: dentro de las mallas más estudiadas se encuentra la malla roja, la cual transmite luz del espectro de ondas rojo y rojo lejano por sobre 590 nm (Oren *et al.*, 2001), que comparada con malla negra del mismo porcentaje de sombra, difunde más luz (Shahak *et al.*, 2004) y protege 20 % más contra radiación UV, que evita la fotodegradación de los cloroplastos (Leite, 2005).

Rodríguez y Morales (2014) encontraron en el cultivo de arándanos, que los frutos bajo malla sombra roja 40 % obtuvieron mayor diámetro, los frutos tardaron más en madurar, por lo tanto, siguieron creciendo en comparación con la malla negra y las plantas sin malla. En malla roja 18 % se presentaron la mayor cantidad de bayas junto con la mayor firmeza que la malla aluminizada, malla negra y el testigo sin malla. Se observó una menor

temperatura, especialmente bajo sombra de malla roja respecto al control sin malla, lo que probablemente afecto principalmente el crecimiento al hacerlo más prolongado y la maduración de los frutos (Me *et al.*, 2005). Otra probable explicación puede deberse a una respuesta fotomorfogénica inducida por el fitocromo.

Shahak *et al.* (2008) constataron un efecto similar encontrado en el cultivo de uva de mesa cv Red Globe, en Israel, cultivada bajo sombra de malla roja, la cual logró mayor calibre respecto al control.

Oren (2001) observó que el sombreado de las mallas rojas mejora la relación de luz rojo: rojo lejano ambiente, de manera que ésta relación influye particularmente en los procesos mediados por el fitocromo y también el proceso fotosintético. El fitocromo es más activo biológicamente en función de una mayor cantidad de luz roja lejana, que recibiría el cultivo bajo malla roja (Rodríguez y Morales, 2014).

La malla roja 50 % en plantas de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) mostró un mayor peso seco de hojas, inflorescencias y tasa de asimilación de CO₂ y el testigo (sin malla): 22.44 y 23.17 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, respectivamente, en comparación con las mallas perla, negra, y azul (Martínez *et al.*, 2016).

Por su parte, Reyes (2017) reportó que plantas de café de la variedad Geisha, presentaron mejor altura bajo malla sombra roja, con una media de 29.9 cm, por encima de plantas bajo malla azul con 29.1 cm, malla perla con 28.7 cm, malla aluminizada con 27.5 cm, negra con 26.2 cm y gris con 25 cm.

El uso de mallas sombra de colores en diversos cultivos donde se emplearon, han generado distintos resultados, las observaciones de trabajos realizados anteriormente demuestran que el uso de las mallas influyó de diferente forma en los cultivos, aceleraron o retrasaron etapas fenológicas de las especies incluso bajo el mismo color de malla sombra. Además se encontraron diferencias morfológicas en las investigaciones entre las mallas, se percibe un efecto en su aplicación.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del sitio de estudio

El municipio de Huatusco, se encuentra entre los paralelos 19°04' y 19°13' de latitud Norte; los meridianos 96° 41' y 97° 04' de longitud Oeste; y una altitud que va de entre los 400 y 2,000 msnm (Figura 2). Colinda al norte con el estado de Puebla y los municipios de Tlaltetela, Totutla, Sochiapa y Comapa; al este con los municipios de Comapa y Zentla; al sur con los municipios de Zentla, Tepatlaxco, Ixhuatlán del café y Coscomatepec; al oeste con el municipio de Coscomatepec y el estado de Puebla. Presenta un rango de temperatura 16–26 °C y un rango de precipitación 1,100–1,600 mm anuales (INEGI, 2010).

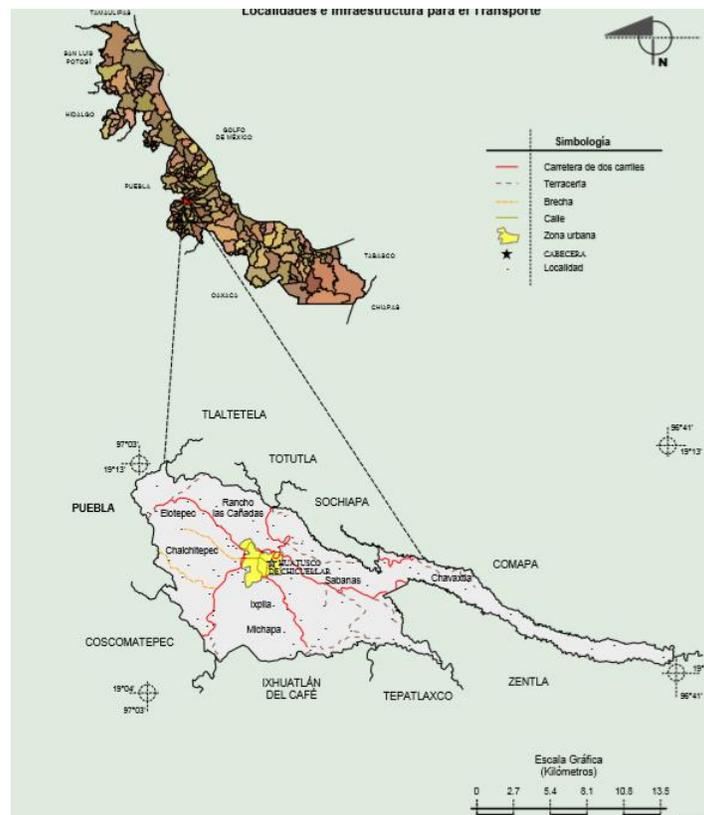


Figura 2. Localización del municipio de Huatusco, Ver. (INEGI, 2010).

3.1.1. Características climáticas y edáficas

El clima que predomina es Semicálido húmedo con lluvias todo el año, seguido de Semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, Cálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media y Cálido subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad. En la Figura 3, se presentan los valores promedio mensual de la temperatura y precipitación. Se observa también el descenso de la precipitación en el mes de agosto, característica de la temporada y de la presencia de sequía intraestival en la región de estudio.

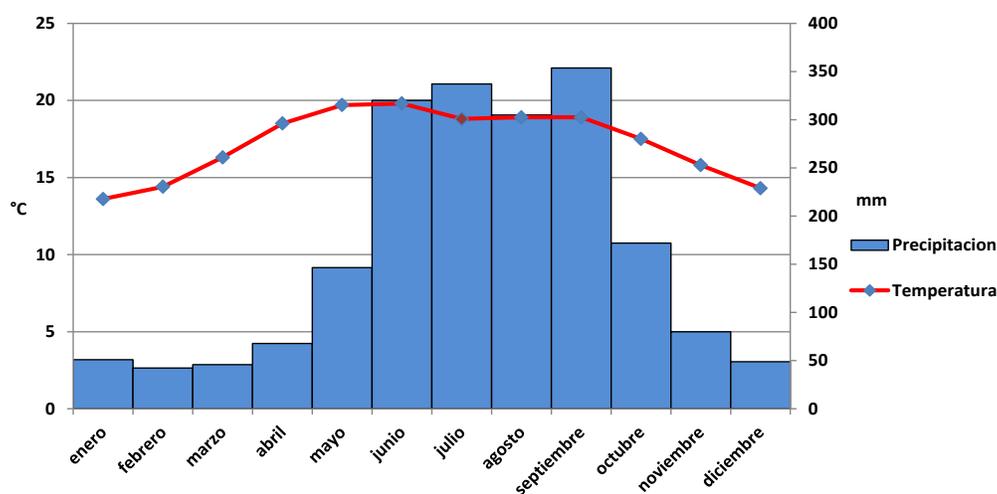


Figura 3. Climograma de Huatusco, Ver. (SNM, 2010).

Edafológicamente se presenta un suelo dominante, Andosol con un 44.28 % de la superficie municipal, Luvisol con 42.88 % y Leptosol con 9.87 % (INEGI, 2010).

3.1.2. Localización del área experimental

El trabajo experimental se realizó en los módulos ya establecidos con diferentes colores de malla sombra (Figura 4 y 5) que se encuentran en el área de vivero del Centro Regional Universitario de Oriente, de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en el municipio de Huatusco, Veracruz, en la longitud Oeste $96^{\circ}57'00''$ y en la latitud norte $19^{\circ}08'48''$, a

1,344 msnm. La zona de estudio se caracteriza por tener clima templado húmedo con la fórmula climática C(m)' w' b (i') g, con una temperatura media anual de 17.2 °C; el mes más caliente es Mayo con 25.8 °C y el mes más frío es Enero con 19.2 °C (SMN, 2010).



Figura 4. Localización del área experimental, Huatusco, Ver. (Google Earth, 2017).



Figura 5. Módulos experimentales (Google Earth, 2017).

3.2. Metodología

La investigación se llevó a cabo en tres etapas; la primera consistió en la búsqueda de información bibliográfica respecto a la producción de café en vivero, problemática en el estado de Veracruz, variedades de café, viveros tecnificados y uso de malla sombra en estas.

La segunda etapa se realizó en campo y consistió en el montaje del trabajo; ya establecidos los módulos experimentales con su respectiva malla sombra de color, se preparó la mezcla del sustrato, compuesta por: 22.58 % Peat Moss, 11.67 % de Agrolita, 63.3 % de lombricomposta, 0.97 % de micorriza o Peat coffe, y 1.45 % de PSD. Se llenaron las charolas grandes y se procedió a la siembra de las seis variedades (Figura 6).

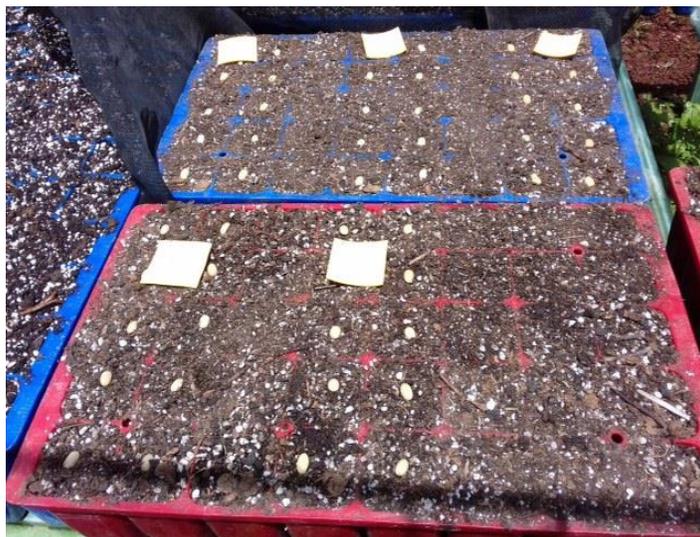


Figura 6. Siembra de las variedades de café.

Posteriormente se registraron los datos de temperatura y humedad, al interior de cada módulo de las mallas sombra (Figura 7), así como la observación y medición en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Figura 8), y la medición de la actividad fotosintética (Figura 9).



Figura 7. Registro de temperatura y humedad dentro de las mallas sombras.



Figura 8. Medición de altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas.



Figura 9. Medición de radiación fotosintéticamente activa.

La tercera etapa consistió en la sistematización y análisis de la información obtenida en campo.

3.2.1. Diseño experimental

El diseño experimental fue un diseño factorial compuesto de seis colores de malla sombra (rojo, perla, negro, azul, gris y aluminizada) \times seis variedades de café (Catucaí, Garnica, Geisha, Oro Azteca, Sarchimor, y Typica) y una planta correspondió a una repetición, 10 en total.

El diseño de tratamientos se presenta en la Figura 10; se aclara que REP., significa repetición de los tratamientos de 1 a 10.

Factores:		Variedad				
Color Malla sombra	Catucáí	Garnica	Geisha	Oro Azteca	Sarchimor	Typica
Roja	Rep. 1 - 10					
Perla	Rep. 1 - 10					
Negra	Rep. 1 - 10					
Azul	Rep. 1 - 10					
Gris	Rep. 1 - 10					
Aluminizada	Rep. 1 - 10					

Figura 10. Distribución de los tratamientos.

3.2.2. Modelo estadístico

En un diseño factorial, los tratamientos se forman combinando los niveles de los factores en estudio, de manera que el efecto del tratamiento Y_{ij} se considera a su vez compuesto de los efectos de los factores y sus interacciones. Con dos factores en el estudio se tiene:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Tratamiento = factor A + factor B + interacción AB + error experimental

Donde: Y_{ij} = variable de respuesta

μ = media de la variable de respuesta

α_i = factor malla sombra

β_j = factor de variedad

$\alpha\beta_{ij}$ = interacción malla sombra x variedad

ϵ_{ij} = error experimental

Los factores fueron:

- Color de malla: roja, perla, negra, azul, gris y aluminizada.
- Variedades: Catucáí, Garnica, Geisha, Oro Azteca, Sarchimor y Typica 949.

3.2.3. Variables a evaluar

a) Climáticas: Se llevó el registro diario de la temperatura y humedad, dentro de cada módulo, y se elaboraron las gráficas de las tendencias de cada una de ellas. Los datos se tomaron a las 8:00 am y 9:00 am, en horario de invierno y de verano, respectivamente. Estos datos se correlacionaron con el crecimiento y desarrollo de las plántulas de café; asimismo, la medición de la radiación fotosintética activa, con el uso del Medidor de fotosíntesis CI-340, Cid System, disponible en el CRUO.

b) Fenológicas: Las semillas de café fueron sembradas el día 15 de Junio de 2017; se colocaron 10 semillas de cada variedad en los seis módulos con su respectiva malla sombra de color; sobre las charolas se colocó una malla para evitar que las semillas fueran descubiertas por las gotas de agua de la lluvia o el riego al contacto con el sustrato. Se mantuvo dicha malla hasta que empezaron a emerger las plántulas.

- Se determinaron las fases fenológicas de emergencia, soldadito, mariposa, pesetilla, naranjito, plantón. El porcentaje de fin de fase fue del 75 %, es decir cuando 8 plantas de las 10 que había por variedad presentaban el rasgo característico de la fase. A partir de ese momento se continuó hasta la siguiente fase.

c) Efecto de la malla sombra y de la variedad: Para evaluar efecto del color de malla sombra en las condiciones ambientales y el desarrollo de las plantas de café, variedades Catucaí, Garnica, Geisha, Oro Azteca, Sarchimor y Typica 949, se midieron los siguientes:

- Altura de la planta (cm): Los valores de esta variable se determinaron midiendo la distancia desde el cuello de la raíz (punto donde termina la raíz y comienza el tallo) hasta la yema apical. Esta medición se realizó cada 15 días a partir del estado de mariposa (DPEM).

- Diámetro del tallo (mm): Se midió en el cuello de la raíz, igual que la variable anterior, cada 15 días DPEM.

- Número de hojas: Se contó el número de hojas presentes en las plantas de cada unidad experimental, cada 15 DPEM.

- Peso de materia en base fresca (g): De tres plantas por variedad en cada malla sombra, se consideró el peso total de la planta, es decir de la parte aérea y del sistema radicular. Esta variable se evaluó al momento de que la planta estuvo en condiciones para trasplantarse al campo. Después, se separó la parte aérea y la radicular para tener los pesos de forma individual de cada una de ellas. La muestra fue de tres plantas por unidad experimental.

- Peso de materia en base seca (g): Se secaron las tres plantas que fueron pesadas en fresco, en una estufa a 50 °C por 24 horas. Posterior a esto, se separó la parte aérea y radicular para determinar sus pesos de forma individual, con el apoyo de una balanza analítica.

d) Actividad Fotosintética: se registraron los datos de la actividad fotosintética una vez en noviembre, otra en diciembre y una última en abril.

3.2.4. Análisis estadístico

Se analizaron los datos a través del análisis de varianza (ANDEVA) y la prueba de separación de medias por el método de Tukey. Se utilizó una hoja de cálculo de Excel y el programa estadístico STATISTICA (StatSoft, Inc., 2003) para cada variable analizada en este estudio. Se compararon los valores medios y se determinó el valor de p , $\alpha=0.05$, para realizar la prueba de hipótesis siguiente:

H_0 : Las medias de los tratamientos no difieren.

H_t : Las medias de los tratamientos son significativamente distintas.

Sí el valor de p calculado es menor de $p=0.05$, entonces se rechaza la hipótesis nula, y viceversa, se acepta.

3.3. Materiales

- Semillas de café, variedades: Catucaí, Garnica, Geisha, Oro Azteca, Sarchimor, y Typica 949.
- Vivero tecnificado con malla sombra de color: Rojo, Perla, Negro, Azul, Gris, Aluminizada.
- Balanza analítica de precisión VE-204 – Velab, México.
- Vernier.

- Regla.
- Flexómetro
- Bolsas de papel.
- Contenedores hidropónicos de 40 cavidades (400 ml.).
- Sustrato.
- Peat Moss
- Agrolita
- Lombricomposta
- Micorriza o Peat coffee
- PSD (Potencializador Solubilizador Dihidro)
- Sistema de riego.
- Higrotermómetro Mca. TFA.
- Medidor de fotosíntesis CI-340, Cid System.
- Libreta de campo.
- Periódico.
- Cartón.
- Estufa secadora.
- Cámara fotográfica.
- Tablas de registro diario de variables climáticas.
- Tablas de registro fenológico.
- Computadora

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran los resultados obtenidos durante la investigación, donde se evaluó el desarrollo fenológico de seis variedades de café en condiciones de vivero, bajo seis colores diferentes de malla sombra. En el Anexo 1 se presenta un collage de imágenes para ilustrar el desarrollo de la investigación.

4.1. Variables climáticas

➤ Temperatura: Los datos de temperatura ambiental máxima registrada dentro de los seis módulos: malla roja, perla, negra, azul, gris y aluminizada, así como, la temperatura máxima registrada en la estación meteorológica del CRUO, se presentan en la Figura 11.

La malla azul registró en el mes de abril 38 °C, temperatura ambiental máxima mayor que las demás mallas, lo cual puede deberse a que era más pequeña la abertura de la malla, conservando más calor al interior del módulo. La temperatura máxima, más baja se presentó en la malla gris, aluminizada y negra. En general, la temperatura ambiental máxima promedio fue mayor en la malla azul, seguida por la malla perla, roja, negra, aluminizada y por último la gris. Todas las mallas reportaron mayor temperatura ambiental máxima que las registradas en la estación meteorológica.

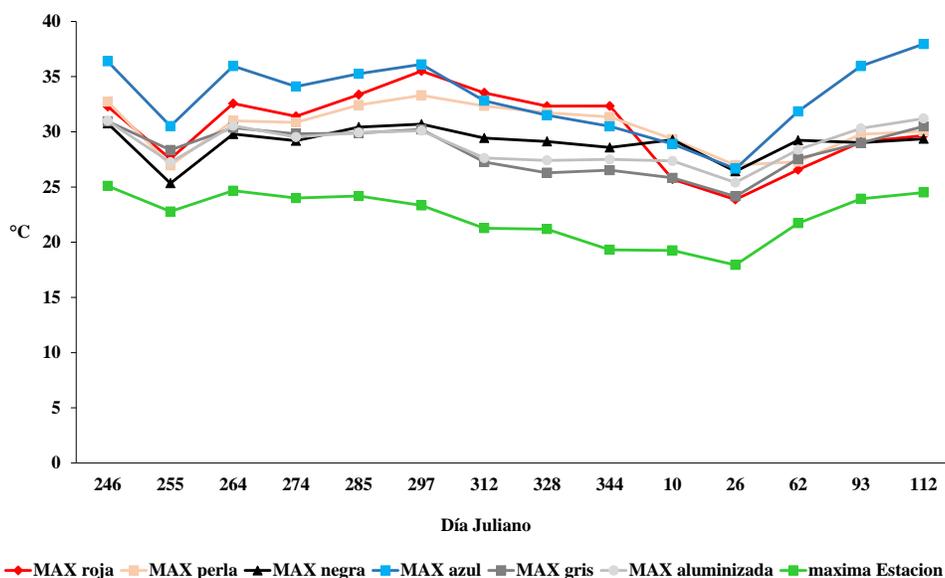


Figura 11. Temperatura máxima ambiental dentro de cada módulo.

Por lo que respecta a las temperaturas mínimas más bajas se presentaron dentro del módulo con la malla gris y aluminizada; es importante mencionar que se presentaron dos heladas, de acuerdo con la estación meteorológica del CRUO, una en el mes de diciembre y otra en enero, por lo que se colocó agribon dentro de los módulos a partir de diciembre y se retiró en el mes de marzo, para reducir el riesgo de daño por helada en las plantas del vivero.

En la Figura 12 se observa que la diferencia entre los diferentes módulos de malla sombra no es muy marcado, aunque sobresale la malla azul, perla y roja con los valores menos bajos. Dentro de la malla aluminizada se registraron los valores más bajos cercanos a los 4.9 °C, en diciembre y principios de enero.

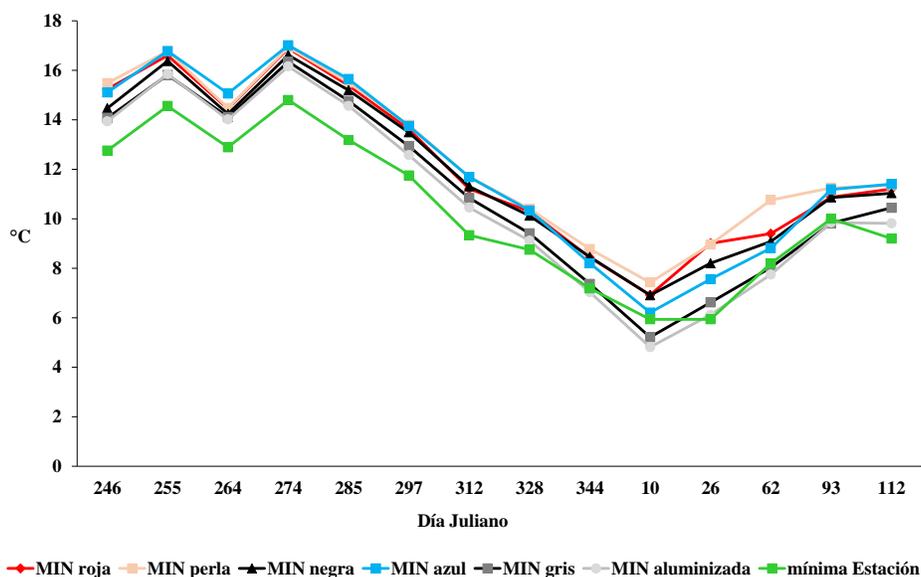


Figura 12. Temperatura mínima ambiental dentro de cada módulo.

➤ Humedad ambiental: La humedad ambiental máxima se presentó dentro de la malla azul, siempre por arriba del 95 %, seguido por la malla perla y aluminizada por arriba del 90 %, seguida por la malla gris; la malla negra se mantuvo en una humedad entre 78- 90 %. Dentro de la malla roja se mantuvo una humedad máxima del 40 %, la cual presentó menor los valores más bajos de humedad. En la Figura 13 se observa una clara diferencia entre ésta y las demás mallas.

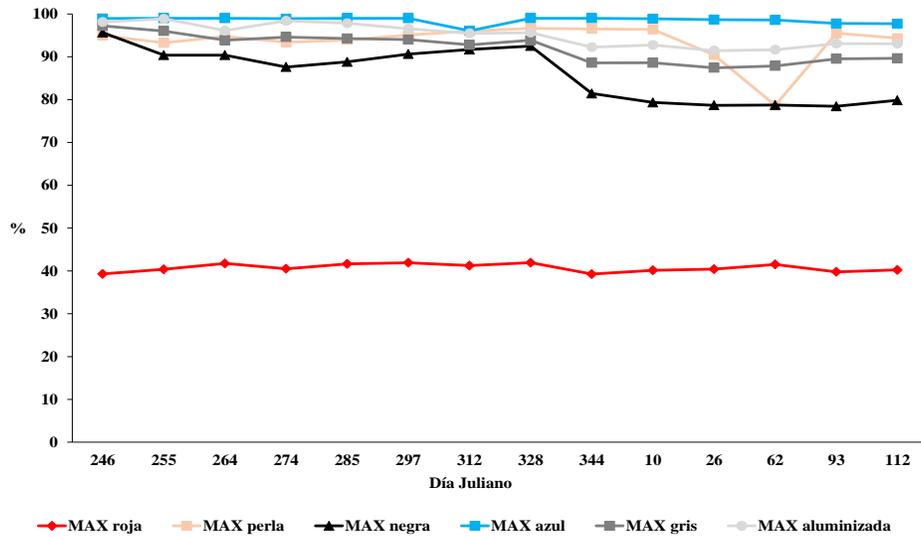


Figura 13. Humedad ambiental máxima dentro de cada módulo.

Los valores de humedad ambiental mínima (Figura 14) en la malla roja fueron los más bajos, con una humedad ambiental presente entre 10-20 %. Mayor porcentaje de humedad se tuvo en la malla aluminizada, gris y negra con un rango entre 30-37 % en promedio. En la malla azul y perla se presentó la humedad ambiental mínima promedio más alta que en las otras, con registros entre 33-40 %.

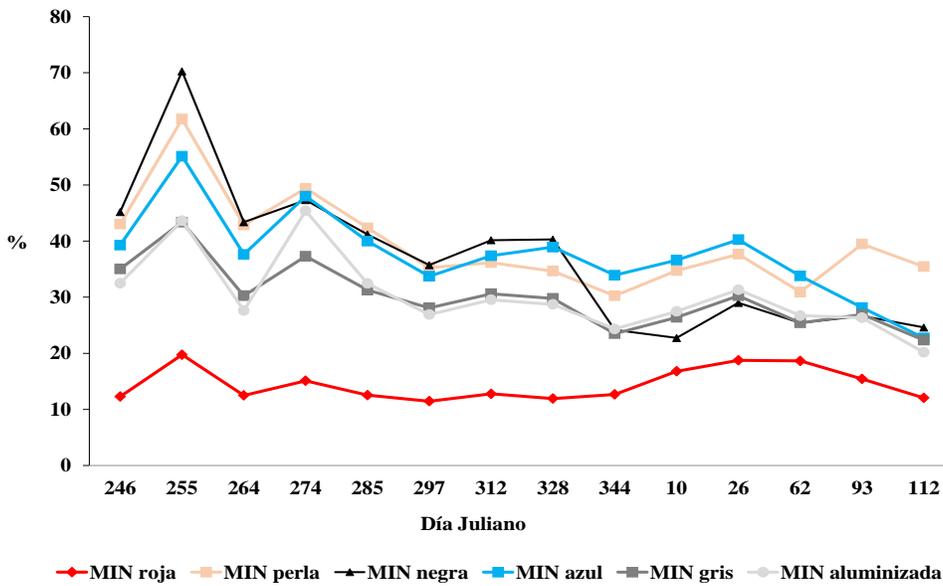


Figura 14. Humedad ambiental mínima dentro de cada módulo.

Ayala *et al.* (2015) destacaron que las mallas reducen la ventilación, y por consiguiente la eliminación de vapor de agua de la casa sombra, por lo que la humedad dentro de cada módulo de malla sombra es mayor que la externa.

En la Figura 15 se observa que la temperatura ambiente matutina más alta se presentó en la malla roja con promedio de 19 °C, en la azul fue en promedio de 18.5 °C, seguida por la malla perla, con 17.7°C, por encima de la malla negra, aluminizada y gris, con 16.7, 16.3 y 16.2 °C, respectivamente.

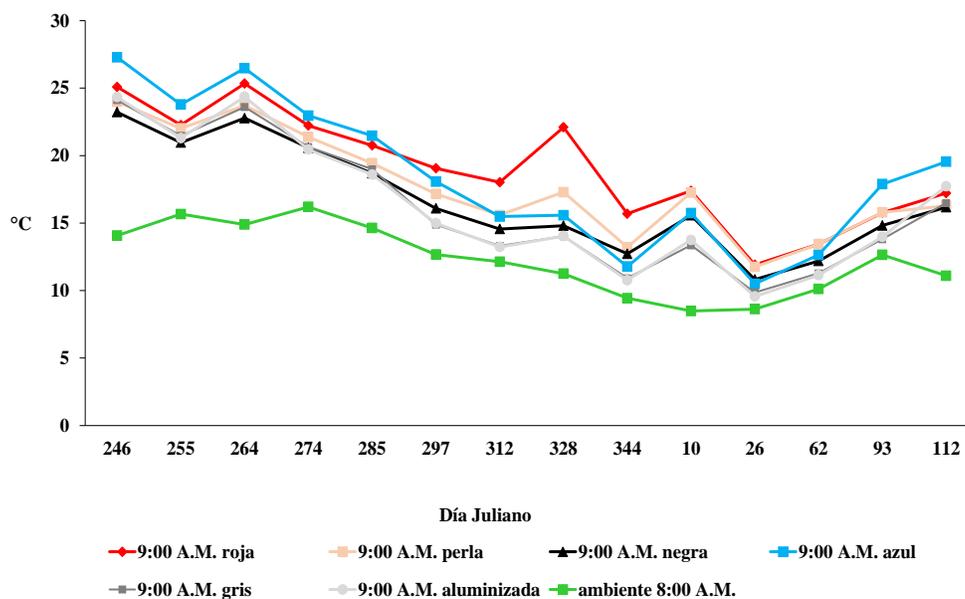


Figura 15. Temperatura ambiental matutina dentro de cada módulo.

Asimismo, la temperatura más alta se encontró dentro de la malla azul con un promedio de 28.8 °C, por encima de las demás mallas (Figura 16). Seguido por la malla roja, perla, aluminizada, gris y negra, con 26.7, 26.5, 25.6, 25.3, y 25.2 °C, respectivamente.

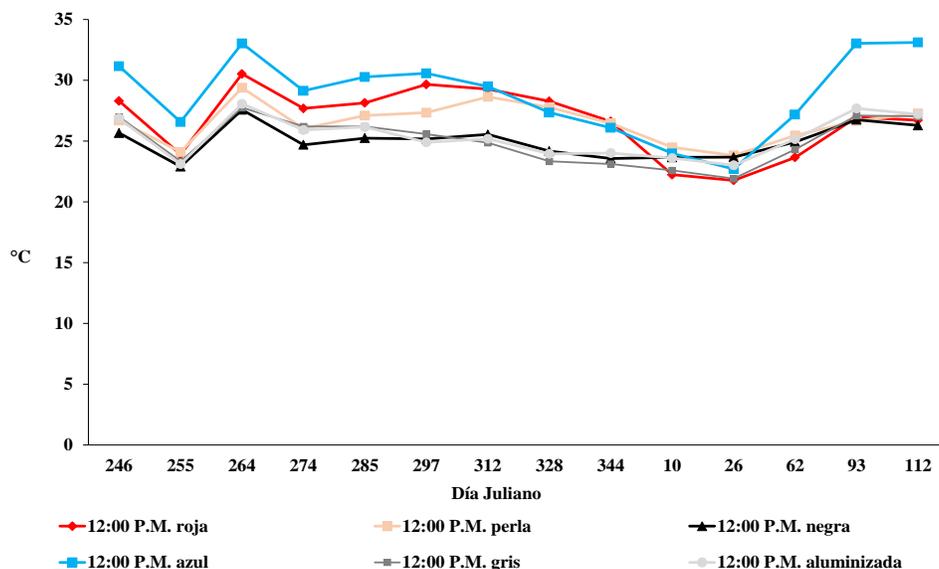


Figura 16. Temperatura ambiental al mediodía dentro de cada módulo.

La malla roja con un promedio de 31 %, y la malla azul con 89 %, fueron los valores más bajos y altos, respectivamente, de la humedad ambiental presente en la mañana (Figura 17). A ésta le sigue la malla perla, aluminizada, gris, y negra con 85.5, 85.4, 81.2, y 78.2 %, respectivamente. La roja fue la malla con la humedad relativa más baja, con 31%.

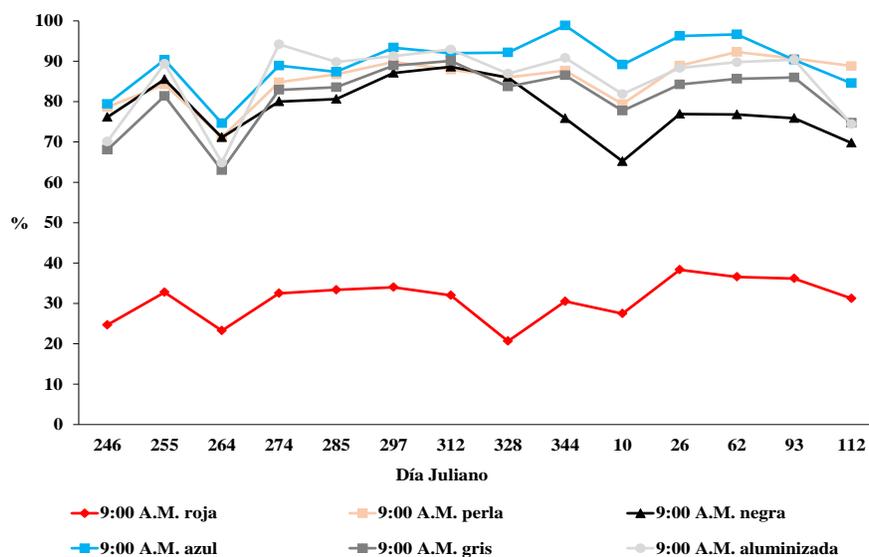


Figura 17. Humedad ambiental matutina dentro de cada módulo.

Por otro lado, en la malla roja se presentó la humedad ambiental más baja registrada al medio día con un 18 %. La humedad más alta registrada al medio día se presentó en la malla perla con 52 % y la malla azul con 49 %.

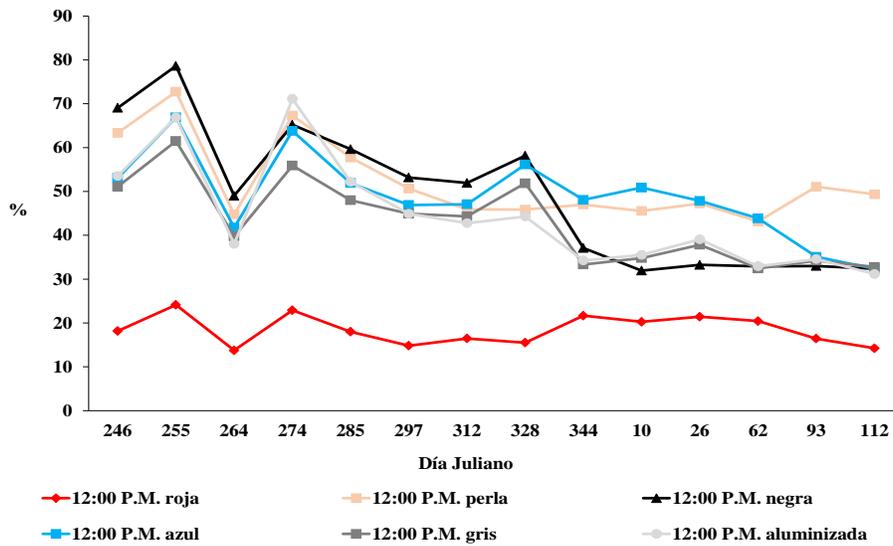


Figura 18. Humedad ambiental del mediodía dentro de cada módulo.

4.2. Fenología

➤ Fases fenológicas: Las primeras plantas germinadas se observaron 40 días después de la siembra (DDS), con el 9.4 % de emergencia. Inicialmente se observó un mayor porcentaje en la malla azul y malla gris; además, las variedades Garnica y Oro Azteca, presentaron mayor dificultad para germinar mientras que Typica 949, Sarchimor y Geisha fueron las que respondieron mejor.

Las variedades que alcanzaron más del 75 % de germinación en menos tiempo fueron Catucaí, Geisha, Sarchimor y Typica 949, a los 57 DDS. Se registró el 94.2 % de emergencia a los 65 DDS, con mayores valores en la malla gris, azul y negra (Tabla 1).

Tabla 1. Porcentaje final de germinación de cada variedad en los módulos de colores.

Variedad	Color de malla					
	Roja	Perla	Negra	Azul	Gris	Aluminizada
Catucaí	10	9	10	9	9	10
Garnica	7	10	8	10	10	9
Geisha	10	9	10	10	9	10
Oro Azteca	9	7	9	8	10	9
Sarchimor	10	10	10	10	10	9
Typica 949	10	10	10	10	10	9
% total	93.33	91.67	95.00	95.00	96.67	93.33

En la Tabla 2 se presentan los días que tardaron las variedades dentro de cada módulo para llegar a la fase de naranjito. Los datos registrados con valor cero se debe a que hubo pérdidas a causa de la enfermedad de requemo (*Phoma costarricensis*), la cual daño severamente en la zona por las bajas temperaturas y principalmente las plantas dentro de los módulos con mallas sombra gris, aluminizada y negra.

Tabla 2. Tiempo que tardó cada variedad en días, a partir de la siembra para alcanzar determinada fase fenológica, en los diferentes colores de malla sombra.

Color de malla	Variedad	Grapa	Soldadito	Mariposa	Pesetilla	Naranja
Roja	Catucá	47	64	81	109	163
Roja	Garnica	69	81	90	120	163
Roja	Geisha	57	64	81	109	179
Roja	Oro Azteca	69	81	99	132	179
Roja	Sarchimor	47	64	81	109	163
Roja	Typica 949	57	64	81	109	163
Perla	Catucá	57	64	90	109	163
Perla	Garnica	64	69	81	109	163
Perla	Geisha	57	64	99	120	0
Perla	Oro Azteca	69	81	99	109	179
Perla	Sarchimor	57	64	81	120	0
Perla	Typica 949	57	64	81	109	163
Negra	Catucá	57	64	81	120	0
Negra	Garnica	64	81	99	120	210
Negra	Geisha	57	64	90	120	179
Negra	Oro Azteca	64	90	99	120	0
Negra	Sarchimor	57	64	81	120	0
Negra	Typica 949	47	64	81	109	179
Azul	Catucá	47	64	81	109	163
Azul	Garnica	57	64	81	109	179
Azul	Geisha	47	64	81	109	179
Azul	Oro Azteca	64	81	90	109	163
Azul	Sarchimor	47	64	81	120	163
Azul	Typica 949	64	64	81	109	179
Gris	Catucá	57	64	81	109	0
Gris	Garnica	64	69	81	109	0
Gris	Geisha	47	64	81	109	0
Gris	Oro Azteca	64	69	99	120	0
Gris	Sarchimor	57	64	81	120	0
Gris	Typica 949	57	64	81	109	0
Aluminizada	Catucá	57	64	81	109	0
Aluminizada	Garnica	57	64	90	109	0
Aluminizada	Geisha	47	64	81	109	0
Aluminizada	Oro Azteca	64	69	99	120	0
Aluminizada	Sarchimor	57	64	90	120	0
Aluminizada	Typica 949	57	64	81	109	0

En forma gráfica (Figura 19), se presenta el comportamiento de cada variedad evaluada, en cada módulo con malla de diferente color.

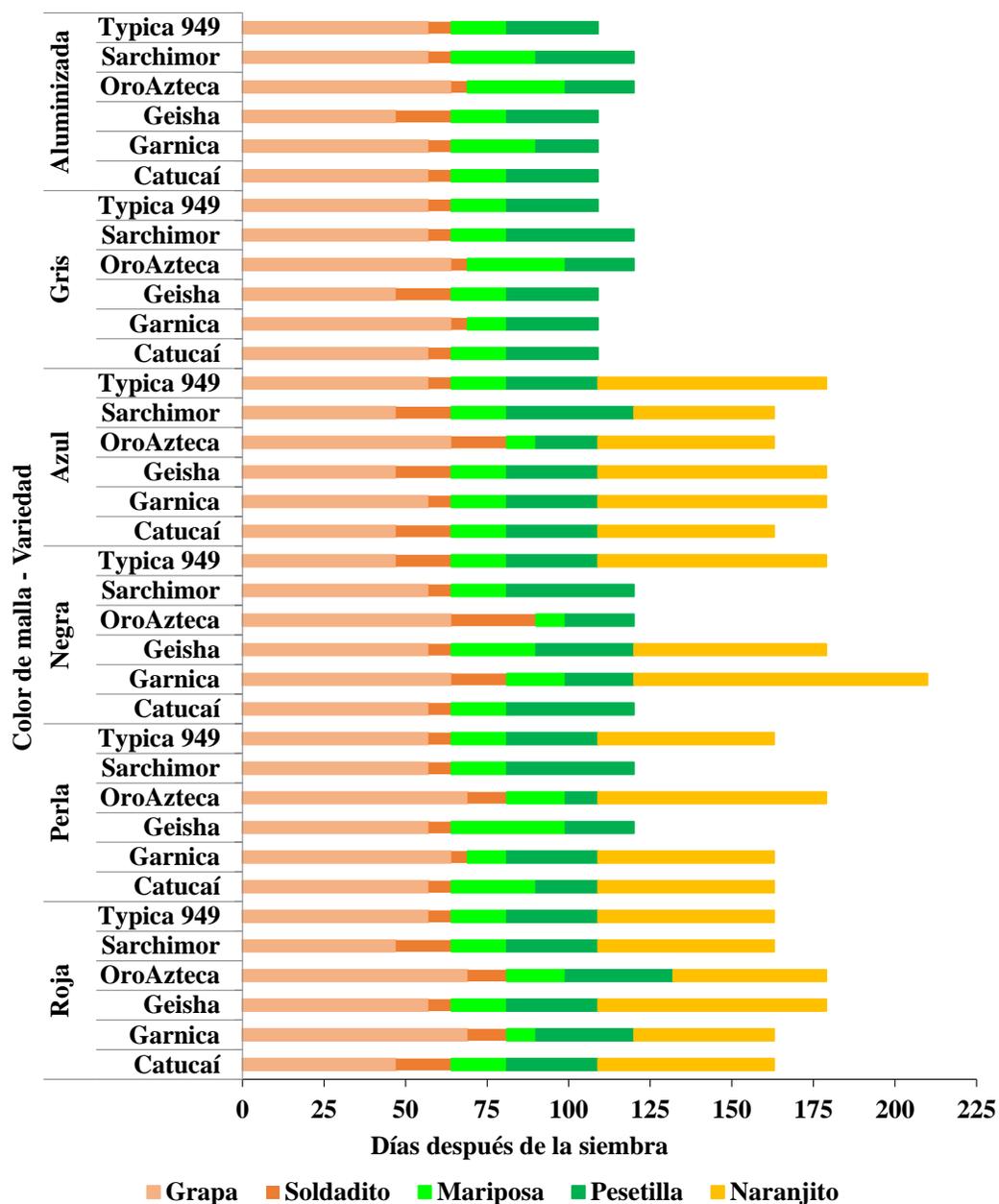


Figura 19. Fases fenológicas de las seis variedades, en las seis mallas sombras.

En la Tabla 3 se presenta el promedio en días, de las variedades dentro de cada malla sombra; se puede apreciar un desarrollo más rápido en la malla azul, desde grapa hasta

pesetilla, posteriormente la malla aluminizada, aunque no llegara a la fase de naranjito por lo comentado anteriormente.

Tabla 3. Aparición de las fases fenológicas (días) de las seis variedades en los diferentes colores de malla sombra.

Color de malla	Grapa	Soldadito	Mariposa	Pesetilla	Naranjito
Roja	58	70	86	115	168
Perla	60	68	89	113	167
Negra	58	71	89	118	189
Azul	54	67	83	111	171
Gris	58	66	84	113	--
Aluminizada	57	65	87	113	--

En la Figura 20 se presenta el promedio de las seis variedades por malla sombra. Se observó que las plantas de la malla azul se desarrollaron en menor tiempo durante las fases de grapa, mariposa y pesetilla, aunado a que fueron menos dañadas por Damping-off y requemo; mientras que las plantas de la malla negra fueron afectadas por dichas enfermedades, lo cual retrasó el crecimiento y desarrollo de las plántulas.

Las plantas de la malla gris y aluminizada fueron las primeras en alcanzar fase de soldadito en promedio el día 66, sin embargo, también fueron las más dañadas por Damping-off.

Las plantas de la malla azul fueron las primeras en alcanzar la fase de mariposa, en promedio al día 83, seguidas por las mallas gris, roja, aluminizada y siete días después las mallas color perla y negra.

Asimismo, en la malla sombra de color azul las plantas fueron las primeras en llegar a pesetilla, en promedio al día 113 después de la siembra, seguidas por las plantas de las mallas gris, aluminizada y perla. Cuatro días después ocurrió en la malla roja y siete días después en la malla negra.

Para la fase de naranjito, las plantas de la malla de color perla fueron las primeras al día 167, seguida por la malla roja al día 168, cuatro días después ocurrió en la malla azul y por último las plantas de la malla negra, al día 189 en promedio.

El requemo (*Phoma costarricensis*), afectó considerablemente, a las plantas del vivero en general, retrasando el crecimiento y desarrollo de las mismas. Las plantas de la malla gris y aluminizada, fueron las más susceptibles, por lo cual se perdieron dichas plantas antes de que llegaran a la fase naranjito.

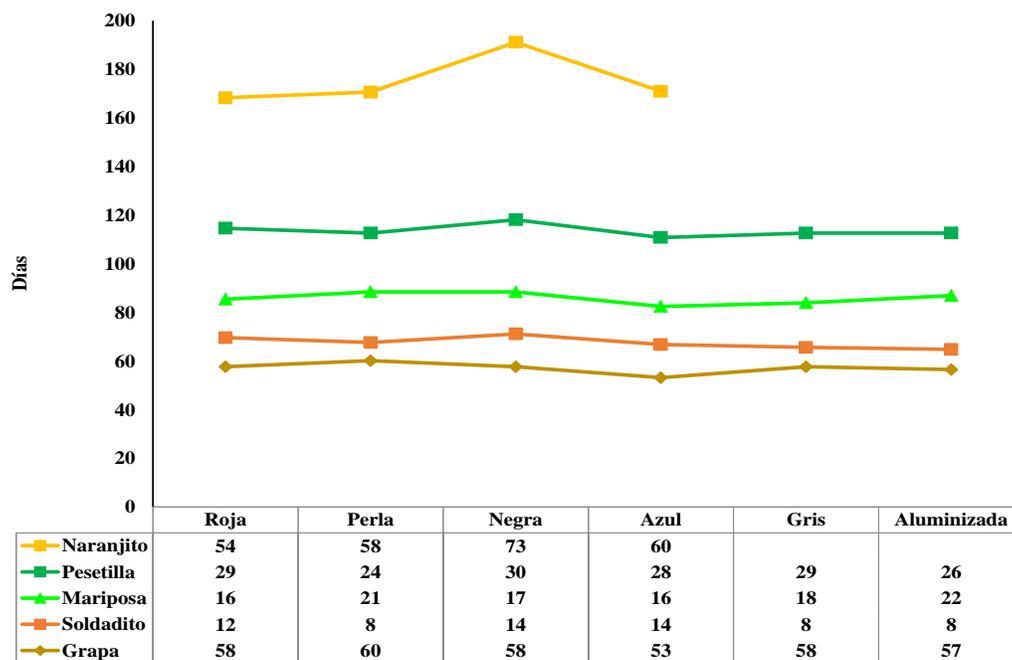


Figura 20. Días acumulados para la aparición de las diversas fases fenológicas de las seis variedades en los diferentes colores de malla sombra.

4.3. Altura de planta

En la Figura 21 se presentan los datos de altura promedio por color de la malla sombra. Se observó una mayor altura en las plantas de la malla azul en todo momento del proyecto, con una altura promedio final de 10.28 cm, lo cual fue significativo con respecto a las demás mallas. La malla perla presentó una altura promedio final de 8.48 cm, la malla roja 7.8 cm, malla negra 9.21 cm, la malla aluminizada con 6.71 cm, y por último la malla gris con 6.22 cm.

El decremento que se observó se debió al daño que ocasionó el requemo en las plantas, ésta enfermedad se presenta en lugares con temperaturas mínimas bajas, poca luminosidad y

alta humedad relativa, ataca hojas y ápice del tallo principal de la plántula, y limita su crecimiento y ocasiona defoliación prematura (Regalado, 1982).

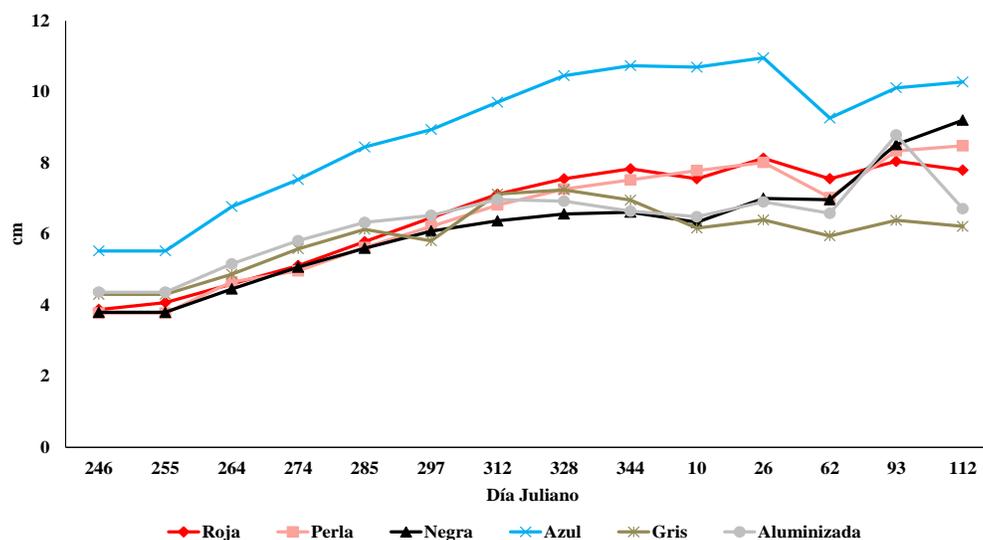


Figura 21. Altura promedio de la planta de café por color de malla sombra.

El efecto del color de malla sombra sobre la altura de planta tuvo una diferencia estadística altamente significativa (Tabla 4), la última medición efectuada fue 312 días después de la siembra.

Tabla 4. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre la altura de planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Malla	5	268.82	53.76	3.7970**	0.003046
Error	130	1840.78	14.16		
Total	135	2109.60			

Mediante la prueba de comparación de medias por el método Tukey ($p < 0.05$) (Tabla 5), se determinó que el tratamiento con mayor altura fue la malla sombra azul, con 11.93 cm; mientras que la menor altura se alcanzó en la malla de color gris con 7.68 cm.

Tabla 5. Prueba de Tukey para efecto del color de la malla sombra sobre la altura de planta a la última medición efectuada.

Color de malla	Altura (cm)	Grupo
Azul	11.93	a
Perla	10.72	ab
Negra	10.69	ab
Aluminizada	9.61	ab
Roja	8.90	b
Gris	7.68	b

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

Estos resultados muestran semejanza con el comportamiento de las plantas de café, como esta mostrado en la Figura 21; asimismo, se observó que las plantas de café en la malla sombra azul sufrieron menos la presencia de enfermedades, sin embargo, las plantas mostraron un color verde pálido en sus hojas, los tallos eran más largos pero poco gruesos, aspectos característicos de etiolación.

El efecto de la variedad sobre la altura de planta no presentó diferencia estadística significativa (Tabla 6).

Tabla 6. ANOVA del efecto la variedad sobre la altura de planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrado	Cuadrado medio	Fc	Ft
Variedad	5	56.94	11.39	0.7213 ^{NS}	0.608611
Error	130	2052.66	15.79		
Total	135	2109.60			

La variedad Garnica presentó la mayor altura de la planta con 9.95 cm, Geisha y Typica 949, estas dos últimas de porte alto, con promedios de 8.74 cm y 8.69 cm, respectivamente. La variedad Catucaí con una altura promedio final de 9.87 cm, Sarchimor 6.43 cm, y fue la variedad Oro Azteca la que presentó la altura más baja con 6.89 cm (Figura 22).

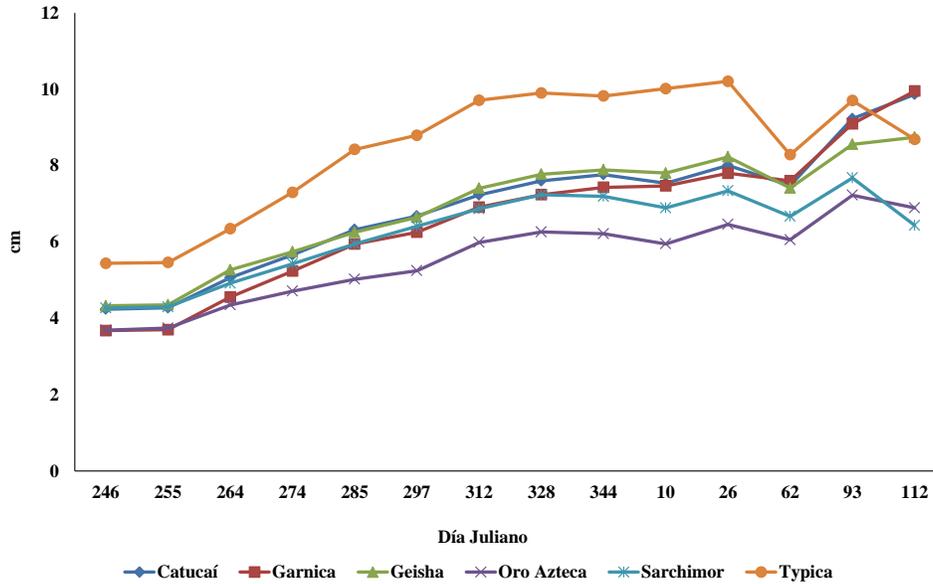


Figura 22. Altura promedio de la planta de café por variedad.

4.4. Efecto de la malla sombra y de la variedad sobre aspectos morfométricos de las plantas de café en vivero

A continuación se presentan los datos correspondientes al efecto que tuvo el color de la malla sombra y la variedad sobre el comportamiento de las plantas de café evaluadas en la etapa vivero.

4.4.1. Efecto del color de malla sombra sobre el diámetro de tallo, número de hojas y aprovechamiento de las plantas de café

➤ **Diámetro de tallo:** En la Figura 23 se presentan los datos promedios por color de la malla sombra. Se observaron diferencias a partir del mes de enero, cuando las plantas se encontraron en la fase de Naranjito; en la malla roja se presentó el mayor diámetro con 2.80 mm en promedio, seguido de la malla perla con 2.48 mm, luego la malla negra con 2.43 mm y posteriormente la malla azul, aluminizada y gris con valores promedio de 2.34 mm, 2.19 mm y 1.85, respectivamente.

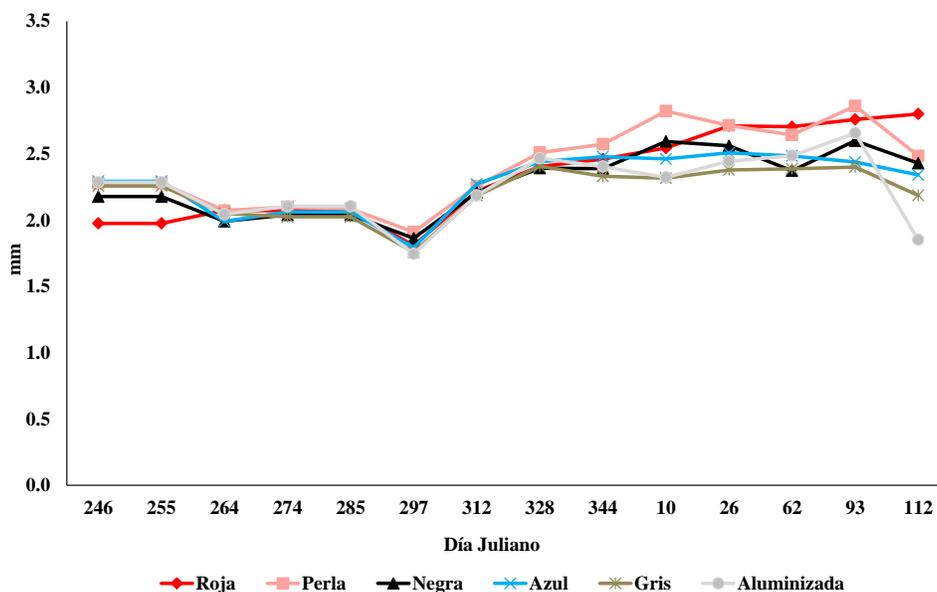


Figura 23. Diámetro de tallo promedio de la planta de café por color de malla sombra.

El efecto del color de malla sombra sobre el diámetro de tallo de la planta tuvo una diferencia estadística altamente significativa (Tabla 7). La prueba de comparación de medias (Tabla 8) reportó que el tratamiento con mayor diámetro de tallo fue en la malla roja con 3.24 mm.

Tabla 7. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre el diámetro de tallo de la planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Malla	5	11.8840	2.3768	9.983**	0.000000
Error	130	30.9500	0.2381		
Total	135	42.8340			

Tabla 8. Prueba de Tukey para efecto del color de la malla sombra sobre el diámetro de tallo de la planta a la última medición efectuada.

Malla	Diámetro (mm)	Grupo
Roja	3.24	a
Perla	3.09	ab
Negra	2.69	bc
Aluminizada	2.62	c
Azul	2.62	c
Gris	2.43	c

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

Los valores coincidieron con lo reportado por Reyes (2017) en un estudio con plantas de café de la variedad Geisha expuestas bajo diferentes colores de malla sombra, donde los valores más altos en grosor de tallo se presentaron en la mallas roja y perla.

➤ Número de hojas: En la Figura 24 se presentan los datos promedios del número de hojas por color de la malla sombra. Se observó que la malla gris y aluminizada mostró un decremento a partir de noviembre, a causa de Damping-off y requemo. Las plantas de las mallas perla, roja, azul y negra presentaron problemas de defoliación a finales de enero, donde hubo visible disminución de temperatura y mayor incidencia de requemo en las plantas.

Para el periodo de marzo-abril las plantas se recuperaron, la malla perla presentó un promedio final de 7.66 hojas, la malla negra con 7.02 hojas, la malla azul 6.59 hojas, la malla aluminizada 6.52 hojas, malla roja con 6.31 hojas, y por último la malla gris con 3.17 hojas.

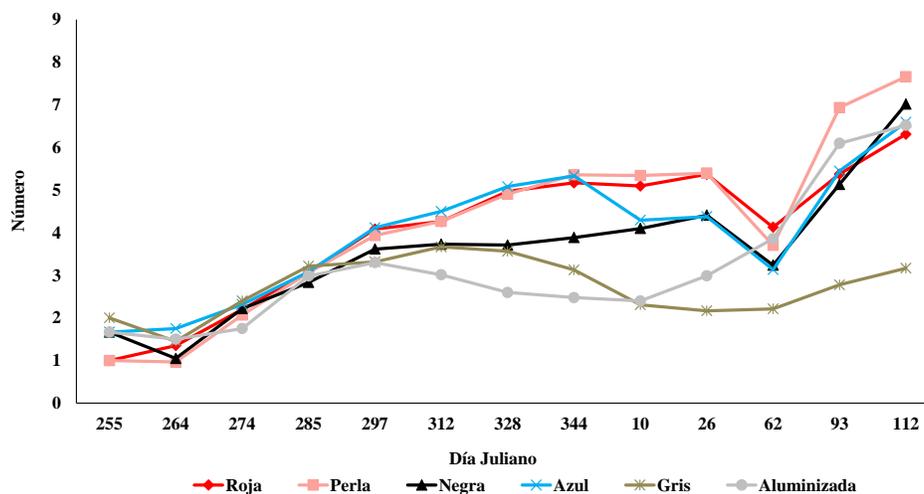


Figura 24. Número de hojas promedio de las plantas de café por color de malla sombra.

El efecto del color de malla sombra sobre el número de hojas por planta tuvo una diferencia estadística significativa (Tabla 9). La prueba de comparación de medias (Tabla 10), reportó que el tratamiento con mayor número de hojas fue en la malla perla con un valor de 8.7 hojas y la malla azul con 7.2 hojas.

Tabla 9. ANOVA del efecto del color de la malla sombra sobre el número de hojas de las plantas a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Malla	5	503.174	100.635	5.1542**	0.000240
Error	130	2538.230	19.525		
Total	135	3041.404			

Tabla 10. Prueba de Tukey para efecto del color de la malla sombra sobre el número de hojas de las plantas a la última medición efectuada.

Malla	Número	Grupo
Perla	8.7	a
Azul	7.2	a
Aluminizada	6.2	ab
Negra	6.1	ab
Roja	6.0	ab
Gris	2.0	b

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

Los resultados nuevamente coincidieron con lo encontrado por Reyes (2017), donde la mayor generación de hojas se presentó en las plantas expuestas bajo la malla color perla. Asimismo, coincidió con el efecto reportado en plantas de tomate por Paéz *et al.* (2000), donde se produjeron hojas más grandes pero de menor espesor. El color de las hojas fue un verde más pálido en comparación con las plantas de las otras mallas.

La presencia de bajas temperaturas en diciembre-enero, la mayor intensidad del requemo durante enero-febrero, se combinó la falta de cuidados y atención durante el mes de febrero, debido a una huelga que se presentó en la Universidad, por lo cual las plantas no tuvieron el cuidado y manejo adecuado que pudo redundar en menor calidad de la planta.

➤ Aprovechamiento de las plantas de café: En relación con el porcentaje de aprovechamiento vegetal, se observó que en la malla perla el 56.6 % de las plantas quedaron vivas, en la malla roja un 53.3 % y en la malla azul quedaron un 51.7 % de plantas vivas. En la malla aluminizada, negra y gris se presentaron las mayores pérdidas de plantas, el aprovechamiento fue 31.6 %, 28.3 % y 10.0 % respectivamente. Las plantas dentro de dichas mallas fueron las más susceptibles a las enfermedades que se presentaron, el decremento está muy marcado en los meses de enero-febrero.

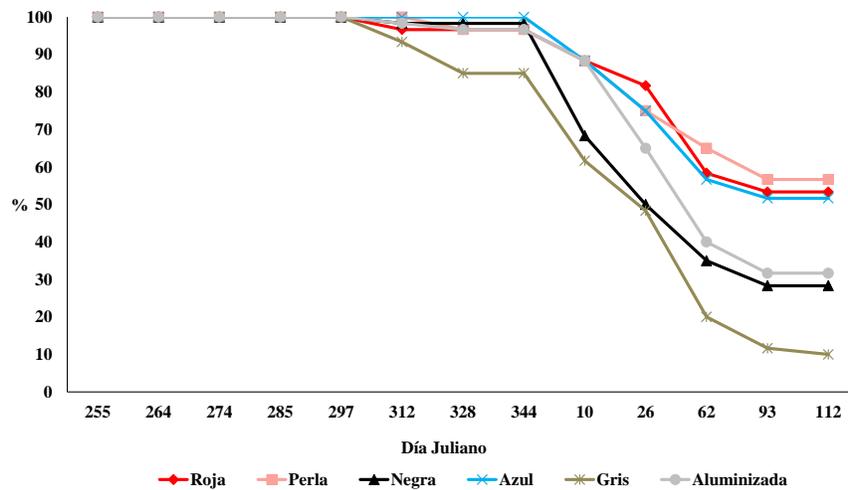


Figura 25. Aprovechamiento vegetal por color de malla sombra.

4.4.2. Efecto de la variedad sobre el diámetro de tallo, número de hojas y aprovechamiento de las plantas de café

➤ Diámetro: En la Figura 26 se realizó con los datos de diámetro de tallo promedio por variedad, se observó que la variedad Catucaí, Garnica y Geisha presentaron el mayor diámetro de tallo con 3.01 mm, 2.67 mm y 2.56 mm, respectivamente. Seguido por la variedad Typica 949 con 2.19 mm, luego la variedad Sarchimor con 2.04 mm, y el diámetro más pequeño de la variedad Oro Azteca con 1.81 mm.

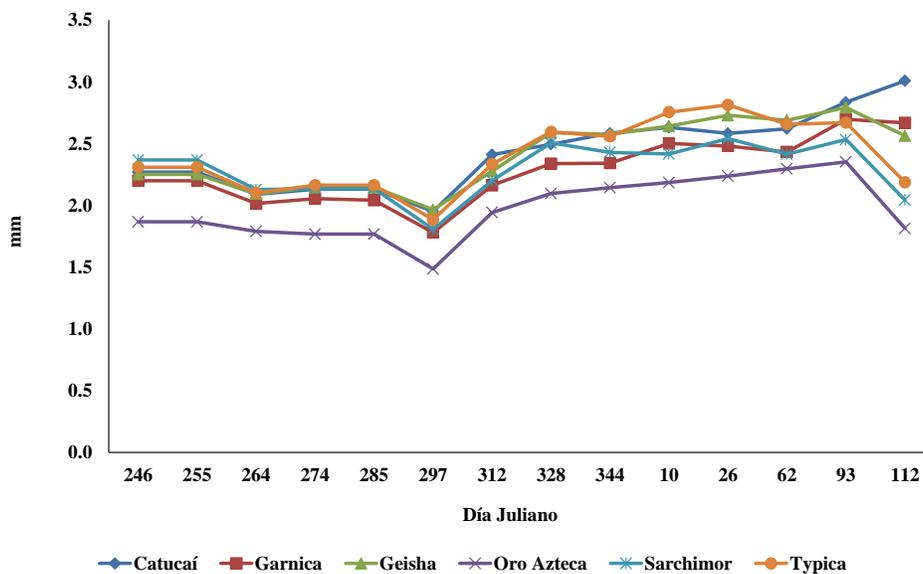


Figura 26. Diámetro de tallo promedio de la planta de café por variedad.

El efecto de la variedad sobre el diámetro de tallo de planta tuvo una diferencia estadística altamente significativa (Tabla 11). La prueba de comparación de medias (Tabla 12) reportó que la variedad con mayor diámetro de tallo fue Catucaí con un valor de 3.25 mm.

Tabla 11. ANOVA del efecto de la variedad sobre el diámetro de tallo de las plantas a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Variedad	5	7.979	1.596	5.952**	0.000055
Error	130	34.855	0.268		
Total	135	42.834			

Tabla 12. Prueba de Tukey para efecto de la variedad sobre el diámetro de tallo de las plantas a la última medición efectuada.

Variedad	Diámetro (mm)	Grupo
Catucaí	3.25	a
Geisha	3.03	ab
Garnica	2.78	bc
Typica 949	2.74	bc
Sarchimor	2.69	bc
Oro Azteca	2.43	c

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

➤ Número de hojas: Las variedad Catucaí terminó con el mayor número, con 7.78 hojas en promedio (Figura 27).

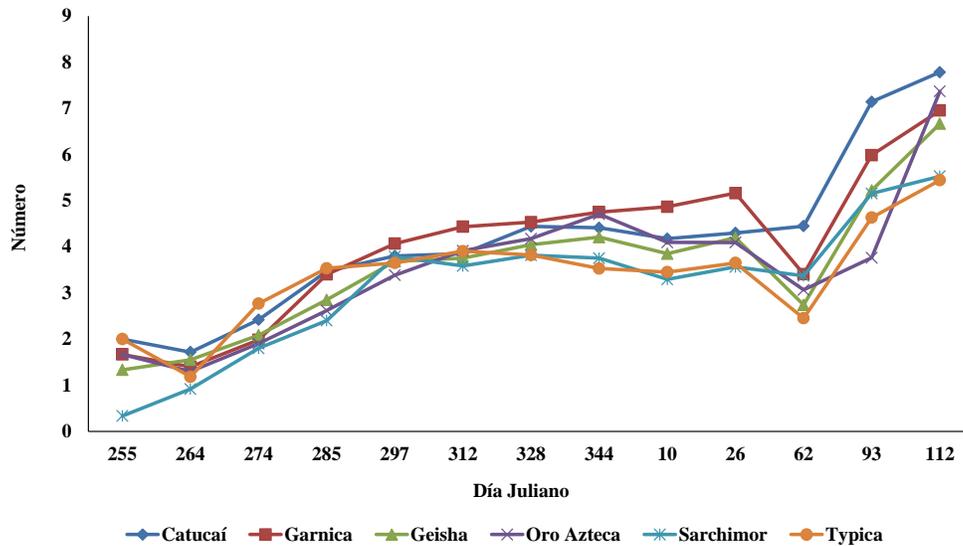


Figura 27. Efecto de la variedad sobre el número de hojas de la planta.

El efecto de la variedad sobre el número de hojas verdaderas tuvo diferencia estadística significativa (Tabla 13). La prueba de comparación de medias (Tabla 14) reportó que la variedad con mayor número de hojas fue Catucaí con un valor de 9.26 hojas.

Tabla 13. ANOVA del efecto de la variedad sobre el número de hojas de las plantas a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Variedad	5	261.377	52.275	2.4445**	0.037416
Error	130	2780.028	21.385		
Total	135	3041.404			

Tabla 14. Prueba de Tukey para efecto de la variedad sobre número de hojas de las plantas a la última medición efectuada.

Variedad	Número de hojas	Grupo
Catucaí	9.26	a
Oro Azteca	6.44	ab
Geisha	6.42	ab
Garnica	6.00	ab
Sarchimor	5.81	ab
Typica 949	4.85	b

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

➤ Aprovechamiento de las plantas de café: La Figura 28 presenta el porcentaje de aprovechamiento por variedad, en donde el mayor valor de plantas vivas fue para la variedad Geisha con 48.33 % y Garnica con 46.67 %, en otro nivel estuvieron la variedad Catucaí y Typica 949, ambas con 38.33 %, y con menor aprovechamiento fueron las variedades Oro Azteca y Sarchimor, ambas con el 30.0 %.

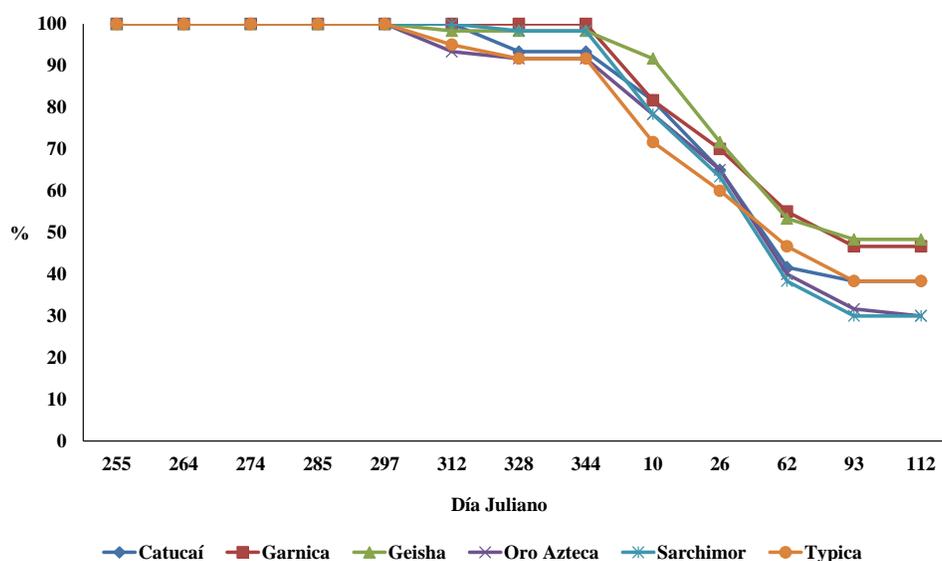


Figura 28. Aprovechamiento vegetal por variedad.

4.4.3. Efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia en base fresca de toda la planta, de la parte aérea y raíz

El efecto de la malla sombra sobre el peso en materia fresca total tuvo diferencia estadística significativa (Tabla 15). La prueba de comparación de medias (Tabla 16) reportó con mayor peso de materia fresca total con la malla sombra perla, con 9.27 g. Como lo reportó Reyes (2017), con plantas de café variedad Geisha expuestas bajo malla sombra de color perla y roja tuvieron mayor peso en base fresca.

La malla roja y negra entraron en otro grupo con peso de materia fresca total con 6.66 y 6.11 g, respectivamente. Los valores más bajos se observaron en la malla aluminizada, azul y gris con 3.42, 2.83 y 1.50 g, respectivamente.

Tabla 15. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia fresca de toda la planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	de Cuadrado medio	Fc	Ft
Malla	5	465.166	93.033	6.70351**	0.000051
Error	60	832.697	13.878		
Total	65	1297.864			

Tabla 16. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia fresca de toda la planta a la última medición efectuada.

Malla	Peso (g)	Grupo
Perla	9.27	a
Roja	6.67	ab
Negra	6.11	ab
Aluminizada	3.42	b
Azul	2.83	b
Gris	1.50	b

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

El efecto de la malla sombra sobre el peso de materia fresca de la parte aérea tuvo diferencia estadística significativa (Tabla 17). La prueba de comparación de medias (Tabla 18) reportó que la mejor malla con mayor peso de materia fresca de la parte aérea fue nuevamente la malla perla, con 4.93 g.

Como se observó, el peso en base fresca en las plantas de la malla sombra perla coincidió con los valores de medias más altas en las variables de número de hojas (Tabla 10) y fue la segunda mejor malla de color en altura de plantas y diámetro de tallo (Tabla 5 y 8).

Tabla 17. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia fresca de la parte aérea a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
malla	5	96.0379	19.2076	2.63971**	0.031890
Error	60	436.5833	7.2764		
Total	65	532.6212			

Tabla 18. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia fresca de la parte aérea a la última medición efectuada.

Malla	Peso (g)	Grupo
Perla	4.93	a
Roja	3.67	ab
Negra	3.50	ab
Azul	2.37	ab
Aluminizada	2.25	ab
Gris	0.92	b

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

El efecto de la malla sombra sobre el peso de materia fresca de la raíz tuvo diferencia estadística significativa (Tabla 19). La prueba de comparación de medias (Tabla 20) reportó que la mejor malla con mayor peso de materia fresca de la raíz fue nuevamente la de color perla, con 5.06 g.

Tabla 19. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia fresca de la raíz a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Malla	5	192.0338	38.4068	9.99610**	0.000001
Error	60	230.5306	3.8422		
Total	65	422.5644			

Tabla 20. Prueba de Tukey del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia fresca de la raíz a la última medición efectuada.

Malla	Peso (g)	Grupo
Perla	5.06	a
Roja	3.00	ab
Negra	2.38	bc
Aluminizada	1.25	bc
Gris	0.66	bc
Azul	0.50	c

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

4.4.4. Efecto de la variedad sobre el peso en materia fresca de toda la planta, de la parte aérea y raíz

El efecto de la variedad sobre el peso de materia fresca total tuvo diferencia estadística significativa (Tabla 21). La prueba de comparación de medias (Tabla 22), reportó que el tratamiento con mayor peso de materia fresca total fue la variedad Catucaí con 9.88 g.

También se relacionó con los valores obtenidos en la variable de diámetro de tallo (Tabla 12) y número de hojas (Tabla 14), donde se obtuvieron las medias más altas.

Tabla 21. ANOVA del efecto variedad sobre el peso en materia fresca de toda la planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Variedad	5	299.065	59.813	3.5931 **	0.006576
Error	60	998.799	16.647		
Total	65	1297.864			

Tabla 22. Prueba de Tukey para el efecto variedad sobre el peso en materia fresca de toda la planta a la última medición efectuada.

Variedad	Peso (g)	Grupo
Catucáí	9.88	a
Garnica	7.04	ab
Oro Azteca	5.05	ab
Typica	4.79	ab
Geisha	4.50	b
Sarchimor	2.95	b

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

El efecto de la variedad sobre el peso de materia fresca de la parte aérea tuvo diferencia estadística significativa (Tabla 23). La prueba de comparación de medias (Tabla 24), reportó que la variedad con mayor peso de materia fresca de la sección aérea fue la variedad Catucáí con 6.05 g.

Tabla 23. ANOVA del efecto variedad sobre el peso en materia fresca de la parte aérea de la planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Variedad	5	115.0657	23.013	3.3068**	0.010544
Error	60	417.5556	6.9593		
Total	65	532.6212			

Tabla 24. Prueba de Tukey para el efecto variedad sobre el peso en materia fresca de la parte aérea de la planta a la última medición efectuada.

Variedad	Peso (g)	Grupo
Catucáí	6.05	a
Garnica	4.25	ab
Geisha	2.66	ab
Typica	2.50	ab
Oro Azteca	2.50	ab
Sarchimor	2.08	b

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

El efecto de la variedad sobre el peso de materia fresca de raíz tuvo diferencia estadística significativa (Tabla 25). La prueba de comparación de medias (Tabla 26), reportó que la variedad con mayor peso fue la variedad Catucáí con 5.05 g.

Tabla 25. ANOVA del efecto variedad sobre el peso en materia fresca de la raíz de la planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Variedad	5	96.1199	19.2240	3.53334**	0.007255
Error	60	326.4444	5.4407		
Total	65	422.5644			

Tabla 26. Prueba de Tukey para el efecto variedad sobre el peso en materia fresca de la raíz de la planta a la última medición efectuada.

Variedad	Peso (g)	Grupo
Catucáí	5.05	a
Garnica	2.83	ab
Oro Azteca	2.44	ab
Typica	2.25	ab
Geisha	1.83	b
Sarchimor	0.91	b

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

4.4.5. Efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de toda la planta, de la parte aérea y raíz

El efecto de la malla sombra sobre el peso en materia seca total, tuvo diferencia estadísticamente significativa (Tabla 27). La prueba de comparación de medias (Tabla 28), reportó que la variedad con mayor peso fue la malla sombra roja y perla con 2.07 y 1.95 g, respectivamente.

Reyes (2017) en su estudio con plantas de café variedad Geisha, reportó que el tratamiento con mayor peso promedio de materia en base seca de las plantas fue en la malla sombra color perla y roja, por encima de las plantas bajo las mallas aluminizada, gris, negra y azul.

Tabla 27. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de toda la planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Malla	5	18.6589	3.7318	3.9188**	0.003856
Error	60	57.1370	0.9523		
Total	65	75.7960			

Tabla 28. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de toda la planta a la última medición efectuada.

Malla	Peso (g)	Grupo
Roja	2.07	a
Perla	1.95	a
Negra	1.58	ab
Azul	1.03	ab
Aluminizada	0.98	ab
Gris	0.54	b

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

El efecto de la malla sombra sobre el peso en materia seca de la sección aérea tuvo una diferencia estadísticamente significativa (Tabla 29). La prueba de comparación de medias (Tabla 30), reportó que la malla con mayor peso fue la malla roja y perla con 1.25 y 1.23 g, respectivamente.

Tabla 29. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de la parte aérea de la planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Malla	5	5.71604	1.14321	2.7282**	0.027534
Error	60	25.14224	0.41904		
Total	65	30.85828			

Tabla 30. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de la parte aérea de la planta a la última medición efectuada.

Malla	Peso (g)	Grupo
Roja	1.26	a
Perla	1.24	a
Negra	0.93	ab
Azul	0.84	ab
Aluminizada	0.67	ab
Gris	0.31	b

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

El efecto de la malla sombra sobre el peso en materia seca de raíz tuvo una diferencia estadísticamente significativa (Tabla 31). La prueba de comparación de medias (Tabla 32), reportó que la malla con mayor peso fue en la malla perla y roja con 0.82 y 0.80 g, respectivamente.

Tabla 31. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de la raíz de la planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Malla	5	5.15597	1.03119	5.41603**	0.000355
Error	60	11.42380	0.19040		
Total	65	16.57977			

Tabla 32. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre el peso en materia seca de la raíz de la planta a la última medición efectuada.

Malla	Peso (g)	Grupo
Perla	0.82	a
Roja	0.80	a
Negra	0.64	ab
Aluminizada	0.31	ab
Gris	0.22	ab
Azul	0.18	b

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

4.4.6. Efecto de la variedad sobre el peso en materia seca de toda la planta, de la parte aérea y raíz

El efecto de la variedad sobre el peso en materia seca total tuvo diferencia estadística significativa (Tabla 33). La prueba de comparación de medias (Tabla 34), reportó que la variedad con mayor peso fue Catucaí y Garnica, con 2.42 y 2.07 g, respectivamente.

Tabla 33. ANOVA del efecto de variedad sobre el peso en materia seca de toda la planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Variedad	5	17.9202	3.5840	3.7156**	0.005377
Error	60	57.8758	0.9646		
Total	65	75.7960			

Tabla 34. Prueba de Tukey para efecto de variedad sobre el peso en materia seca de toda la planta a la última medición efectuada.

Variedad	Peso (g)	Grupo
Catucuí	2.42	a
Garnica	2.07	a
Oro Azteca	1.29	ab
Typica	1.273	ab
Geisha	1.24	ab
Sarchimor	0.88	b

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

El efecto de la variedad sobre el peso en materia seca de la parte aérea tuvo diferencia estadísticamente significativa (Tabla 35). La prueba de comparación de medias (Tabla 36), reportó que la variedad con mayor peso fue Catucuí y Garnica, con 1.53 y 1.44 g, respectivamente.

Tabla 35. ANOVA del efecto de variedad sobre el peso en materia seca de la parte aérea de la planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Variedad	5	8.33051	1.66610	4.4375**	0.001665
Error	60	22.52777	0.37546		
Total	65	30.85828			

Tabla 36. Prueba de Tukey para efecto de variedad sobre el peso en materia seca de la parte aérea de la planta a la última medición efectuada.

Variedad	Peso (g)	Grupo
Catucuí	1.53	a
Garnica	1.44	a
Geisha	0.82	ab
Typica	0.77	ab
Oro azteca	0.73	ab
Sarchimor	0.62	b

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

El efecto de la variedad sobre el peso en materia seca de la raíz tuvo diferencia estadísticamente significativa (Tabla 37). La prueba de comparación de medias (Tabla 38), reportó que la variedad con mayor peso fue Catucuí con 0.97 g.

Tabla 37. ANOVA del efecto de variedad sobre el peso en materia seca de la raíz de la planta a la última medición efectuada.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Variedad	5	3.14338	0.62868	2.80735**	0.024142
Error	60	13.43639	0.22394		
Total	65	16.57977			

Tabla 38. Prueba de Tukey para efecto de variedad sobre el peso en materia seca de la raíz de la planta a la última medición efectuada.

Variedad	Peso (g)	Grupo
Catucáí	0.97	a
Garnica	0.71	ab
Oro azteca	0.57	ab
Typica	0.49	ab
Geisha	0.41	ab
Sarchimor	0.27	b

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

Las respuestas que se obtuvieron en el diámetro de tallo, número de hojas, peso de materia en base fresca y en base seca, coincidieron con lo reportado por Reyes (2017), donde los mayores valores se presentaron en la malla perla, bajo las condiciones de trabajo en la zona de Huatusco, Veracruz.

4.4.7. Efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa

Solamente una fracción de la radiación solar global es empleada para la fotosíntesis, esa pequeña fracción se conoce como PAR (Photosynthetic Active Radiation). En el rango PAR (400-700 nm) no todos los fotones de distinta longitud de onda tienen la misma eficiencia fotosintética (Reyes, 2017).

Para la toma de los datos se seleccionó una hoja por planta, de cada una de las variedades en los diferentes colores de malla sombra, se utilizó el Medidor de fotosíntesis CI-340, Cid System; la Figura 29 presenta la radiación fotosintéticamente que se registró en tres mediciones realizadas, en los meses de noviembre, diciembre y abril del siguiente año.

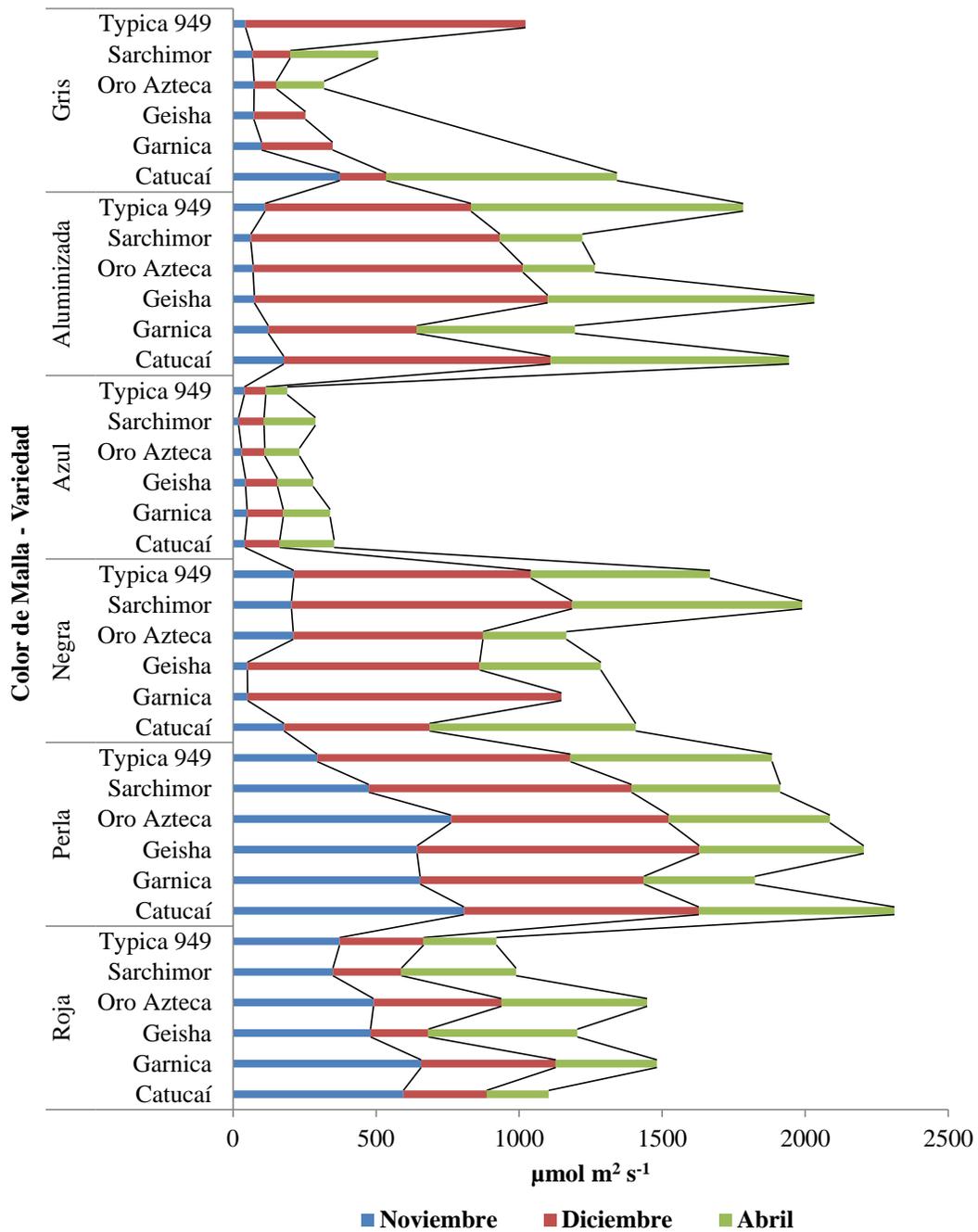


Figura 29. Acumulación de radiación fotosintéticamente activa acumulada, de las seis variedades en los diferentes colores de malla sombra.

En la Figura 30 se resumen los datos por color de malla sombra, en las tres mediciones realizadas de PAR.

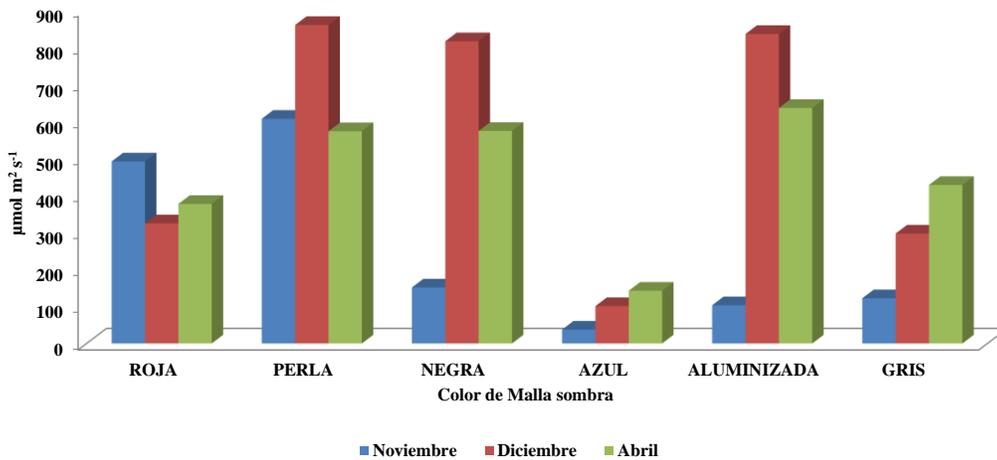


Figura 30. Radiación fotosintéticamente activa, de las tres mediciones realizadas por color de malla sombra.

El efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa que se registró el mes de noviembre tuvo diferencia estadísticamente significativa (Tabla 39). La prueba de comparación de medias (Tabla 40), reportó que la malla sombra con mayor valor promedio fue la perla, con $601.87 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Tabla 39. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa, en el mes de Noviembre.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Malla	5	14704553	2940911	119.0018**	0.00
Error	291	7191527	24713		
Total	296	21896080			

Tabla 40. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa, en el mes de Noviembre.

Malla	PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Grupo
Perla	601.87	a
Roja	495.53	b
Negra	155.03	c
Gris	110.19	cd
Aluminizada	108.45	cd
Azul	36.90	d

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

El efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa que se registró el mes de diciembre, tuvo diferencia estadística significativa (Tabla 41). La prueba de comparación de medias (Tabla 42), reportó que la malla sombra con mayor media fue la perla, aluminizada y negra, con 851.26, 819.63 y 783.47 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente.

El análisis de varianza que se realizó para el efecto de variedad sobre la radiación fotosintéticamente activa no tuvo diferencia estadística significativa.

Tabla 41. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa, en el mes de diciembre.

Efecto	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Malla	5	26574301	5314860	103.975**	0.00
Error	277	14159281	51117		
Total	282	40733582			

Tabla 42. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa, en el mes de diciembre.

Malla	PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Grupo
Perla	851.26	a
Aluminizada	819.63	a
Negra	783.47	a
Roja	314.52	b
Gris	269.95	b
Azul	101.35	c

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

El efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa que se registró el mes de Abril, tuvo diferencia estadísticamente significativa (Tabla 43). La prueba de comparación de medias por el método Tukey ($p<0.05$) (Tabla 44), reportó que la

malla sombra con mayor media fue la negra, aluminizada y perla, con 642.46, 611.72 y 581.45 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente.

Tabla 43. ANOVA del efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa, en el mes de abril.

Efecto	G1	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Malla	5	4492587	898517	18.4376**	0.00
Error	118	5750472	48733		
Total	123	10243059			

Tabla 44. Prueba de Tukey para efecto del color de malla sombra sobre la radiación fotosintéticamente activa, en el mes de abril.

Malla	PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Grupo
Negra	642.466	a
Aluminizada	611.726	a
Perla	581.453	a
Gris	479.320	ab
Roja	372.603	b
Azul	136.569	c

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

La Figura 31 presenta la radiación fotosintéticamente activa promedio que se registró en cada malla sombra de color.

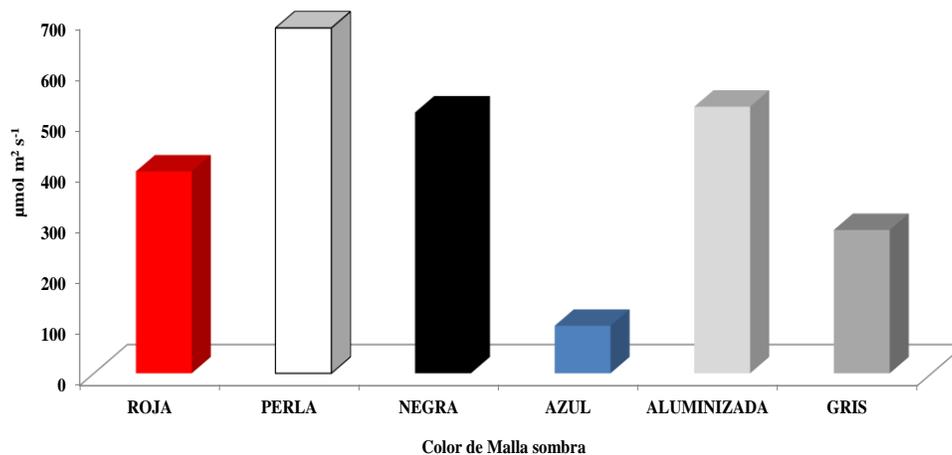


Figura 31. Radiación fotosintéticamente activa promedio por malla sombra.

El efecto en la fenología de las plantas coincide con lo reportado por Reyes (2017), el color de malla sombra tiene influencia sobre la altura de la planta y que a su vez promueve la aparición de nuevos pares de hojas, como ocurrió en la malla azul y perla.

No se encontró precocidad en la fenología de la planta durante el crecimiento vegetativo de las seis variedades con que se trabajó; se determinó que la mejor variedad en la producción de biomasa resulto ser Catucaí, variedad que actualmente tiene gran importancia en Brasil, por su resistencia moderada a la roya, alta productividad y tolerante a sequía, como señalaron Zamarripa y Escamilla (2016). Es importante el conocimiento de la fenología ya que permite una mejor planeación de actividades en el vivero y establecer con mayor precisión puntos críticos en el desarrollo del cultivo.

Se presentaron problemas fitosanitarios, Damping-off en la fase de soldadito y mariposa, principalmente dentro de los módulos gris y aluminizado; mismos módulos en que se registraron las temperaturas más bajas durante la investigación. El requemo fue la enfermedad más severa dentro de los seis módulos, en la fase de pesetilla, apareció entre los 8 y 11 meses de edad, como indicó George (1959); lo que causó el retraso en el crecimiento y desarrollo de las plantas; se aplicaron caldos minerales cada 15 días para controlarlo, intercalando Sulfocálcico, Visosa y Bordelés. En el módulo con malla azul, las

malezas y enfermedades tardaron mayor tiempo en aparecer, en comparación con las demás. Los porcentajes más altos en el aprovechamiento vegetal, se dio en las mallas que conservaron temperaturas más altas, que fue en la malla sombra perla, roja y azul.

Se observó que la mayor radiación fotosintéticamente activa ocurrió en la malla perla, lo que contribuye a optimizar la fotosíntesis y la fotomorgénesis, procesos trascendentales en el crecimiento y desarrollo vegetal. Contrario a lo que se observó con la malla sombra azul, donde la radiación fotosintéticamente activa fue la más baja, las plantas contaron con mayor altura y generación de hojas, pero tallos y hojas delgadas, con coloración verde pálido.

Se recomienda continuar con observaciones fenológicas y climáticas bajo las mallas de colores que ofrecieron mejor resultado en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café en Veracruz, y aprovechar que se cuenta con el banco de germoplasma para realizar trabajos de investigación con diversas variedades; resistentes a plagas o enfermedades que tienen mayor impacto y adaptables a la región.

Se sugiere implementar viveros con este tipo de malla sombras, en diversas regiones cafetaleras del país, con el fin de crear mayor conocimiento científico y ofrecer opciones para que el productor cuente con más herramientas que permitan enfrentar a la problemática de la cafecultura en la producción; como cafetales viejos, enfermos, descompensados, generando plantas de calidad.

V. CONCLUSIONES

1. Con la investigación realizada, se muestra la evidencia del efecto de diferentes colores de malla sombra sobre el desarrollo fenológico de variedades de café (*Coffea arabica* L.) en vivero; se cumplieron los objetivos de la investigación al registrar las temperaturas y humedad relativa ambiental dentro de cada módulo; y observar que presentaron diversas tendencias de temperatura y humedad ambiental al interior de los módulos y, se acepta la hipótesis de trabajo.
2. Las temperaturas se mantuvieron más elevadas dentro de los módulos con malla azul, roja y perla, a diferencia de las demás. La humedad ambiental dentro de cada malla de color fue un factor que mostró no ser tan determinante en el crecimiento o desarrollo de las plantas de café, se pudo observar al comparar las condiciones dentro de la malla perla y roja; donde se presentaron valores óptimos para la generación de biomasa; sin embargo, existió una diferencia significativa de humedad relativa entre ambas.
3. Las plantas bajo la malla sombra azul fueron las primeras en llegar a la fase de grapa, mariposa y pesetilla; mientras que, las plantas de la malla gris y aluminizada fueron las primeras en alcanzar la fase de soldadito, sin embargo, también fueron las más dañadas por Damping-off. En las mallas perla y roja las plantas de café fueron las primeras en alcanzar la fase de naranjito, seguida por la malla azul y por último las plantas de la malla negra.
4. El requemo afectó considerablemente, a las plantas del vivero en general, retrasando el crecimiento y desarrollo de las mismas. Las plantas de la malla gris y aluminizada, fueron las más susceptibles y donde se tuvo la mayor mortandad desde fase de pesetilla.
5. La mayor altura de planta se alcanzó en la malla sombra color azul, bajo las condiciones de trabajo, en la zona de Huatusco, Veracruz.
6. El mayor diámetro de tallo, se obtuvo en las mallas de color roja.
7. Asimismo, el mayor número de hojas, se presentó en las plantas bajo la malla sombra de color perla y azul.

8. Las mallas perla, roja y azul contaron con una mayor cantidad de plantas vivas durante la investigación, contrario a la malla gris, en la cual la mayoría de las plantas murieron antes de llegar a la fase final del trabajo.

9. Las variedad Catucaí y resultaron con valores más altos en las variables altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas, sin embargo, Geisha y Garnica fueron las variedades con mayor porcentaje de plantas vivas a final del trabajo.

10. El peso de materia base fresca de toda la planta, de la parte aérea y radicular, los mejores valores se presentaron en la malla sombra de color perla.

11. La variedad Catucaí destacó por encima de las demás en las variables en peso de materia base fresca de toda la planta, de la parte aérea y radicular.

12. Para las variables de peso de materia en base seca de toda la planta, de la parte aérea y radicular, los mayores valores se presentaron en las mallas color roja y perla.

13. Catucaí y Garnica fueron las variedades con los valores más altos en las variables de peso en materia seca de toda la planta, tanto de la parte aérea como de la radicular.

14. En la malla sombra de color perla se presentó mayor radiación fotosintéticamente activa, seguida por la malla aluminizada, negra, roja y gris, mientras que, la menor radiación fotosintéticamente activa se encontró en la malla de color azul.

VI. LITERATURA CITADA

1. Abdel, G.A.M., Hellal, A.I.M. 2010. Characterization of solar radiation transmission thorough plastic shading nets. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 94: 1371-1378.
2. Acosta, P.A., Arias M.T., Gómez A.V., Gutiérrez R.S., Parra R.M. 2014. Análisis de las características de los diferentes pigmentos fotosintéticos y accesorios que se encuentran en los diferentes tipos de vegetales. Universidad Popular de Cesar. En: http://www.academia.edu/8727524/An%C3%A1lisis_de_las_caracter%C3%ADsticas_de_los_diferentes_pigmentos_fotosint%C3%A9ticos_y_accesorios_que_se_encuentran_en_los_diferentes_tipos_de_vegetales. Fecha de consulta el 22 de Junio 2018.
3. Alejo, S.M.A. 1991. Evaluación de mallas plásticas en propagación de café (*Coffea arabica* L.) Var. Garnica bajo sistema de semillero-vivero en maceta. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Córdoba, Ver. México. 110 pp.
4. Alvarado, O.A., Monroig, M. 2007. Guía práctica de plagas y enfermedades en café. Servicio de Extensión Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas. Universidad de Puerto Rico. 47pp.
5. AMECAFE, 2011. Plan de Innovación de la cafecultura en el estado de Veracruz. Huatusco, Ver. En: <https://www.yumpu.com/es/document/view/48817320/plan-de-innovacion-veracruz-amecafe>. Fecha de consulta el 5 de junio de 2017.
6. Anglés, M. 2001. Control climático y ciclo de cultivo. *Horticultura*, 19: 28-34.
7. Aranda, J., González, B., Reyes, T., 2015. Guía de buenas prácticas para café sustentable. México. En: <http://www.asocam.org/node/52875>. Fecha de consulta el 20 de junio de 2017.
8. Ayala, T.F., Zatarain, L.D.M., Valenzuela, L.M., Partida, R.L., Velázquez, A.T.D., 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*, 29(4): 401-410.
9. Ayala, T.F., Sánchez, M.R., Partida, R.L., Yáñez, J.M.G., Ruíz, E.F.H., Velázquez, A.T.J., Valenzuela, L.M., Parra, D.J.M. 2015. Producción de Pimiento Morrón con mallas sombra de colores. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(1): 93-99.
10. Baker, P.S., Barrera, J.F., Rivas, A. 1992. Life history studies of the coffee Berry borer (*Hypothenemus hampei*, scolytidae) on coffee trees in southern Mexico. *J.APP.Ecol.*, 29: 656-662.

11. Barragán, A., 2016. La Crisis del café mexicano: en 2016 será mayor la importación que la producción nacional. El Economista. Editorial Ecoprensa. En: <http://www.economiahoy.mx/mercados-eAm-mexico/noticias/7367513/02/16/La-crisis-del-cafe-mexicano-en-2016-sera-mayor-la-importacion-que-la-produccion-nacional.html>. Fecha de consulta el 3 de junio de 2017.
12. Bastida, T.A., Ramírez, A.J.A. 2008. Los Invernaderos en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 233 pp.
13. Cabrera, M.M. 2012. Análisis de los factores de producción del cultivo de café en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 60 pp.
14. Carrión, R.M. 2002. Adaptación de variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Rancho Grande, Valle Nacional, Oaxaca. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 103 pp.
15. Castillo, P.G. 1993. Enfermedades del cafeto y su control en México. Folleto Técnico No. 4. INIFAP. Campo Experimental Xalapa. Xalapa, Ver., México. 28 pp.
16. Castillo, P.G., Contreras, J., Zamarripa, C., Méndez, L., Vázquez M., Holguín M., Fernández R. 1997. Tecnología para la producción de café en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. División Agrícola. Folleto Técnico NP 8. México. 32-35 p.
17. Decoteau, D.R., Hatt, H.A., Kelly, J.W., McMahon, M.J., Rajapakse, N., Joung R.E., Pollock, R.K. 1993. Applications of photomorphogenesis research to horticultural systems. Hortscience, 28: 974-1063.
18. Ecosur. 2016. México recuperaría producción de café en tres años con apoyo de ciencia. Ecofronteras. México. En: <https://www.ecosur.mx/mexico-recuperaria-produccion-de-cafe-en-tres-anos-con-apoyo-de-ciencia/>. Fecha de consulta el 19 de junio de 2017.
19. Escalón, E. 2017. El abandono afecta más que la roya: productores de café. Prensa UV. Universidad Veracruzana. En: <https://www.uv.mx/prensa/reportaje/el-abandono-afecta-mas-que-la-roya-productores-de-cafe/>. Fecha de consulta el 22 de junio de 2017.
20. Escamilla, P.E. 1993. El café cereza en México, tecnología de la producción. Primera Edición en español. Universidad Autónoma Chapingo. Grupo Esmeralda. Texcoco, México. 116p.

21. Escamilla, P.E. 1997. Evaluación técnica-económica de plantaciones de café en el sistema de Policultivo Comercial en Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Veracruz. 54-55 p.
22. Escamilla, P.E. 2007. Influencia de los Factores Ambientales, Genéticos, Agronómicos y Sociales en la Calidad del Café Orgánico en México. Tesis Doctoral. Posgrado en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Posgraduados Campus Veracruz. Veracruz, México. 267 p.
23. Escamilla, P.E., Barrera, N.M., Cornejo, C.C. 2014. Variedades comerciales de Café: Guía descriptiva. Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Oriente. Huatusco, Ver., México. 51 p.
24. Escamilla, P.E., Barrera, N.M., Cornejo, C.C. 2016. Variedades comerciales de café: una guía descriptiva. Coordinadora editorial: Susana Córdova Santamaría. Primera edición. Xalapa, Veracruz, México: Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café. 63 p.
25. Escaso, S.F., Martínez, G.J.L., Planelló, C.M.R. 2010. Fundamentos básicos de fisiología vegetal y animal. Editorial Pearson. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid. 264 pp.
26. Figueroa, G.A. 1985. Descripción y agente causal de *Phoma Phyllosticta coffeicola*. Revista cafetalera. Guatemala 253. 19-23 p.
27. Figueroa, J.O. 2002. Evaluación de veinte variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Maromilla y Colonia Manuel González Municipio de Zentla, Veracruz. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 110 p.
28. Flores, A.R.A. 1987. Fenología y cambios estacionales. Traducción libre del capítulo 6, Phenology and Seasonal Changes. Tercera edición. Milie Information Service. Chapingo, México. 73 p.
29. George, K.V. 1959. Ste-wasting "kindlie" disease of coffe. Indian coffe, 24(11): 19-23.
30. Gil, V.L.F., Leguizamón, C.J.E. 2000. La muerte descendente del cafeto (*Phoma* spp.). Avances Técnicos Cenicafé. Centro Nacional de Investigaciones de Café "Pedro Uribe Mejía". Chinchiná, Caldas, Colombia. 278. En: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0278.pdf>. Fecha de consulta el 22 de Marzo 2018.
31. Google Earth. 2017. Imágenes. En: <http://www.googleearth.com>. Fecha de consulta el 17 de junio de 2017.

32. Grajales, M.M.M.O. 2004. Fisiología Vegetal. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
33. Grupo Mesófilo A.C. 2006. Manual de Producción de café. Sierra Norte Oaxaca. En: http://www.grupomesofilo.org/proyectos_tematica.php. 55 pp. Fecha de consulta el 17 de junio 2017.
34. Grupo Técnico Interdisciplinario de Café. 2017. Manual para la producción de semilla certificada de café en México. Plan Integral de Atención al Café. En: <https://amecafe.org.mx/wp-content/uploads/2017/02/MANUAL-CERTIFICADA-FINAL.pdf>. 36 pp. Fecha de consulta el 20 de junio de 2017.
35. Hemming, S., Van der braak, N., Dueck, T., Ellings, A., Marissen, N. 2006. Filtering natural light at the greenhouse covering – Better greenhouse climate and higher production by filtering out NIR. *Acta Horticulturae*, 711: 411-416.
36. Illescas, R.F. 2002. Comparación de fenología, crecimiento y desarrollo vegetativo de cafetos propagados en bolsa y tubete, en Huatusco, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Córdoba, Ver., México. 68 pp.
37. ICAFE (Instituto del Café en Costa Rica). 1998. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. Centro de investigaciones en Café. Unidad de investigación y Transferencia de Tecnología en Café. San José, Costa Rica. 113-115 p.
38. INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Huatusco, Veracruz de Ignacio de la Llave. En: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>. 10 pp. Fecha de consulta el 17 de junio de 2017.
39. INIFAP. 2013. El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción. Medellín de Bravo, Veracruz, México. 462 p.
40. Leite, C.A. 2001. Cítricos bajo invernadero. *Revista Horticultura Internacional*, 33: 92-93.
41. Leite, C.A. 2005. Las mallas en el contexto del proyecto de un vivero. *Revista Horticultura Internacional*, 1: 66-73.
42. Leyva, M.G. 2010. Principales enfermedades del Café (*Coffea arabica*). *Agroproductividad*, 3(2): 3-14.

43. López, C.J. 2013. Universo Botánico. Las plantas y sus pigmentos. En: <http://universobotanico.blogspot.com/2013/08/las-plantas-y-sus-pigmentos.html>. Fecha de consulta el 16 de Junio de 2018.
44. López, M.R., Martínez, J.L., Díaz, G., Martínez, R. 2009. Uso eficiente del agua y reconversión productiva para el desarrollo rural participativo en la barranca de Amatzinac, Morelos. Estudio de caso: sistema-producto café. Informe del proyecto. INIFAP. Sitio Experimental Teocelo. Xalapa, Veracruz. México. 36 pp.
45. Lorenzo, P. 2012. El cultivo en invernaderos y su relación con el clima. Cuadernos de Estudios Agroalimentarios, 3: 23-44.
46. Martínez, A.G. 1999. Análisis de crecimiento del cultivo del café (*Coffea arabica*) cv. Garnica, baja condiciones de vivero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 67 pp.
47. Martínez, G.G.A., Nicolás, S.L., Ortiz, H.Y.D., Morales, I., Gutiérrez, H.G.F. 2016. Crecimiento y contenido de aceite en Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo mallas sombra de colores. Interciencia, 41(6): 428-432.
48. Márquez, Q.C., Robledo, T.V., Benavides, M.A., Vázquez, B.M.E., De la Cruz, L.E., Estrada, B.M.A., López, E.S.T. 2014. Uso de mallas sombra: una alternativa para la producción de Tomate Cherry. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 3(2): 175-180.
49. Matallana, G.A., Montero, C.J.I. 2001. Invernaderos. Diseño, Construcción y Ambientación. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 209 pp.
50. Me, G., Valentini, N., Caviglione, M., Lovisolo, C. 2005. Effect of shade on flowering and yield for two different hazelnut training systems. Acta Horticulturae, 686: 187-192.
51. Miller, E. 1967. Fisiología Vegetal. Editorial UTEHA. México. 344 pp.
52. Moguel, P., Toledo, V.M. 1996. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. Ciencias, 43: 40-51.
53. Monge, L.F. 1999. Manejo de la nutrición y fertilización del cultivo del café orgánico en Costa Rica. XI Congreso Nacional Agronómico/ III Congreso Nacional de Suelos. Costa Rica. 191 pp.
54. Moniruzzaman, M., Islam, M., Hossain, M., Hossain, T., Miah, M. 2009. Effects of shade and nitrogen levels on quality Bangladhonia production. Bangl. J. Agric. Res. 34: 205-213.

55. Nomura, E.S., Lima, J.D., Rodrigues, D.S., García, V.A., Fuzitani, E.J., Modenese-Gorla da Silva, S.H. 2009. Crecimiento e produção de antúrio cultivado sob diferentes malhas de sombreado. *Ciencia Rural*, 39(5): 1394-1400.
56. Oguchi, R., Hikosaka, K., Hirose, T. 2003. Does the photosynthetic light-acclimation need change in leaf anatomy? *Plant Cell Environ.* 26: 505-512.
57. Oren, S.N., Gussakovsky, E.E., Spiegel, E., Nissim, L.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*. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 76: 353-361.
58. Páez, A., Paz, V., López, J. 2000. Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate cv. Río Grande en la época mayo-julio. Efecto del sombreado. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 17: 173-184.
59. Paz, G.A., Escamilla, P.E. 2016. Manual de propagación de cafetos injertados. Coordinación editorial: Susana Córdova Santamaría. Segunda edición corregida y aumentada. Xalapa, Veracruz, México. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Café. 31 pp.
60. Pérez, U.C.E. 2009. Reduca (Biología) Serie Fisiología Vegetal. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Madrid. 2(3): 1-47.
61. Regalado, O.A. 1982. El requemo del cafeto *Phoma costarricensis* Ech., y su combate químico en plantaciones recepadas en la región central de Veracruz. Simposio latinoamericano sobre cafecultura. El Salvador. IICA-PROMECAFE. 50-70 p.
62. Retamales, J.B., Montecino, J.M., Lobos, G.A., Rojas, L.A. 2008. Colored shading nets increase yields and profitability of highbush blueberries. *Acta Horticulturae*, 770: 193-197.
63. Reyes, L.D. 2017. Comparación del crecimiento de cafeto en vivero bajo diferentes condiciones de sombra, sustrato y contenedores. Tesis de Licenciatura. FES-C, UNAM. México. 84 pp.
64. Rivera, F.A. 1990. Variedades de café cultivadas en México. En el cultivo del café en México, Instituto Mexicano del Café. Nestlé. México. 39-40 p.
65. Rodríguez, M.M.I.N., Alcántar, G.G., Aguilar, S.A., Etchevers, B., Santizó, R.J.A. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra Latinoamericana*, 16: 135-141.

66. Rodríguez, B.M.M., Morales, U.D.M. 2014. Efecto de mallas sombreadoras sobre la producción y calidad de frutos de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. *Scientia Agropecuaria*, 6(1): 41-50.
67. SAGARPA. 2015. Convención Internacional del Café. En: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/oaxaca/Documents/2015/Difusi%C3%B3n%20y%20Eventos/Convencion%20Internacional%20del%20Cafe%202015.pdf>. Fecha de consulta el 4 de junio de 2017.
68. Santoyo, C.H., Díaz C.S., Escamilla P.E., Robledo, M.D. 2016. Factores agronómicos y calidad de café. Coordinadora editorial: Susana Córdova Santamaría. Tercera edición corregida. Xalapa, Veracruz, México. Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café. 30 pp.
69. Shahak, Y., Gussakovsky, E.E., Gal, E., Ganelevin, R. 2004. Colomets: crop protection and high-quality manipulation in one technology. *Acta Hort.* 659: 143-151.
70. Shahak, Y., Gal, E., Offir, Y., Ben, Y.D. 2008. Photosensitive Shade Netting Interegrated with Greenhouse Technologies for Improved Performance of Vegetable and Ornamental Crops. *Acta Horticulturae*. 797: 75-80.
71. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Café cereza. En: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166375/cafecereza_monograf_a.pdf. Fecha de consulta el 19 de junio de 2017.
72. SIAP. 2017. Avance de Siembras y Cosechas. Resumen nacional por estado. En: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do. Fecha de consulta el 20 de junio de 2017.
73. SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2010. SMN-Veracruz. En: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=164&tmpl=component. Fecha de consulta el 5 de junio de 2017.
74. Soto, A., Rojas, C. 1994. Cultivo y beneficiado del café. CENICAFE, Colombia. 160 p.
75. StatSoft, Inc. 2003. STATISTICA (data analysis software system), version 6. www.statsoft.com.
76. 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 Horticulture* 161: 340-349.
77. Torres, R.E. 2006. Agrometeorología. 2ª edic. Editorial Trillas. México. 154 pp.

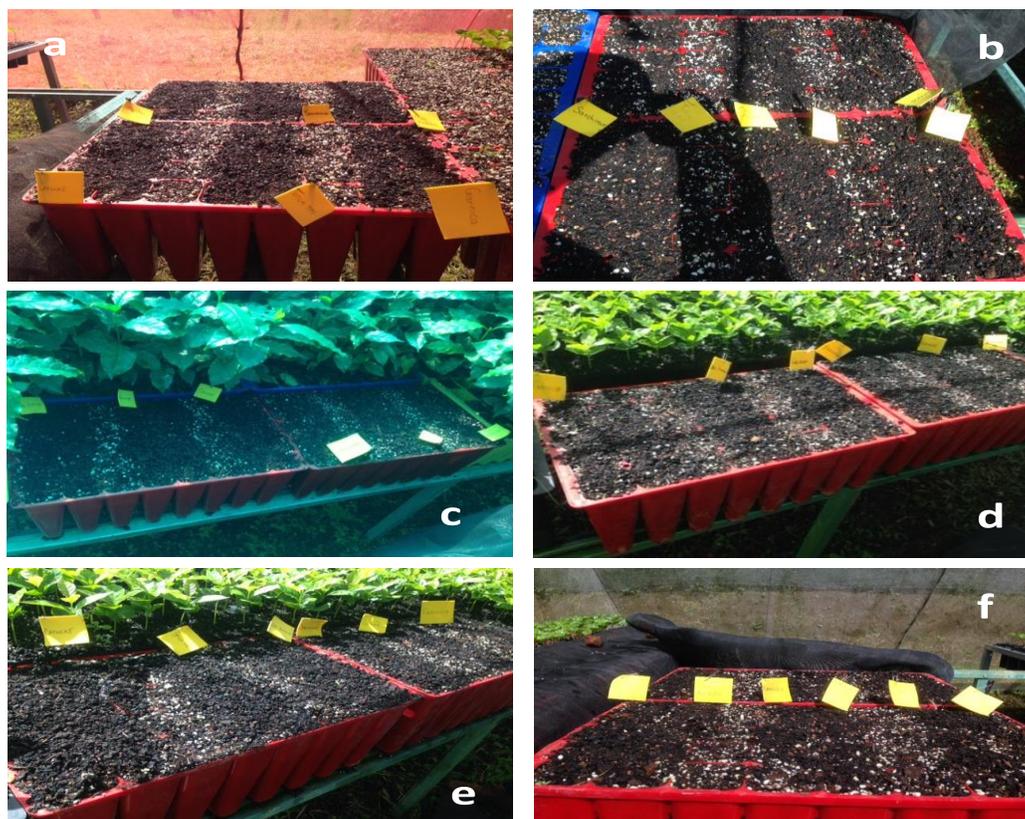
78. Valera, D., Molina, F., Gil, J. 2001. Las mallas como técnica de control climático en invernaderos. *Vida Rural*, 8: 50-52.
79. Villani, C.E. 2017. Evaluación de mejoradores edáficos en cultivo de café var. Garnica en Ixhuatlán del Café. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 pp.
80. WCR (World Coffee Research). 2016. Las variedades de Café de Mesoamérica y el Caribe. En: <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es>. Fecha de consulta el 22 de junio de 2017.
81. Zamarripa, C.A., Escamilla, P.E. 2002. Variedades de Café en México. Origen, características y Perspectivas. Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Oriente. Centro Nacional de Investigación para el Desarrollo de Regiones cafetaleras. Huatusco, Ver., México. 39 p.
82. Zamarripa, C.A., Escamilla, P.E. 2016. Variedades de café en México: origen, características y perspectivas. Coordinadora editorial: Susana Córdova Santamaría. Segunda edición corregida y aumentada. Xalapa, Veracruz, México. Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café. 43 pp.
83. Zepeda, A., Zelaya, D., Contreras, P., Palacios, J.L. 1996. Establecimiento y manejo de semilleros. Managua, Nicaragua. P. 51-58. UNICAFÉ. Manual de Cafeticultura de Nicaragua. Fondo de Contravalor Italia/Nicaragua. CENACOR.

ANEXOS

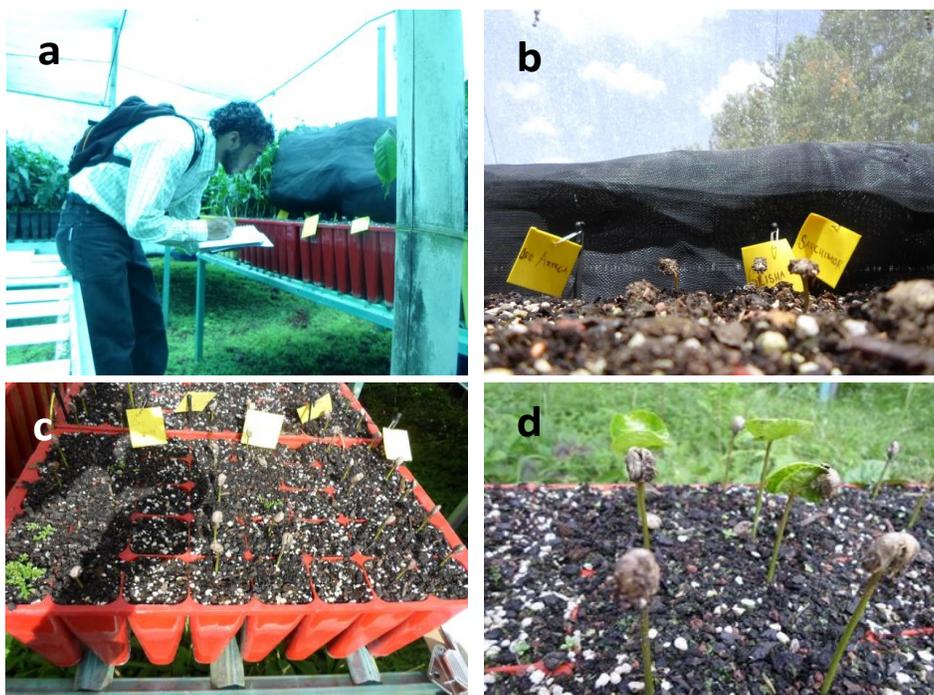
ANEXO 1. Preparación de sustratos y módulos con malla sombra de diversos colores.



ANEXO 2. Siembra de café en módulos con diversos colores de malla sombra: a) roja; b) negra; c) azul; d) aluminizada; e) gris; f) perla.



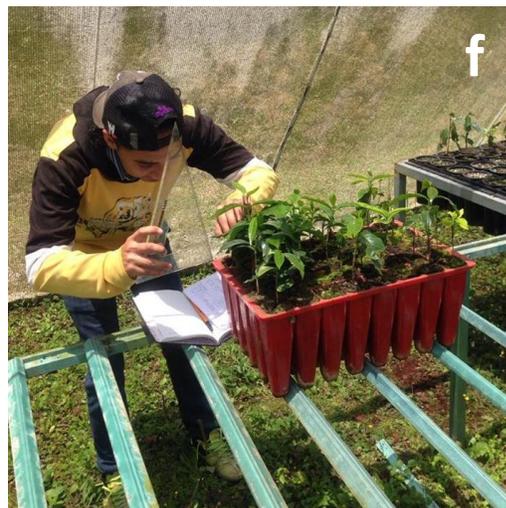
ANEXO 3. Registro fenológico de la emergencia de café (soldadito).



ANEXO 4. Registro fenológico de café: a y b) mariposa; c y d) pesetilla; e) naranjito.



ANEXO 5. Registro de mediciones en plantas de café en condiciones de vivero: a y b) diámetro de tallo; c) número de hojas verdaderas; d, e y f) altura de planta.



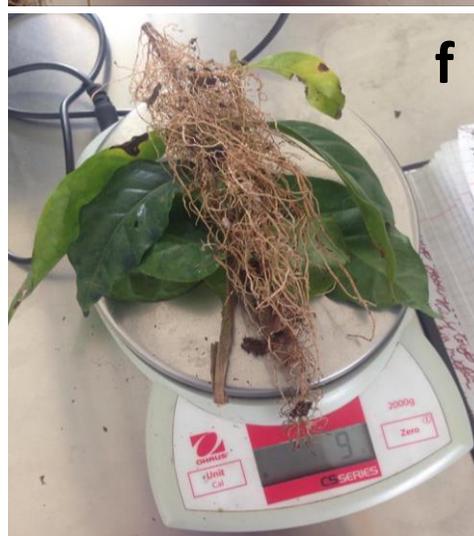
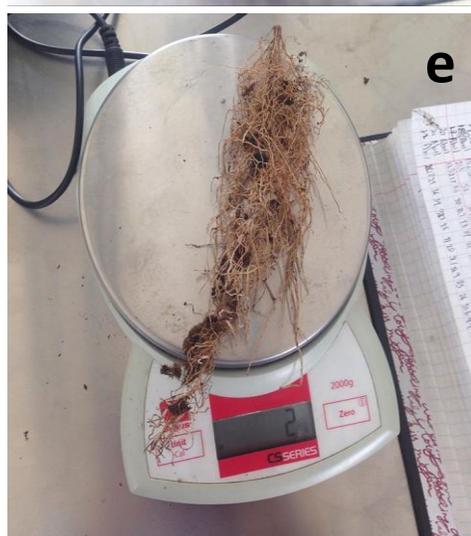
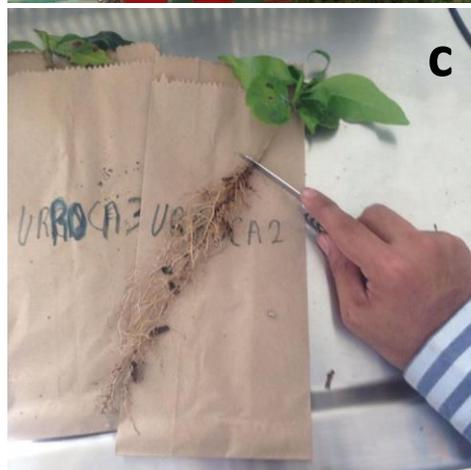
ANEXO 6. Medición de fotosíntesis: a y b) medidor de fotosíntesis CI-340, Cid System; c, d, f, y e) midiendo la radiación fotosintéticamente activa en las plantas de café.



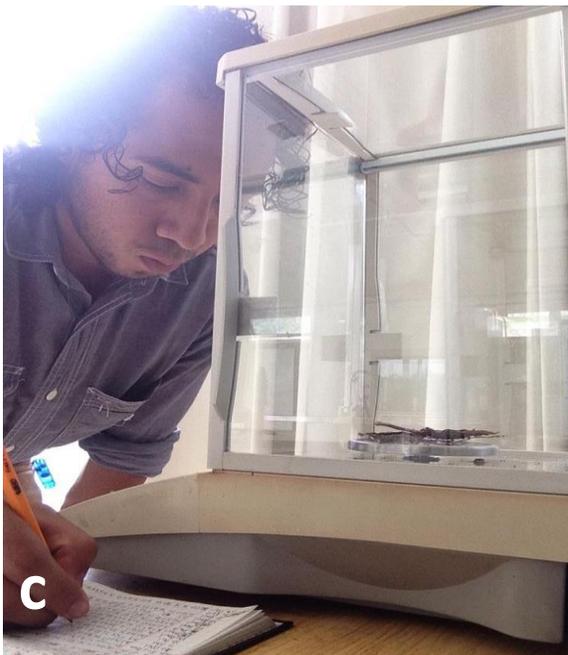
CO ₂ in, H ₂ Oin	Amt CO ₂ /H ₂ O at inlet of analyzer	ppm, kPa
CO ₂ out, H ₂ Oout	Amt CO ₂ /H ₂ O at leaf chamber outlet	ppm, kPa
CO ₂ dif, H ₂ Odif	Diff between CO ₂ /H ₂ Oin and CO ₂ /H ₂ Oout	
RHin, RHout	Inlet/outlet relative humidity	%
PAR	Photosynthesis active radiation	μm ² /s
FLOW	Set flow rate of analyzer	lpm
W	Mass flow rate	mol/m ² /s
T (air)	Temp of ambient air in leaf chamber	°C
T (leaf)	Temp of leaf	°C
ATM	Atmospheric pressure	kPa
Pn	Net photosynthesis rate	μm ² /s
IntCO ₂	Internal CO ₂	μmol/mol
C	Leaf stomatal conductance	mmol/m ² /s
Internal T	Temp of analyzer environment	°C
E	Transpiration Rate	mmol/m ² /s
VPD	Vapor pressure deficit	kPa



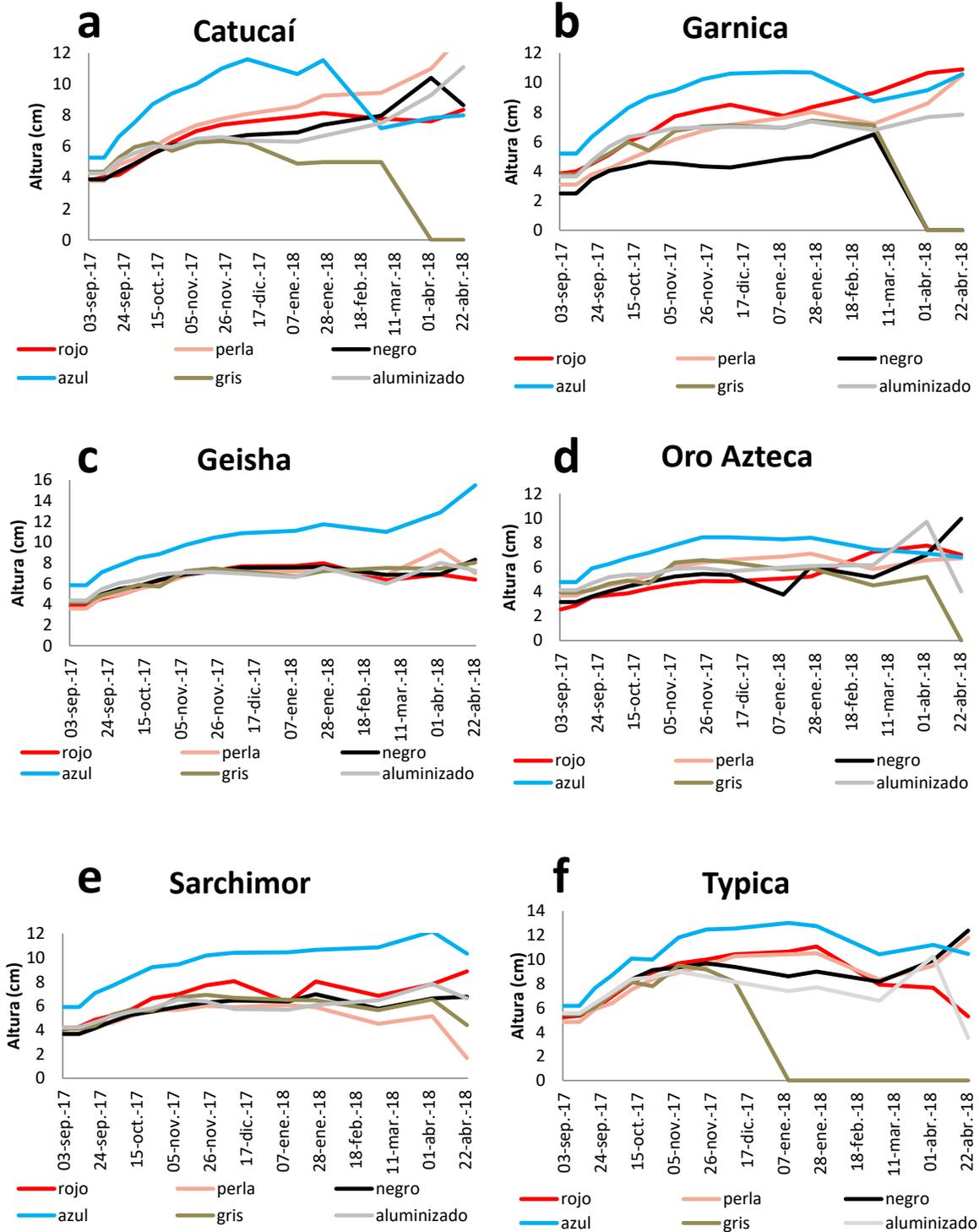
ANEXO 7. Registro de materia en base fresca de las plantas de café: a y b) extracción de plantas de las charolas; c) corte de parte aérea y radicular; d) peso aéreo; e) peso radicular; f) peso fresco total.



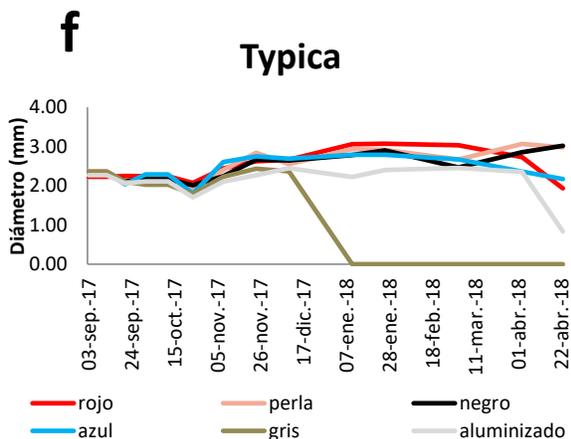
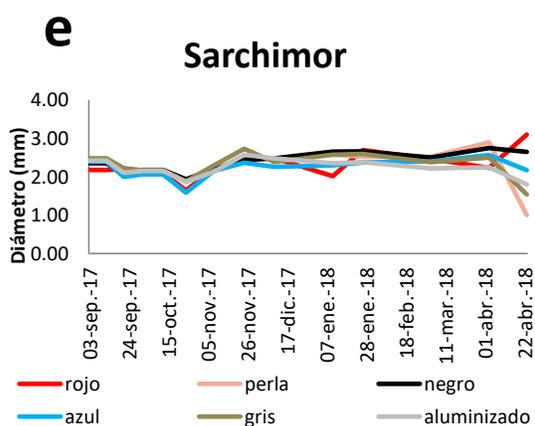
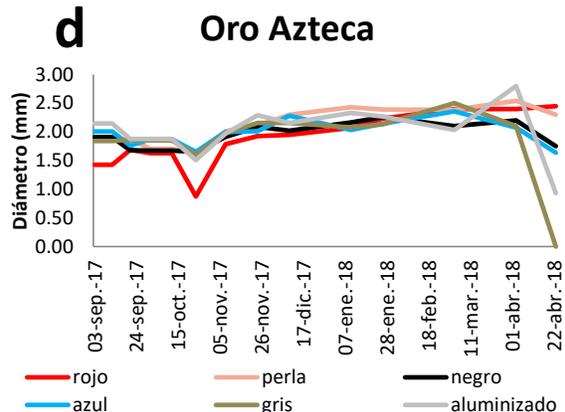
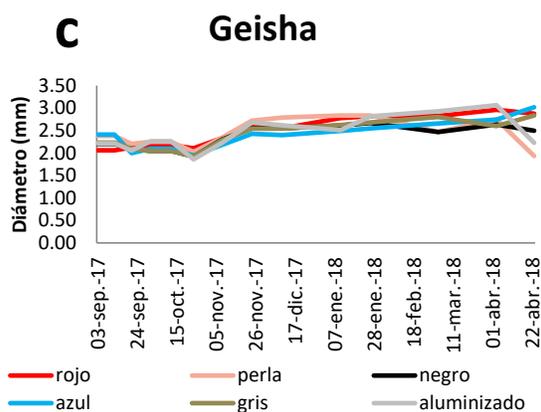
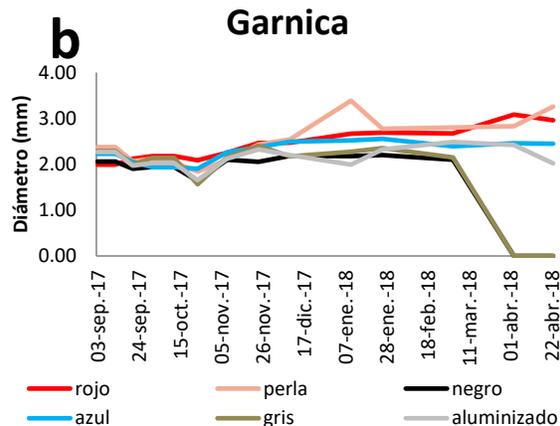
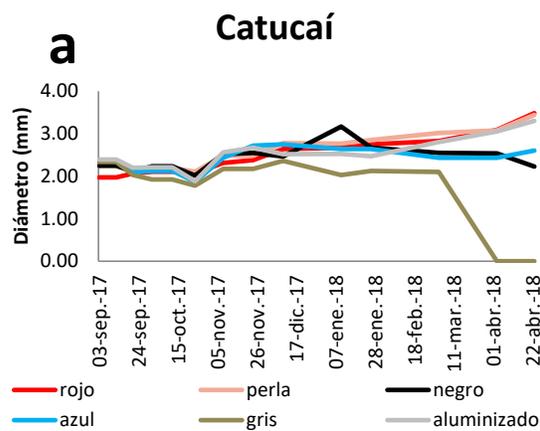
ANEXO 8. Registro del peso de materia en base seca de las plantas de café: a) balanza analítica de precisión; b) peso radicular; c) peso aéreo; d) peso seco total.



ANEXO 9. Altura promedio de las variedades dentro de cada malla sombra.



ANEXO 10. Diámetro del tallo de las variedades dentro de cada malla sombra



ANEXO 11. Representación del número de hojas promedio de las variedades dentro de cada malla sombra.

