



1859



Universidad
Nacional
de Loja



**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA

TÍTULO

**“RESPUESTA FISIOLÓGICA Y CRECIMIENTO DE
PLANTONES DE CAFETO (*Coffea arabica* L.) A DIFERENTE
CALIDAD DE LUZ EN VIVERO”**

Tesis previa a la obtención
del título de Ingeniera
Agrónoma.

Autora

Cristina Nathaly Espinoza Martínez

Director

Max Enrique Encalada Córdova PhD.

Loja - Ecuador

2019

CERTIFICACIÓN

Max Encalada Córdova *Ph D.*

CERTIFICA

En calidad de Director de la tesis titulada: **“RESPUESTA FISIOLÓGICA Y CRECIMIENTO DE PLANTONES DE CAFETO (*Coffea arabica* L.) A DIFERENTE CALIDAD DE LUZ EN VIVERO”**, de autoría de la señorita Cristina Nathaly Espinoza Martínez, portadora de la cédula 1104278237, egresada de la Carrera de Ingeniería Agronómica, ha sido dirigida, revisada y culminada dentro del cronograma aprobado en su integridad.

Por tal razón, autorizo su presentación para que continúe con el proceso que corresponda.

Loja, 02 de agosto del 2019

Atentamente,



Max Encalada Córdova *Ph D.*

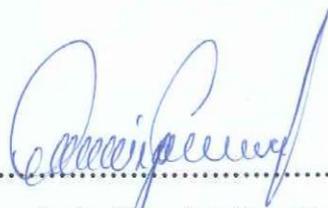
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Una vez cumplida la reunión del Tribunal de calificación del Trabajo Final de Tesis: **“RESPUESTA FISIOLÓGICA Y CRECIMIENTO DE PLANTONES DE CAFETO (*Coffea arabica* L.) A DIFERENTE CALIDAD DE LUZ EN VIVERO”**, de la autoría de la señorita Cristina Nathaly Espinoza Martínez, egresada de la carrera de Ingeniería Agronómica, se le propuso realizar algunas correcciones, mismas que han sido incluidas en el documento final.

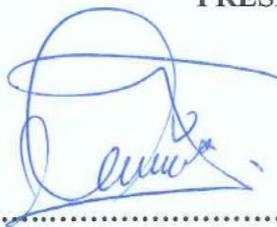
En tal virtud, nos permitimos certificar que el trabajo final consolidado de investigación está acorde a los requerimientos de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, por lo tanto, se autoriza continuar con los trámites correspondientes.

Loja, 05 de septiembre del 2019



.....
Ing. Javier Guayllas Guayllas Mg.Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



.....
Ing. Kléver Chamba Caillagua

VOCAL DEL TRIBUNAL



.....
Ing. Nohemí Jumbo Benítez Mg. Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL

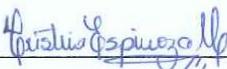
AUTORÍA

Yo, Cristina Nathaly Espinoza Martínez, declaro ser autora del presente TRABAJO DE TESIS y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes Jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Declaro, que durante la investigación y elaboración de la tesis el uso de referencias publicadas por otros autores cumplió con las normas y regulaciones establecidas.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.”

Autor: Cristina Nathaly Espinoza Martínez

Firma:  _____

Cédula: 1104278237

Fecha: 06 de septiembre del 2019.

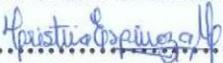
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, Cristina Nathaly Espinoza Martínez, declaro ser el autor de la tesis titulada **“RESPUESTA FISIOLÓGICA Y CRECIMIENTO DE PLANTONES DE CAFETO (*Coffea arabica* L.) A DIFERENTE CALIDAD DE LUZ EN VIVERO”**, como requisito para optar al grado de Ingeniera Agrónoma, por lo que autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre al mundo la publicación intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden hacer uso de este trabajo investigativo en las redes de información del país (RID) y del exterior, con las que mantenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio de dicha tesis que realice una tercera persona.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los 06 días del mes de septiembre del dos mil diecinueve, firma la autora:

Firma: 

Autora: Cristina Nathaly Espinoza Martínez

Cédula: 1104278237

Dirección: Loja, La Argelia

Correo electrónico: cristinaespinoza2404@gmail.com

Celular: 0959880780

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Max Encalada Córdova PhD.

Tribunal de grado:

PRESIDENTE: Ing. Javier Guayllas Guayllas Mg. Sc.

VOCAL: Ing. Kléver Chamba Caillagua

VOCAL: Ing. Nohemí Jumbo Benítez Mg. Sc

AGRADECIMIENTO

Al proyecto “Efecto de la sombra y la densidad poblacional en el desarrollo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales en tres localidades de Loja”, financiado por la Universidad, al Ingeniero Max Encalada PhD., por su comprensión, paciencia y acertada dirección del trabajo de investigación desde su inicio hasta su culminación.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Loja por los conocimientos brindados durante el proceso académico.

Cristina Nathaly Espinoza Martínez

DEDICATORIA

Primero a Dios y a la virgencita del Cisne por la salud y la fuerza para guiarme por el buen camino y seguir adelante en mis metas propuestas.

A mis dos madres María Dolores y Luz, por el gran apoyo, cariño, amor y por mostrarme el valor de que todo se puede, a mi familia por alentarme en toda mi vida personal y universitaria.

A mis amigos, en especial a Daniela el cual he contado con su apoyo y han compartido conmigo un pedacito de su vida durante esta etapa tan importante.

A Sebastián, por su compañía y apoyo en el trabajo de campo.

Cristina Nathaly Espinoza Martínez

ÍNDICE GENERAL

Contenido

CERTIFICACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iii
AUTORÍA	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
RESUMEN	xv
1. INTRODUCCIÓN	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Ciclo fenológico del café	4
2.2. Tecnología de producción de plántones de café	5
2.3. El manejo de la luz en viveros de café.....	6
2.4. La luz y el crecimiento de las plantas	6
2.5. La calidad de la luz y su influencia sobre el crecimiento vegetal.....	8
2.6. Mallas de colores y su uso en viveros.....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. LOCALIZACIÓN	14
3.2. MATERIALES	15
3.2.1. Instrumentos y materiales de campo.....	15

3.2.2.	Materiales de oficina.....	15
3.2.3.	Equipos y materiales de laboratorio.....	15
3.3.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	15
3.3.1.	Esquema del diseño experimental.....	16
3.4.	METODOLOGÍA.....	16
3.4.1.	Prueba de germinación.....	16
3.4.2.	Instalación y preparación del semillero.....	17
3.4.3.	Selección y siembra de las semillas.....	17
3.4.4.	Preparación del sustrato y trasplante de chapolas a las fundas.....	17
3.4.5.	Colocación de mallas y plantones.....	18
3.4.6.	Metodología para el primer objetivo.....	18
3.4.7.	Metodología para el segundo objetivo.....	19
4.	RESULTADOS.....	21
4.1.	Resultados para el primer objetivo.....	21
4.1.1.	Contenido Hídrico Relativo.....	21
4.1.2.	Índice estomático.....	21
4.1.3.	Densidad estomática.....	22
4.1.4.	Largo y ancho de los estomas.....	22
4.2.	Resultado para el segundo objetivo.....	23
4.2.1.	Porcentaje de emisión del primer par de hojas.....	23
4.2.2.	Altura de la planta.....	24
4.2.3.	Diámetro del tallo.....	24
4.2.4.	Número de hojas verdaderas.....	25
4.2.5.	Superficie foliar.....	26
4.2.6.	Masa seca total.....	26

4.2.7.	Masa seca aérea	27
4.2.8.	Masa seca radical	27
5.	DISCUSIÓN	29
6.	CONCLUSIONES	32
7.	RECOMENDACIONES	33
8.	BIBLIOGRAFÍA	34
9.	ANEXOS	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Quinta Experimental Docente La Argelia.....	14
Figura 2. Porcentaje de emisión del primer par de hojas de plántones de café a los 19 DDT.....	23
Figura 3. Dinámica de la altura (cm) de plántones de café.	24
Figura 4. Dinámica del diámetro (cm) de tallo de plántones de café.	25
Figura 5. Número de hojas verdaderas de plántones de café,.....	25
Figura 6. Superficie foliar (cm ²) en hojas de plántones de café.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido hídrico relativo (%) de plantones de cafeto a los 93 DDT.....	21
Tabla 2. Índice estomático (%) en hojas de plantones de cafeto a los 93 DDT.....	22
Tabla 3. Densidad estomática (mm ²) en hojas de plantones de cafeto a los 93 DDT.....	22
Tabla 4. Largo y ancho de los estomas (mm ₂) en hojas de plantones de cafeto, a los 93 DDT. .	23
Tabla 5. Masa seca total (gr) de plantones de cafeto, a los 93 DDT.....	26
Tabla 6. Masa seca aérea (gr) de plantones de cafeto, a los 93 DDT. .	27
Tabla 7. Masa seca radical (gr) de plantones de cafeto, a los 93 DDT. .	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de análisis de varianza	44
Anexo 2. Evidencias fotográficas	50
Anexo 3. Tríptico para presentación de resultados a los estudiantes del IX ciclo de la carrera... 55	
Anexo 4. Registro de la asistencia de estudiantes del IX ciclo presentes en la socialización de resultados.....	57

**RESPUESTA FISIOLÓGICA Y CRECIMIENTO DE
PLANTONES DE CAFETO (*Coffea arabica* L.) A
DIFERENTE CALIDAD DE LUZ EN VIVERO.**

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Quinta Experimental Docente La Argelia de la Universidad Nacional de Loja, del cantón Loja de la provincia de Loja, desde noviembre de 2018 hasta junio de 2019. El objetivo fue contribuir al conocimiento sobre el efecto de la calidad de luz generada por el color de malla de sombra en plántones de caféto *Coffea arabica* L. en vivero. Los colores de malla que se utilizaron fueron roja, verde, azul y negra al 50 % de sombra durante todo el experimento, se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Las evaluaciones se realizaron luego del trasplante a las fundas cada 15 días, las variables evaluadas fueron: porcentaje de emisión del primer par de hojas, altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, superficie foliar, contenido hídrico, índice y densidad estomática, largo y ancho de los estomas y masa seca de cada órgano. En cuanto a la emisión del primer par de hojas el T1 (malla roja) obtuvo un porcentaje mayor de plántones con el primero par de hojas emitido a los 19 DDT, con relación a los demás tratamientos. El área foliar el mejor tratamiento fue el T4 (malla negra), la masa seca total se tuvo mayor significancia los tratamientos T1 (malla roja) y T3 (malla azul). Se concluye que la respuesta fisiológica no existió una relación directa con el factor calidad de luz, con relación a los indicadores de crecimiento.

Palabras claves: calidad de luz, color de malla, caféto.

ABSTRAC

His research work was carried out in the Fifth Experimental Teaching La Algeria of the National University of Loja, in the Loja canton of the province of Loja. From November 2018 to June 2019. The objective was to contribute to the knowledge about the effect of the quality of light generated by the shade mesh color in *Coffea arabica* L. coffee seedlings in nursery. The mesh colors that were used were red, green, blue and black at 50% shade throughout the experiment, a completely randomized design (DCA) was applied with 4 treatments and 3 repetitions. The evaluations were made after the transplant to the covers every 15 days, the variables evaluated were: percentage of emission of the first pair of leaves, plant height, stem diameter, number of leaves, leaf surface, water content, index and density stomatic, length and width of stomata and dry mass of each organ. Regarding the emission of the first pair of leaves, T1 (red mesh) obtained a higher percentage of seedlings with the first pair of leaves issued at 19 DDT, in relation to the other treatments. The foliar area the best treatment was T4 (black mesh), the total dry mass had greater significance treatments T1 (red mesh) and T3 (blue mesh).

It is concluded that the physiological response did not exist a direct relationship with the light quality factor, in relation to the growth indicators.

Key words: light quality, mesh color, coffee.

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el cafeto se desarrolla en una franja altitudinal que va desde los 300 hasta los 1 800 m, ubicándose en el Litoral y en las estribaciones occidental y oriental de la Cordillera de los Andes (COFENAC, 2013). El cultivo de café es importante en el ámbito económico, social y ambiental, por el aporte de divisas para el Estado, la generación de ingresos que representa para las familias cafetaleras, contribuye a la conservación de la biodiversidad, la protección de cuencas y fuentes hídricas, la captura de carbono, el uso recreacional y la belleza escénica encontrándose dentro de las principales actividades agrícolas que se realiza en el Ecuador (Duicela y Corral, 2009).

Los factores ambientales pueden causar distintos cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos en los cultivos, determinando una variación en su rendimiento, ya que la interacción entre estos factores y los procesos fisiológicos inciden en el mejoramiento de las prácticas de producción, al optimizar la fotosíntesis e incrementar la productividad de los cultivos (Restrepo, 2010).

En el desarrollo para la producción de plántones se ha implementado tecnologías agrarias que permite manejar la longitud de onda del espectro solar, con el establecimiento de mallas de protección de color que regulan la energía de la luz transmitida y receptada por los órganos de la planta, haciendo que esta sea más eficiente en su desarrollo fenológico (Silva, 2015). De acuerdo con Shahak (2008), esta nueva tecnología fomenta la estimulación diferencial de algunas respuestas fisiológicas reguladas por la luz tales como la fotosíntesis y la fotomorfogénesis, que incluye efectos sobre la elongación del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y muchos otros metabolitos secundarios (García, 2017).

En el género *Coffea* tiene gran influencia la intensidad y calidad de la luz, cuyo efecto se manifiesta desde cambios en el crecimiento vegetativo, hasta diferencias marcadas en los rendimientos, en dependencia del nivel de exposición a la radiación solar (Fonseca *et al.*, 2015), es así que, los plántones de cafeto, pasan por un proceso de crecimiento y adaptación en el que las condiciones ambientales tienen gran importancia y ejercen influencia directa sobre su

fisiología en las diferentes etapas de crecimiento; siendo uno de esos factores la luz (Encalada *et al.*, 2016).

Esta investigación forma parte del proyecto denominado “Efecto de la sombra y la densidad poblacional en el desarrollo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales en tres localidades de Loja” ejecutado por la Universidad Nacional de Loja.

Se realizó esta investigación con la finalidad de generar información sobre el conocimiento en base a la respuesta fisiológica del cafeto evaluada a diferente calidad de luz en vivero, lo que permitirá una producción sostenible de plántulas de cafeto, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General:

- Evaluar la respuesta fisiológica y de crecimiento de plántulas de cafeto (*Coffea arabica* L.) a diferente calidad de luz.

Objetivos Específicos:

- Conocer la respuesta fisiológica de plántulas de cafeto a la calidad de luz.
- Evaluar el efecto de la calidad de luz en el crecimiento de plántulas de cafeto.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Ciclo fenológico del café

De acuerdo con Arcila *et al.* (2002), el conocimiento de la fenología es muy importante para la apropiada planeación y manejo de prácticas. La escala BBCH¹ ampliada (Bleiholder *et al.*, 1991; Lancashire *et al.*, 1991) incluye 10 estados principales, los cuales se codifican de 0 a 9 y se inician con la germinación de la semilla o el desarrollo de brotes en las estacas o los tocones de las zocas (Estado 0). El crecimiento vegetativo se caracteriza por tres macroestados correspondientes al desarrollo foliar en el almácigo y en las ramas de plantas en el campo (Estado 1), la formación de ramas (Estado 2), y su elongación (Estado 3). El desarrollo de órganos vegetativos cosechables (Estado 4 de la escala general) no se consideró por no ser característico del desarrollo de la planta de café. El crecimiento reproductivo representado por el desarrollo de la inflorescencia y de la flor se considera en el Estado 5 y la floración en el Estado 6. El desarrollo del fruto (Estado 7) y su maduración (Estado 8), completan el ciclo reproductivo. Los procesos de senescencia o envejecimiento de la planta se incluyen en el Estado 9 y completan la escala.

Según Arcila *et al.* (2001) las fases fenológicas de la planta de café *Coffea sp.* comprenden: Estado principal de crecimiento 0: Germinación, propagación vegetativa; 00 Semilla seca (11 - 12% de humedad), de color amarillento si el pergamino está presente o verde - azulado si se ha removido el pergamino y la película plateada (trillado). Estaca (ortotrópica, mononodal, 60 mm de largo, dos hojas recortadas a la mitad). Tallos con dos nudos abultados y aún sin brote visible; 01 Se inicia la imbibición de la semilla, la almendra aparece hinchada, color blanquecino, la radícula no es visible. No hay brotes ni formación de callos; 03 Se completa la imbibición de la semilla, la almendra aparece blanca y con un ligero abultamiento en el extremo donde se ubica el embrión. Comienza la formación de callo. Yemas redondas de color verde, visibles en los tallos.

En el estado 05 la radícula brota de la semilla y aparece curvada. Brotes visibles. Comienza la formación de brotes en los tallos; 06 Elongación de la radícula, formación de raicillas y raíces laterales en la semilla; 07 El hipocótilo sobresale del suelo y se observan los cotiledones todavía

¹ BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt y CHemical industry")

encerrados en el pergamino. Las estacas han formado brotes y tienen raíces ramificadas; 09 Emergencia: Las semillas han surgido desde el suelo y se ven los hipocótilos con los cotiledones emergiendo a través del pergamino. Las estacas muestran raíces de 6 a 7 cm de largo y brotes con 1 ó 2 nudos. Los tocones tienen retoños con los primeros pares de hojas.

Estado principal de crecimiento 1: Desarrollo de la hoja, en el tallo de la planta de almácigo o en las ramas del árbol; 10 Cotiledones completamente abiertos. Primer par de hojas verdaderas sin abrir se separan del ápice del tallo o el primer par de hojas verdaderas sin abrir se separan del ápice de la rama; 11 Primer par de hojas abierto, pero aún no alcanzan su tamaño final. Hojas de color verde claro o bronceadas; 12 2 pares de hojas abiertas, pero sin alcanzar su tamaño final. Hojas de color verde claro o bronceadas; 13 3 pares de hojas abiertas, pero sin alcanzar su tamaño final. El tercer par de hojas a partir del ápice es de color verde oscuro.

En el 14 4 pares de hojas abiertas. El cuarto par de hojas a partir del ápice es de color verde oscuro y ha alcanzado su tamaño final. Los estados continúan hasta 19 9 ó más pares de hojas abiertas visibles. En este caso se diferenció entre el desarrollo de la hoja en las plantas de almácigo y el desarrollo de la hoja en las ramas del árbol, por esta razón, en las plantas jóvenes se cuenta cada par de hojas mientras que para el árbol se considera el conjunto de hojas nuevas.

2.2. Tecnología de producción de plantones de café

Según Barquero *et al* (2001), el almácigo debe de ubicarse en un sitio con buen drenaje, buena luminosidad, sin estar expuesto a vientos fuertes, además se requiere que tenga fácil acceso y disponibilidad de riego. Además, SCAN (2012) menciona para el cuidado del vivero de debe ver que las plantas reciban un riego adecuado, buen abonamiento foliar y que las bolsas estén sin malezas.

CICAFE (2011), reporta que se debe utilizar semilla seleccionada de buena calidad. Fischersworrning y Robkamp (2001) indican que la selección de semilla es muy importante, ya que mediante este proceso se puede obtener cafetos sanos y vigorosos que garanticen una abundante producción de alta calidad.

En la siembra Figueroa (1996) indica para la siembra al voleo se esparcen semillas sobre el substrato húmedo. Sierra (2001) menciona que la siembra de café consiste en depositar las semillas sobre la cama germinadora y se realiza esparciendo la semilla uniformemente en forma de voleo. Wightman (2000) manifiesta que, la calidad del substrato es uno de los factores que más influyen en el desarrollo de las plántulas. Barquero *et al* (2011) afirman que el sustrato que se recomienda debe estar constituido por suelo bien suelto, cáscara de arroz y abono orgánico bien descompuesto mezclados. Pero, Morón (2008) afirma que la proporción recomendada de una buena mezcla de tierra es la siguiente, cuatro porciones de tierra negra por una de tierra de corral bien descompuesta, mezclar y cernir bien antes de llenar las bolsitas.

2.3. El manejo de la luz en viveros de café

Las tres propiedades más importantes de la luz que afectan el crecimiento de las plántulas son la intensidad, la duración y la calidad (Kramer & Kozlowski, 1979).

La intensidad tiene relación con la aceleración de la tasa de crecimiento, siempre que ésta sea adecuada para aportar energía suficiente para llevar a cabo la fotosíntesis y puede ser también un factor que prevenga la dormancia. **La duración**, por otro lado, se relaciona con la duración del día, que es necesaria para prolongar el crecimiento vegetativo y, finalmente, **la calidad** está relacionada con las diferentes longitudes de onda que disparan diferentes funciones en las plantas. La luz roja (640-740 nanómetros), es más eficiente para la fotosíntesis (Nobel,1991).

En los viveros, el control de la luz se realiza con medias sombras o mallas media sombra con penetración de 40 a 60% de luz solar (Vera, 1986), considerando su uso sólo en las etapas iniciales del crecimiento para no interferir con el proceso de lignificación (Prieto, *et al.* 1999.)

2.4. La luz y el crecimiento de las plantas

La participación de la luz en el crecimiento de las plantas es compleja. Las características de la luz cambian con la longitud de onda. Hay ondas electromagnéticas perjudiciales, como los rayos cósmicos y la gamma, que pueden lesionar a los organismos vivos. Sin embargo, los seres vivos pueden utilizar la mayoría del espectro electromagnético que incide sobre la superficie de la tierra, en particular la parte visible de este espectro, que llamamos “luz”. En general, se sabe que

la luz visible tiene aproximadamente la misma longitud de onda que la radiación fotosintética activa (Fukuda, 2013).

La luz tiene dos funciones importantes en el crecimiento de las plantas: como fuente de energía para la fotosíntesis, pues sin su participación las plantas superiores no pueden crecer, y como un estímulo, por ejemplo, para el control del crecimiento de las plantas, o para regular el momento de la floración o la morfogénesis (Momokawa, *et al.*, 2011, Higuchi, *et al.*, 2012). Por lo tanto, el crecimiento de las plantas y su desarrollo a veces se alteran como respuesta a los cambios en el color de la luz irradiada (Eskins, 1992, Guo, *et al.*, 2012, Nguy-Robertson, *et al.*, 2015). Por otro lado, debido a la gran variación de las condiciones de iluminación natural y a su carácter sésil, las plantas se ven obligadas a aclimatarse a nivel celular y molecular ante los cambios en la oferta ambiental. Los cambios en la intensidad o en la calidad de la luz inducen alteraciones en los estados de oxidación y reducción (redox) de la cadena transportadora de electrones para la fotosíntesis, que actúa como inicio de las respuestas de aclimatación compensatorias, incluidos los ajustes funcionales y estructurales de la fotosíntesis y el metabolismo (Dong, *et al.*, 2014, Dietzel, *et al.*, 2015).

Caldari (2007), manifiesta que la luz es un factor imprescindible para llevar adelante una serie de procesos fisiológicos en las plantas, siendo el más importante de todos la “fotosíntesis. Decoteau (1996), sostiene que la luz para las plantas comprende todas las longitudes de onda del espectro electromagnético, incluyendo las longitudes de onda que los humanos pueden ver (luz visible) y las longitudes de onda que los humanos no pueden ver (como microondas y luz infrarroja). La planta no solo emplea la luz como medio de información sino también para producir alimentos a través de la fotosíntesis.

La luz estimula la apertura de los estomas, interviene en los mecanismos activos de membrana que expulsan protones (H⁺) hacia fuera de la célula oclusiva, permitiendo la entrada de los iones K⁺ y Cl⁻. Además, la luz activa la fotosíntesis en las células del mesófilo; de esta forma se consume CO₂ y la concentración de este gas en los espacios intercelulares y en las células oclusivas se mantiene baja.

Los estomas no solo responden a factores ambientales sino que también muestran ritmos diarios de apertura y cierre, es decir, muestran ritmos circadianos. En la mayoría de las especies, las

estomas se cierran, generalmente, por la tarde cuando la fotosíntesis ya no es posible, y vuelven a abrirse por la mañana, es decir, los estomas están abiertos durante el día y cerrados por la noche (Alegria, 2016).

La radiación solar es esencial en el funcionamiento de ecosistemas tanto a través del control de procesos biológicos ya sean la transpiración y fotosíntesis, como su efecto sobre otros factores ambientales como la temperatura y la humedad, así como en ciclos naturales; de manera que para que la radiación produzca alteraciones en la fisiología de plantas y árboles, esta debe penetrar sus hojas (Carrasco-Ríos, 2009). La transpiración es el intercambio gaseoso de CO₂ y H₂O que permite la absorción de nutrientes y está mediado por estructuras compuesta de una cámara subestomática (poro) que está rodeada de células oclusivas que se encuentran en la epidermis de la hoja; estas estructuras son llamadas estomas (Barrientes-Priego *et al*, 2003). La radiación solar controla este proceso ya que la luz promueve la apertura de los estomas, así como su número por unidad foliar (Toral *et al*, 2010).

El tamaño de los estomas está frecuentemente relacionado con su densidad, por ejemplo hojas con estomas pequeños presentan alta cantidad estomática mientras que hojas con estomas grandes presentan una baja cantidad estomática (Lallana y Lallana, 2003). Debido a las funciones esenciales que cumplen las estomas en el desarrollo de las plantas y árboles, es importante saber de su cantidad y acerca de los factores que los controlan (Perés-Martínez *et al*, 2004).

La luz es la señal ambiental que controla el movimiento de los estomas de las hojas de plantas con suficiente irrigación en ambientes naturales; cada estoma se abre cuando la intensidad de la luz aumenta y se cierra cuando disminuye (Hernández, 2013).

2.5. La calidad de la luz y su influencia sobre el crecimiento vegetal

La calidad de la luz se refiere al hecho de que distintas longitudes de onda se relacionan con diferentes funciones en las plantas; sin embargo, dentro del intervalo de la RFA, la calidad de la luz considerada menos importante que su intensidad y duración (ASHRAE, 1989).

La calidad de la luz influye en las plantas: según Bickford y Dunn (1972) la luz ultravioleta: provoca daños en el ADN, reduce la velocidad de la fotosíntesis, disminuye el florecimiento y la polinización, y afecta el desarrollo de las semillas, Ultravioleta A (una subcategoría de la luz ultravioleta) puede provocar la elongación de la planta, luz azul proceso fotosintético es más eficiente, esta luz es responsable del crecimiento vegetativo y de las hojas, y es importante para las semillas y las plantas jóvenes porque ayuda a reducir el estiramiento de la planta, luz roja punto crítico de absorción de la luz para las hojas, el fitocromo (un fotorreceptor) dentro de las hojas es más sensible a la luz roja y responde a esta, además es importante en la regulación del florecimiento, producción de frutos, ayuda a aumentar el diámetro del tallo y estimula la ramificación.

En ciertos cultivos la calidad de la luz influye en el crecimiento vegetal. En estudios llevados a cabo por Casierra-Posada *et al.*, (2011) las plantas de fresa presentaron un incremento en el peso seco total de la planta cuando crecieron bajo un filtro fotoselectivo de color rojo, en comparación con los filtros de colores azul, verde y amarillo.

Hultberg, *et al.* (2014) encontraron que al exponer la microalga *Chlorella vulgaris* a luces monocromáticas de colores amarillo, rojo y blanco, la biomasa total acumulada se incrementó en comparación con las microalgas expuestas a luces de colores azul, verde y púrpura.

Del mismo modo, Rodríguez & Lazo, (2012) encontraron que 35 días después de la siembra, las plantas de coquito (*Cyperus rotundus* L.) presentaron un aumento en la masa seca total al crecer expuestas a un filtro de papel celofán de color rojo en comparación con los filtros de colores verde y blanco.

Al exponer las plantas a ambientes previamente modificados por coberturas de colores, su funcionamiento se ve influenciado de distintas formas, lo que afecta igualmente su crecimiento y desarrollo. Cuando el crecimiento vegetativo incrementa con determinado color de cobertura, generalmente aumentan también la producción y la calidad del producto cultivado, debido, ante todo, al efecto positivo que genera la calidad de la luz disponible y la eficiencia fotosintética del vegetal bajo esas condiciones en particular (Casierra-Posada *et al.*, 2011).

2.6. Mallas de colores y su uso en viveros

Las plantas tienen respuesta en su crecimiento y desarrollo por la cantidad, calidad, dirección y periodicidad de la luz. Por décadas se han realizado esfuerzos por manipular la morfología y fisiología de los cultivos usando filtros fotoselectivos, sobre todo en películas plásticas, aunque recientemente el uso de mallas sombra de colores se han estado empleando para manipular el crecimiento y desarrollo de los cultivos debido a que fomentan un incremento en el rendimiento comercial, disminución de desórdenes fisiológicos y respuestas fisiológicas relacionadas al tamaño, peso, color, amarre y momento de cosecha (Juárez; Bugarín *et al.*, 2011).

Las mallas se han convertido en el sistema de protección más empleado en los cultivos, ya que son utilizadas no solo para controlar la temperatura y luz solar que ingresa a los cultivos, sino que suministran una protección completa, evidenciando mayores rendimientos y uniformidad de los frutos (Rodríguez & Morales, 2015).

Los resultados obtenidos en el estudio del Uso de mallas sombra: una alternativa para la producción de tomate Cherry, denotan que las mallas de color transmitieron diferentes cantidades de RT² debido al número de hilos (3x6 hilos por pulgada cuadrada) para lograr el efecto de sombreo, las cuales filtran selectivamente una mayor fracción de la radiación solar que pasa a través de los hilos plásticos, en tanto que, con la MSN³, el tejido de la malla plástica sólo permite la entrada de la radiación por los orificios de la malla, la cual no es filtrada selectivamente.

De acuerdo a los resultados de este estudio, la malla sombra perla se considera una alternativa viable para la producción de tomate Cherry, mediante las variables respuesta de las plantas evaluadas fueron: altura final de planta, número de frutos por planta, contenido de sólidos solubles, tamaño del fruto (diámetro polar y ecuatorial del fruto), peso promedio de fruto y rendimiento (Márquez, *et al.* 2014)

Los rendimientos comerciales y con calidad de exportación son mayores en el cultivo de pimiento cuando se cultivan bajo mallas sombras de colores (aperlada, roja, verde y azul)

² RT (Radiación total)

³ MSN (malla sombra negra)

comparados a los que se obtienen con malla negra, esto de acuerdo con lo reportado por Ayala *et al.* (2015).

En el mismo estudio realizado no encontró diferencias significativas entre los distintos colores de mallas sombra, aunque el color aperlado tuvo ligera superioridad en cuanto a rendimiento comercial y número de frutos por planta. Por tanto, para el cultivo de pimiento el uso de mallas de colores, independientemente de su color, ayuda a mejorar su producción.

En el cultivo de pepino, un trabajo desarrollado por Rendón *et al.* (2015) demostró que el uso de mallas de color rojo con 30 % de sombreo es la que mejora más el peso de la planta, peso y diámetro del fruto y el rendimiento total; aunque también el cultivo de pepino muestra una buena respuesta cuando es cultivado bajo mallas sombra color blanco, mejorando incluso el número de frutos en relación a la malla color rojo.

Estudios realizados por Ayala *et al.* (2011) y Márquez *et al.* (2014) demuestran que las mallas de colores alteran la cantidad y calidad de la luz transmitida sobre la planta de tomate, en donde se determinó que las mallas de color perla con 30 % de sombra ayudaron a que se presentaran tallos más gruesos y menos largos, con mayores contenidos de clorofila foliar, mayor rendimiento y mejor calidad de tomate respecto a mallas de otros colores. Por tanto, se recomiendan para el cultivo de tomate mallas sombra de color aperlado con un porcentaje de sombra del 30 al 50 %.

González (2005), en un estudio fisiológico de estolones de *Fragaria chiloensis* L., utilizó mallas de sombreo coloreadas sobre la producción de estolones empleando los tratamientos: control sin malla, malla blanca, malla roja, malla gris y malla negra; los resultados denotaron que la malla de color negro se obtiene el mayor efecto, reduciéndose este impacto con las mallas de color gris, roja y blanca, hubo diferencias altamente significativas respecto al testigo. Al implementarlas distintas mallas de sombreo coloreadas, el análisis encontró diferencias altamente significativas en el peso fresco y seco de hojas y en el peso fresco de la corona. También hubo efecto significativo en el peso fresco y seco de estolones y en el peso seco de la corona. No hubo diferencias significativas en el peso seco y fresco de las raíces.

En el café en un experimento realizado en México con mallas de colores mostraron el Peso de materia en base seca; los resultados mostraron que hay una diferencia estadística altamente significativa las mallas de color roja y perla sobresalieron con respecto a los otros cuatro colores, con valores de 3.3 y 3.2 g, respectivamente.

El promedio de peso fresco total de las mallas de color aluminizada, gris, negra y azul fueron de 2.4, 2.26, 2.41 y 2.31, respectivamente, Para las variables respuesta, hay una diferencia estadística significativa en las que las plantas crecidas bajo la malla sombra perla y roja presentan superioridad a los cafetos que crecieron bajo las mallas de otros colores. Ya que la producción de biomasa puede ser explicada a través de la cantidad de radiación interceptada y la eficiencia con la que dicha radiación es transformada en biomasa, se puede concluir que las plantas bajo el color de malla sombra perla y roja presentan una mayor eficiencia fotosintética (Reyes *et al.*, 2018).

Encalada *et al.* (2016) menciona, en un estudio realizado en Influencia de la luz en algunas características fisiológicas del café (*Coffea arabica* L. cv. Caturra) en condiciones de vivero, los resultados fueron los siguientes: los menores valores (1.82 y 1.92 g) se presentaron en los tratamientos de 70 y 50 % de luz, sin que existiera diferencia entre ellos. En otros estudios en café, se encontró que los valores más altos se produjeron en plantas sometidas a 50 % de luz (Dandengo *et al.*, 2013)

La producción de biomasa y el crecimiento del área foliar, estuvo expresado también en la respuesta fisiológica de las hojas, ya que el contenido de clorofila se presentó con valores mayores en los tratamientos de menor iluminación, con diferencia significativa respecto a pleno sol, incrementándose conforme se redujo la luz de manera lineal hasta los 60 DDT, a los 105 DDT los valores del 20 % de luz fueron menores que el tratamiento del 50 % que, al mismo tiempo, fue el de mayor contenido de clorofila con diferencia significativa, respecto a los demás; esto demostró que la clorofila aumentó a medida que disminuyó la intensidad de la luz hasta cierto límite, donde ya empezó a afectar el auto sombreado, dado por el incremento del área foliar, lo cual, según algunos autores (Fourier, 1988 & Carter *et al.*, 2001), genera cierto estrés, determinando la baja en la producción de clorofila.

Los resultados mostraron que las hojas expuestas a pleno sol, presentaron un número promedio mayor de estomas por área foliar, en relación con los niveles de menor luz, esto también se ha encontrado en otros estudios en café (Fonseca *et al.*, 2000).

Así mismo, entre las plantas crecidas con luz restringida, las de 70 % y 50 % no se diferenciaron entre sí, pero las de 50 %, mostraron diferencias con las de 20 %, que presentaron valores menores. En estudios realizados en especies arbóreas y arbustivas al sol y a la sombra, se señalan resultados de mayor frecuencia de estomas e índice estomático por área de hojas expuestas al sol (Nughes *et al.*, 2013); por otro lado, en algunas especies de árboles tropicales y amazónicos, considerando los estratos muestreados, se determinó que, en los estratos superiores, donde existía una mayor iluminación, la densidad estomática fue mayor (Camargo *et al.*, 2011; Naizaque *et al.*, 2014).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

El estudio se lo realizó en la Quinta Experimental Docente La Argelia, al sur de la ciudad de Loja, perteneciente a la parroquia de San Sebastián del cantón y provincia de Loja (fig.1), según Holdridge (1987) corresponde a bosque seco montano bajo (bs-Mb). Según el (INAMHI), posee un clima templado-frío, precipitación anual de 906.9 mm/año, temperatura media anual de 15.5 °C, humedad relativa mínima de 72 %. Además, presenta un suelo con una textura que van de franco a franco -arcilloso, pobre en materia orgánica y medianamente profundo. (Villamagua *et al*, 2013).

Geográficamente se ubica a una latitud 4°1'52.11" S y longitud 79°12'0.74" W, a una altitud de 2135 ms.n.m.

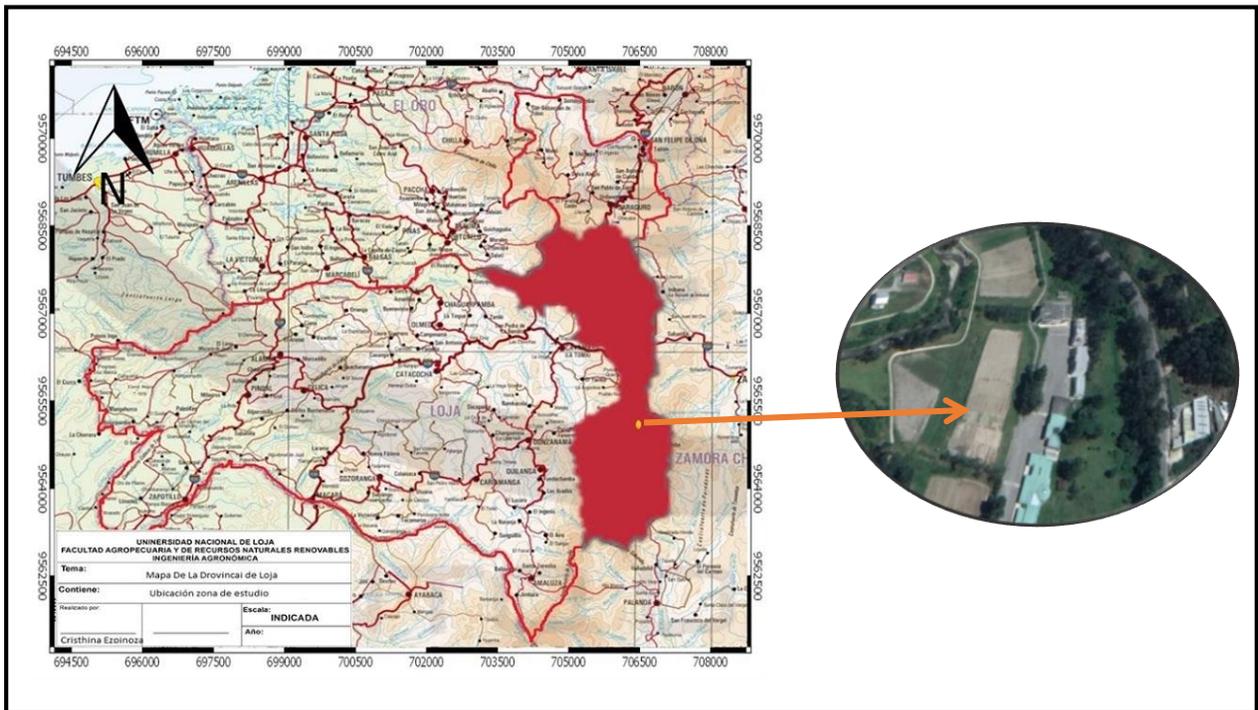


Figura 1. Ubicación de la Quinta Experimental Docente La Argelia

3.2. MATERIALES

3.2.1. Instrumentos y materiales de campo.

Se utilizó flexómetro, lampa, bomba, martillo, trasplantadora, fundas de polietileno (15x9cm), grapas, piola, postes de 1,50 m, regadera, mallas de colores (roja, verde, azul, negra) de 50 % de sombra, calibrador digital, luxómetro digital, cuaderno de campo, regla de 30 cm, esmalte transparente y bisturí.

3.2.2. Materiales de oficina.

Se utilizó una cámara fotográfica, portátil, proyector, impresora, hojas de papel bond.

3.2.3. Equipos y materiales de laboratorio.

Para el procesamiento de muestras se utilizó estufa, balanza analítica, refrigeradora, microscopio óptico con cámara incorporada, porta y cubre objetos, fundas de papel kraft, agua destilada, vasos desechables pequeños (220cc).

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar.

Modelo matemático

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

Donde:

Y_{ij} = es la j-ésima observación del i-ésimo tratamiento

μ = es la media general común en todos los tratamientos

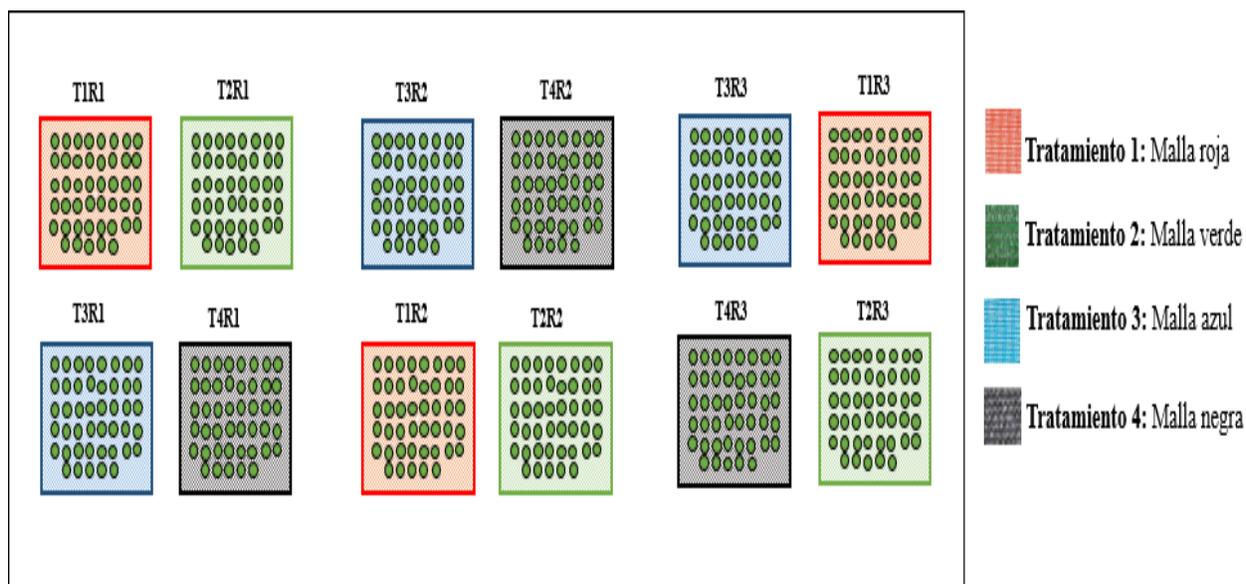
τ_i = es el fijo del tratamiento i

ϵ_{ij} = es una variable aleatoria normal (error)

i= 1,2,3,4 (Tratamiento)

j= 1,2,3,4 (Repetición)

3.3.1. Esquema del diseño experimental



Área del terreno: 160 m²

Área de tratamiento: 1 m²

Plantas por tratamiento: 45 plantas

Número de tratamientos: 4

Número de repeticiones: 3

3.4. METODOLOGÍA

3.4.1. Prueba de germinación

Se realizó en el Laboratorio de Fisiología Vegetal, para lo cual se tomó una muestra de 50 semillas de café de la var. Castillo, se las dejó reposar en agua destilada por 72 horas para posteriormente ser retirado el embrión, el cual fue teñido con tetrazolio. Para la solución de tetrazolio se tomó 1 gramo de sal de tetrazolio por cada 100 ml de neutralizador con lo que se obtuvo una solución al 1 %, luego se preparó dos soluciones: en la solución 1 se disolvió 0,9078 gr de KH_2PO_4 en 100 ml de agua destilada; y en la solución 2 se disolvió 0,9472gr de Na_2HPO_4 en 100 ml de agua destilada; se mezcló dos partes de la solución 1 (40ml) con tres partes de la solución 2 (60ml) a un pH entre 6,5 a 7,5. A la solución se dejó por 3 horas a 47°C (ISTA,2007),

como resultado se obtuvo 34 embriones teñidos de la solución de los 50 dando un total del 66% de germinación.

3.4.2. Instalación y preparación del semillero

Para el establecimiento del semillero se consideró que el terreno sea plano, que cuente con agua para el riego diario y además que sea de fácil acceso. El lecho del semillero contó con bordes protegidos con tablas de madera, con las siguientes dimensiones: 1,0 m de ancho x 2,0 de longitud y 30 cm de alto.

Se utilizó arena de río para el semillero, se preparó el tratamiento con agua hirviendo y se tapó con plástico negro durante 3 días, para eliminar todos los agentes potenciales de posibles daños.

3.4.3. Selección y siembra de las semillas

La variedad que se utilizó fue Castillo, a la cual se le retiró el pergamino y se procedió a seleccionar aquellas que no sean deformes, podridas y vanas y se dejó en agua durante 1 día antes de la siembra, para acelerar el proceso de germinación.

Para la siembra se hizo surcos con una distancia de 10 cm entre cada uno y se colocó la semilla en posición “ventral”, evitando que queden sobrepuestas y se cubrió con una capa de paja de 5cm. Durante la germinación se presentó la enfermedad denominada fusarium el cual fue controlado con Goldazim (**Ingrediente Activo:** Carbendazim) 6 ml del producto en 1,5 litros de agua.

3.4.4. Preparación del sustrato y trasplante de chapolas a las fundas

Para la preparación del sustrato se utilizó: una parte de tierra y una de humus, se desinfectó con ceniza (1.81 kg), para ser colocado en las fundas.

Se seleccionó las chapolas que tengan buen vigor, no presenten enfermedades y tengan una raíz recta, antes del trasplante a las fundas se remojó el sustrato y se procedió a sembrar.

3.4.5. Colocación de mallas y plantones

Luego de seleccionar el área y trazar las medidas, se colocó los postes y las mallas de colores: roja, verde, azul y negra, en cada tratamiento. Cada tratamiento cubrió un área de 1m² (1x1), limitado por postes de 1 metro. La malla fue cortada de 1x2 m, para proceder a cubrir la unidad experimental, dejando 0.5 m de malla en la dirección este y oeste, esto con la finalidad de evitar la acción directa de los rayos solares. Posterior a esto se colocaron 45 plantones en cada tratamiento, con un total de 540 plantones en todo el ensayo.

Se realizó la Fertilización foliar con Profesional Inicio (15-30-15 +MgO+1S+ME), a los 16 DDT (días después del trasplante) 45 gramos del producto en 1,5 litros de agua. Para el control de insectos: diabrótica (*Diabrotica undecimpunctata*) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se presentó esta plaga debido a un cultivo de maíz cercano, se aplicó Ciperfos (**Ingrediente Activo:** Chlorpyrifos + Cypermethrin) 0,6 ml en 1 litro de agua.

3.4.6. Metodología para el primer objetivo

“Conocer la respuesta fisiológica de plantones de cafeto a la calidad de luz”.

Para dar cumplimiento a este objetivo se realizó lo siguiente:

3.4.6.1. Contenido Hídrico Relativo

Este indicador se determinó a través del contenido hídrico relativo de las hojas (15 hojas/tratamiento) desde la parte axial las cuales se las pesó determinando el Peso Fresco (Pf), se las colocó en un vaso de 220cc con agua por 48 horas a temperatura de 5 a 8 °C, al finalizar el tiempo se procedió a pesar las hojas a plena turgencia obteniendo así el Peso Turgente (Pt), y se colocaron las hojas a estufa a 105 °C por 24 horas obteniendo así el Peso Seco (Ps) (De la Rosa *et al.* 2011).

Con estos tres valores de peso se calculó el Contenido Hídrico Relativo (CHR).

$$\text{CHR (\%)} = \frac{\text{pf} - \text{ps}}{\text{pt} - \text{ps}} \times 100$$

Dónde:**pf:** peso fresco**ps:** peso seco**pt:** peso turgente**3.4.6.2. Densidad, índice estomático, largo y ancho de estomas**

Para esta determinación se tomó la muestra mediante la metodología de Caldwell y Stone (1932) la cual consistió en la aplicación de una capa de esmalte para uñas incoloro, diluido en acetona en proporción 1:1 en el envés de las hojas (5 hojas /tratamiento). De cada aplicación se obtuvo una lámina grabada en la cual se realizaron las observaciones con microscopio Olympus BX41 con un aumento de 10X y se capturaron las imágenes con el programa Anfinity Analyze Release, se midieron y contaron los estomas considerando una estoma cuando las dos células oclusivas estuvieron presentes. Para la densidad e índice estomático se procedió a marcar cuadrantes de 100 mm², expresando así el número de estomas por mm². De igual manera se procedió a realizar el índice estomático aplicando la ecuación (Reyes *et al.*, 2015):

$$\text{Índice estomático} = \frac{\text{número de estomas}}{\text{número de células epidérmicas} + \text{número de estomas}} \times 100$$

Para el largo y ancho de los estomas se midió en milímetros cuadrados (mm²) mediante el uso del mismo programa.

3.4.7. Metodología para el segundo objetivo

“Evaluar el efecto de la calidad de luz en el crecimiento de plántones de café”.

Se realizó mediciones en 5 plantas de cada tratamiento por repetición, se evaluaron cada 15 días las variables como: porcentaje de emisión del primer par de hojas, altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas y tamaño de las hojas. Asimismo, se midieron directamente indicadores de crecimiento como superficie foliar y masa seca.

3.4.7.1. Porcentaje de emisión del primer par de hojas

Se contabilizó en todos plantones el primer par de hojas y se hizo la relación en porcentaje.

3.4.7.2. Altura de plantas

Se midió con una regla desde el cuello hasta el ápice de los plantones en cm.

3.4.7.3. Diámetro de tallo

Se midió tomando en cuenta la parte media del tallo, para ello se procedió a medir con un calibrador en mm.

3.4.7.4. Número de hojas verdaderas

Se contabilizó de acuerdo al desarrollo vegetativo de la planta hasta la producción del plantón.

3.4.7.5. Superficie foliar

Se determinó la superficie foliar a partir de las medidas lineales del largo y el ancho de las hojas, con la aplicación de la siguiente ecuación (Soto 1980):

$$AF = \{[0.64 \times (L \times A)] + 0.49\}$$

3.4.7.6. Masa seca

Al final se realizó el procedimiento para obtener masa seca de los plantones de café, que consistió en tomar 5 plantas de cada tratamiento, en las cuales se separó la parte aérea y la parte radical, se colocaron en fundas de papel y se secaron hasta peso constante en estufa a una temperatura de 75 °C. Una vez alcanzado el peso constante se procedió a realizar el porcentaje de masa seca radical y aérea y así mismo la masa seca total.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados para el primer objetivo

4.1.1 Contenido Hídrico Relativo

No se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 1; Anexo1: Tabla 2), los valores estuvieron entre 54,09 y 68,23 %, siendo mayor el porcentaje del tratamiento de malla negra. Los valores mayores indican que la malla negra brindó mejores condiciones para la retención de agua en los plántones, lo cual es importante dado que se corre menor riesgo de que los plántones puedan llegar a sufrir estrés hídrico

Tabla 1. Contenido hídrico relativo (%) en hojas de plántones de café a los 93 DDT.

Color de malla	Media (%)	Significancia
T1	68,9	a
T2	58,5	a
T3	54,1	a
T4	54,09	a
Error estándar	5,8	

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,005$)

4.1.1. Índice estomático

En lo que respecta al índice estomático, los diferentes tratamientos al igual que el parámetro anterior no presentaron diferencias (Tabla 2; Anexo 1: Tabla 4), lo cual significa que el color de malla no incidió en la respuesta de las hojas respecto a la relación entre el número de estomas y el número de células epidérmicas. Algunos autores han señalado que éste puede variar de acuerdo con las condiciones ambientales; en este caso se puede corroborar que la calidad de la luz no afecta a este indicador fisiológico.

Tabla 2. Índice estomático (%) en hojas de plántones de café a los 93 DDT.

Color de malla	Media (%)	Significancia
T1	21,87	a
T2	20,95	a
T3	21,33	a
T4	20,12	a
Error estándar	0,59	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,005$)

4.1.2. Densidad estomática

En este indicador fisiológico tampoco se presentaron diferencias significativas entre los diferentes colores de malla (Tabla 3; Anexo 1: Tabla 6), los valores estuvieron entre 601,34 y 670,32 estomas por mm^2 de superficie foliar.

Tabla 3. Densidad estomática (mm^2) en hojas de plántones de café a los 93 DDT.

Color de malla	Media (mm^2)	Significancia
T1	601,34	a
T2	621,86	a
T3	646,16	a
T4	670,33	a
Error estándar	0,29	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,005$)

4.1.3. Largo y ancho de los estomas

Los valores que se presentaron tanto en el largo y ancho de los estomas a los 93 DDT no presentaron diferencias significativas (Tabla 4; Anexo 1: Tabla 9).

Tabla 4. Largo y ancho de los estomas (mm²) en hojas de plántones de café, a los 93 DDT.

Color de malla	Largo de los estomas		Ancho de los estomas	
	Media (mm ²)	Significancia	Media (mm ²)	Significancia
T1	0,05	a	0,03	a
T2	0,03	a	0,03	a
T3	0,03	a	0,03	a
T4	0,03	a	0,03	a
Error estándar	0,01			

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,005$)

4.2. Resultado para el segundo objetivo

4.2.1. Porcentaje de emisión del primer par de hojas

Respecto al porcentaje de emisión del primer par de hojas evaluados a los 19 DDT (Figura 2), se observó que T1 (malla roja) presentó el valor mayor (79 %), mientras que el menor fue de 73 % en T3 (malla azul); lo cual significa que no existió uniformidad en el momento de la emisión del primer par de hojas entre los tratamientos

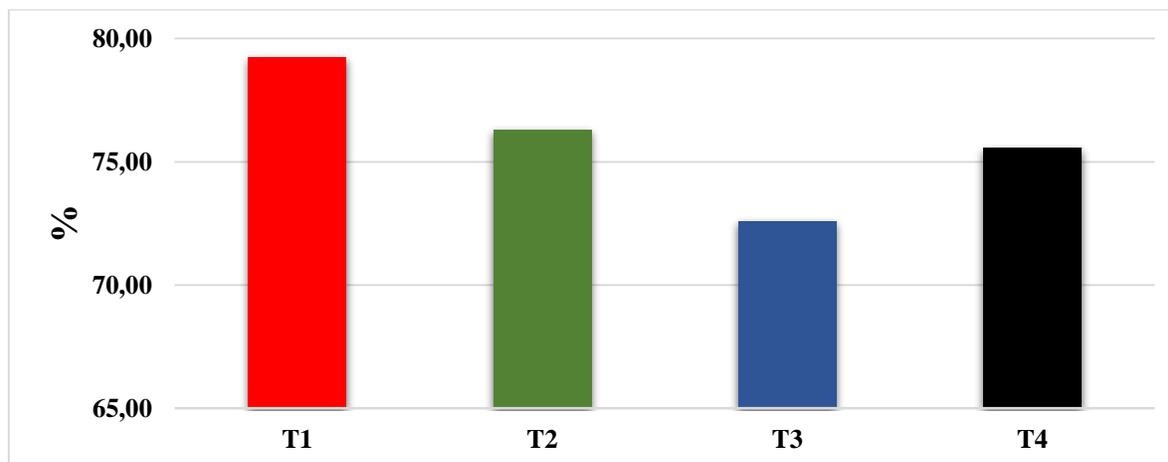


Figura 2. Porcentaje de emisión del primer par de hojas de plántones de café a los 19 DDT.

4.2.2. Altura de la planta

En la Figura 3 se muestra la dinámica de crecimiento de plántones de café a partir de los 27 DDT, en la que se observa un crecimiento lineal en esta etapa; existe una tendencia similar, sin embargo, el T2 (malla verde) se mantuvo por arriba de los demás, pero sin diferencias estadísticas con respecto a los demás tratamientos, al final de la evaluación. En este sentido se puede deducir que el color de malla no influyó y que, por tanto, en los tratamientos presentaron iguales condiciones para su crecimiento.

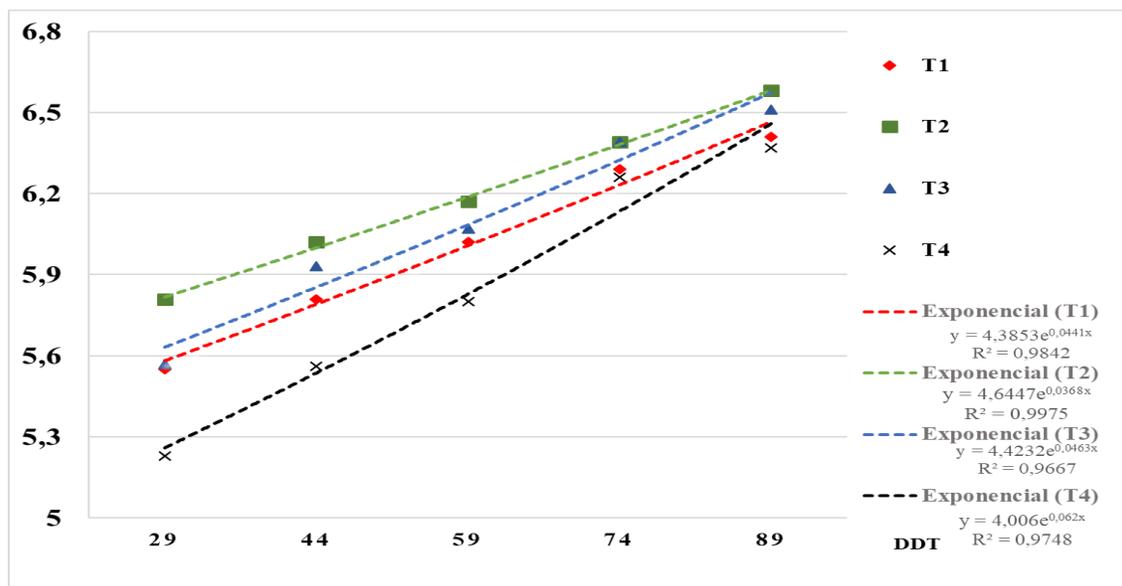


Figura 3. Dinámica de la altura (cm) de plántones de café.

4.2.3. Diámetro del tallo

En la dinámica de crecimiento para el diámetro del tallo se presentó que el T1 (malla roja) alcanzó los mayores valores frente a los demás tratamientos (Figura 4), las curvas muestran un crecimiento superior en este tratamiento, respecto a este indicador. Mientras que los demás tratamientos mantuvieron un crecimiento menos acelerado durante la evaluación.

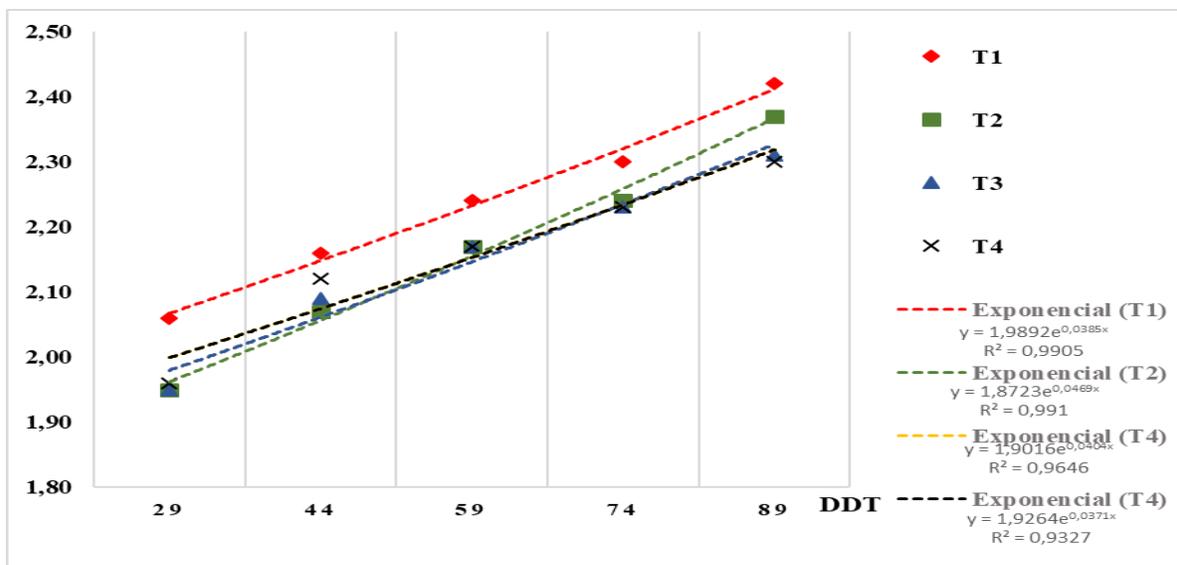


Figura 4. Dinámica del diámetro (cm) del tallo de plántulas de café.

4.2.4. Número de hojas verdaderas

Respecto al número de hojas verdaderas, no se presentaron diferencias significativas (Figura 5), dado que en la fecha 1, en todos los tratamientos se presentaron 2 hojas verdaderas hasta la fecha 5 llegó al número de 6 hojas verdaderas. En promedio la emisión de cada par de hojas se produjo cada 29 días.

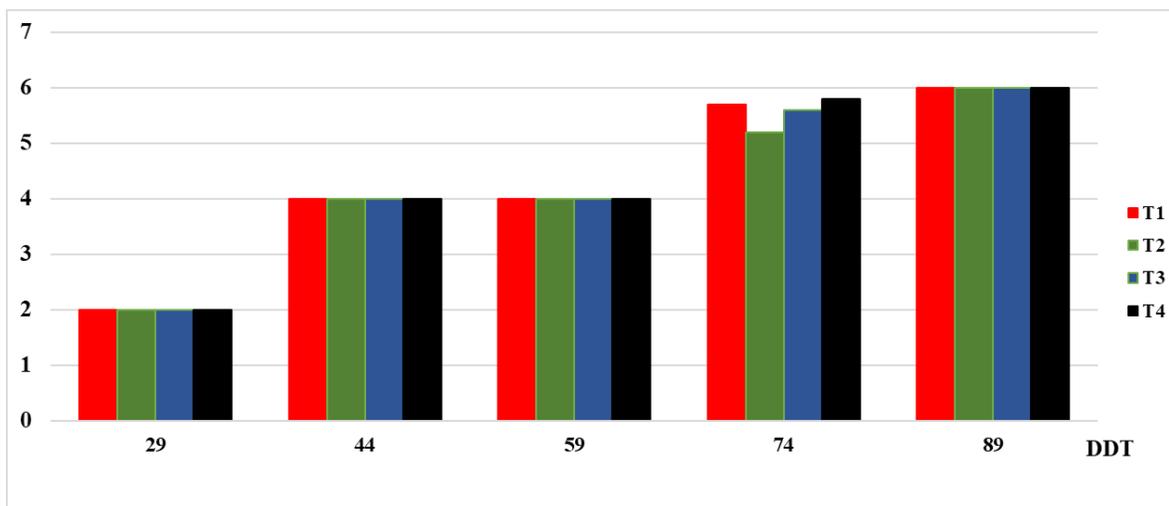


Figura 5. Número de hojas verdaderas de plántulas de café.

4.2.5. Superficie foliar

En la Figura 6 se observa que el tratamiento de malla neutra (negra) presentó los valores mayores, con diferencias con respecto a los demás, con un valor de 49,28 cm², lo que indicaría mejores condiciones para el crecimiento de las plantas en cuanto a la superficie captadora de luz, implicando mayor capacidad de interceptación de radiación solar y por ende una mayor transformación de energía.

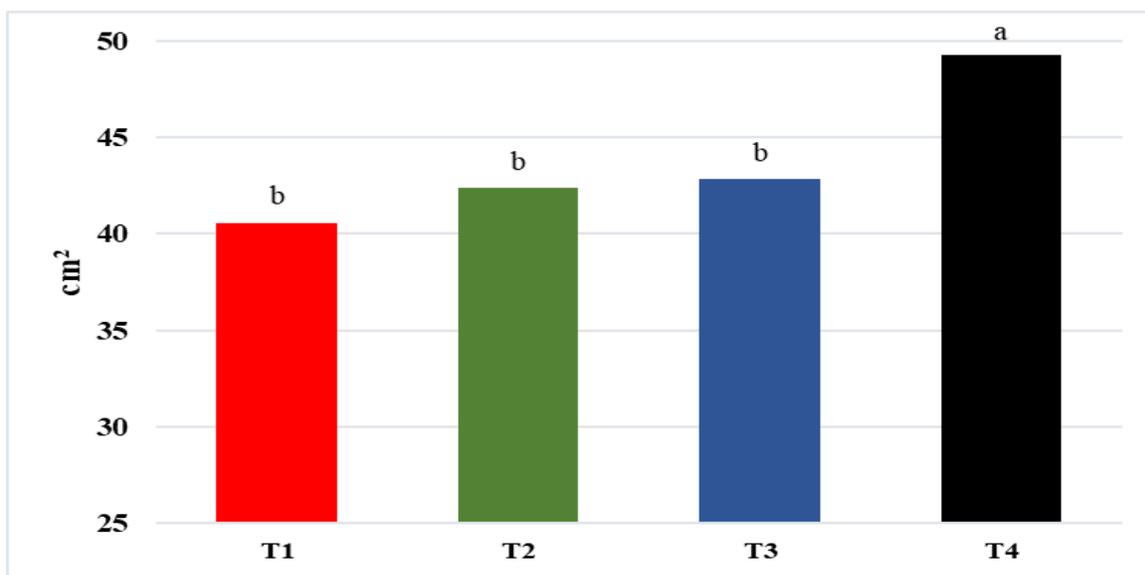


Figura 6. Superficie foliar (cm²) en hojas de plántones de café.

4.2.6. Masa seca total

En cuanto a este parámetro, los tratamientos T1 (malla roja) T3 (malla azul) y T4 (malla negra) presentaron los valores mayores, diferenciándose significativamente del tratamiento T2 (malla verde); este parámetro mide el rendimiento del cultivo durante la etapa evaluada. Lo que indica la influencia que tiene la calidad de la luz en la producción de biomasa a través de la fotosíntesis y la posterior translocación de los fotoasimilados demostrando una mayor eficiencia del follaje en la interceptación y utilización de la radiación solar durante el crecimiento.

Tabla 5. Masa seca total (gr) de plántones de café a los 93 DDT.

Color de malla	Media (gr)	Significancia
T1	0,93	a
T2	0,80	b
T3	0,92	a
T4	0,90	ab
Error estándar	0,04	

*Medias con una letra común son significativamente diferentes ($p > 0,005$)

4.2.7. Masa seca aérea

Descomponiendo la masa seca total, se encontró que, en la masa seca aérea a los 93 DDT, los tratamientos T1 (malla roja), T3 (malla azul) y T4 (malla negra) presentaron los valores mayores y se diferenciaron estadísticamente del T2 (malla verde); el valor medio mayor se observó en T3 (malla azul) con 0,63 g (Tabla 6; Anexo 1, Tabla 16). Lo que demuestra que estas mallas favorecen el crecimiento foliar y que éste se relaciona directamente con los procesos de fotosíntesis y acumulación de biomasa.

Tabla 6. Masa seca aérea (gr) de plántones de café, a los 93 DDT.

Color de malla	Media (gr)	Significancia
T1	0,66	ab
T2	0,59	b
T3	0,67	a
T4	0,64	ab
Error estándar	0,062	

*Medias con una letra común son significativamente diferentes ($p > 0,005$)

4.2.8. Masa seca radical

A los 93 DDT la masa seca radical presentó el mayor peso en T1 (malla roja), sin diferencia con T3 (malla azul) y T4 (malla negra); el valor más bajo en este indicador estuvo dado en T2 (malla verde); es decir, la malla de color verde fue la que en todos los indicadores

presentó las menores condiciones para el crecimiento, debido a que la luz verde es la que menos se absorbe por parte de los pigmentos clorofílicos.

Tabla 7. Masa seca radical (gr) de plántones de café, a los 93 DDT.

Color de malla	Media (gr)	Significancia
T1	0,28	a
T2	0,21	b
T3	0,25	ab
T4	0,26	ab
Error estándar	0,02	

* Medias con una letra común son significativamente diferentes ($p > 0,005$)

5. DISCUSIÓN

Los indicadores relacionados con las respuestas fisiológicas tales como Contenido Hídrico, densidad e índice estomático y, largo y ancho de los estomas, no presentaron diferencias significativas, aunque se esperaba respuestas diferenciadas. Esta falta de diferenciación pudo estar dada por el poco desarrollo de los plantones (tres pares de hojas) hasta la última evaluación.

En cuanto al contenido hídrico, solamente se pudo observar diferencias en los valores, los cuales se mantuvieron dentro de lo normal, sin presentar estrés hídrico, lo cual pudo darse debido a que todas las mallas fueron de 50 % de sombra y como lo señala Tounekti *et al.* (2018) con este nivel de sombra se disminuye la aparición del estrés hídrico mediante el control de la transpiración. Sin embargo, se debe reconocer que las plantas crecidas cubiertas con malla roja presentaron menor pérdida de agua y por tanto mayor capacidad hídrica que los demás tratamientos y por consiguiente resistiría mejor los cambios ambientales.

En lo relacionado con la no diferenciación en todos los parámetros de estomas, lo cual indica que este indicador no está condicionado por la calidad de la luz; algunos autores han encontrado este resultado en estudios del crecimiento del cafeto y la luz; esta falta de diferenciación se sustenta en el hecho que manifiesta Rodríguez (2002), quien señala que generalmente el número de estomas no cambia con los tratamientos ya que viene dado por la codificación genética de la especie. Cabe anotar que el número de estomas estuvo entre 601,34 y 670,32 estomas por mm^2 de superficie foliar, lo cual según Silva *et al.* (1998) está dentro de lo normal. Benetti *et al.* (1992) en un estudio sobre la influencia de la luz encontraron en cultivares de cafeto que las dimensiones de los estomas (largo y ancho) no fueron significativamente alterados.

No se presentaron diferencias significativas en cuanto a la emisión del primer par de hojas entre los tratamientos, lo cual coincide con Encalada (2017) quien encontró que en una misma localidad las posturas sometidas a diferentes tratamientos de luz, aunque presentaron leves diferencias en los valores, no fueron diferentes estadísticamente.

En la variable altura de planta los plántones de cafeto, presentaron un desarrollo vegetativo similar entre los tratamientos. Al respecto, en un estudio realizado por Ayala *et al.* (2015) en pimiento morrón, las mallas verde y roja propiciaron los mayores incrementos en la altura, lo cual también fue corroborado por Barcello *et al.* (2003). En este sentido es importante destacar la importancia de la luz en el desarrollo de la planta, debido a que las mallas de sombra tienen un rol importante en el paso de luz y su fluctuación (Gobierno del Estado de Veracruz, 2010).

En cuanto al diámetro del tallo estadísticamente se presentó diferencia entre los tratamientos por lo que se encontró los valores mayores en el tratamiento con malla roja, lo cual coincide con lo dicho por Bote *et al.* (2018) y Schnabel *et al.* (2017) quienes señalan que la alta radiación estimula el incremento en el diámetro del tallo. La respuesta ante la malla roja ha sido favorable en todos los indicadores de crecimiento; al respecto Oren-Shamir *et al.* (2001) señala que este color de malla transmite luz del espectro de ondas rojo y rojo lejano por sobre 590 nm comparada con malla negra del mismo porcentaje de sombra, difunde más luz (Shahak *et al.*, 2004) y protege 20% más contra radiación UV, evitando la fotodegradación de los cloroplastos (Leite, 2005).

La malla de color negro (neutra) dio lugar a una mayor superficie foliar. Prieto (2012), asevera que la cantidad y calidad de la luz que llega a los cultivos, son factores sumamente importantes para el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos. El área foliar indica que, a mayor superficie de los cotiledones, mayor será el crecimiento y la capacidad para captar la luz. Morais *et al.* (2004) manifiestan que en las plántulas de cafeto que se cultivan a pleno sol sus hojas disminuyen su crecimiento en un 27 % en comparación con aquellas que se cultivan al 50 % de exposición solar, esto se da por la razón que las auxinas son responsables de la distensión celular y que son capaces de migrar a los sitios menos iluminados de ambas caras de la lámina foliar, al concentrarse en estos sitios provocan mayor crecimiento celular (Larramendi *et al.*, 2016); Ricci *et al.* (2006) de igual forma manifiestan que la sombra en general cuando es neutra proporciona mayor área foliar.

En lo que corresponde a la masa seca total, las mallas roja y azul presentaron los mayores valores, lo cual parece lógico, debido a que son los colores que más absorben las hojas. En un estudio realizado por Reyes-Landa *et al.* (2018) a los 6 meses, de acuerdo con el tipo de

mallas, los resultados mostraron que hay una diferencia estadística altamente significativa y de acuerdo a la prueba de comparación de medias por el método de Tukey las mallas de color roja y perla sobresalieron con respecto a los otros cuatro colores, con valores de 3,3 y 3,2 g, respectivamente.

Lo observado implica que los plantones tuvieron una mejor adaptación a las condiciones de calidad de luz proporcionada por la luz azul y roja, por lo que lograron producir una mayor cantidad de fotoasimilados que los tratamientos de mayor iluminación, lo cual también fue encontrado por Pereira *et al.* (2012).

En este mismo parámetro, la masa seca aérea fue mayor para malla roja, azul y neutra; esto es importante dado que es a partir de la parte aérea y particularmente de las hojas se produce una preparación de los plantones para lograr mayor eficiencia en el futuro en los que corresponde a mayor fotosíntesis y crecimiento.

6. CONCLUSIONES

- Los colores de las mallas no provocaron respuestas fisiológicas diferentes estadísticamente; aunque si en valores reales, en las variables evaluadas: contenido hídrico relativo, índice estomático, densidad estomática, largo y ancho de estomas.
- Las mallas de color rojo, azul y negro permitieron una mayor acumulación de masa seca total, la cual estuvo relacionada con la masa seca de la parte aérea, ya que la masa seca de la parte radical no presentó diferencias entre los tratamientos, lo que significa que estos colores, se absorbió y convirtió una mayor cantidad de energía.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar las evaluaciones hasta llegar a un estado de los plántones de seis y ocho pares de hojas que son las características recomendadas para llevar a condiciones de campo.
- Evaluar la variable Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) bajo cada tratamiento para lograr mayor profundidad en el estudio en lo que respecta el cambio en la calidad de luz y compararlo con un testigo (campo abierto).

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alegria, M. W. (2016).” Texto Básico para Profesional en Ingeniería. En el área de Fisiología Vegetal. Iquitos-Perú: FCF-UNAP.
- Arcila P., J.; Buhr, L.; Bleiholder, H.; Hack, H.; Wicke, H. Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café *Coffea sp.* Boletín Técnico Cenicafé No. 23:1-31. 2001.
- Arcila P., J.; Buhr, L.; Bleiholder, H.; Hack, H.; Wicke, H. Application of the “extended BBCH-scale” for the description of the growth stages of coffee *Coffea sp.* Annals of Applied Biology (Inglaterra) 141:19-27.2002.
- Ashrae, 1989. Ashrae Handbook: fundamentals. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc. 792 p.
- Ayala, T. F.; Sánchez, M. R.; Partida, R. L.; Yáñez, J. M. G.; Ruíz, E. F. H.; Velázquez, A. T.; Valenzuela, L. M.; Parra, D. M. 2015. Producción de Pimiento Morrón con Mallas Sombra de Colores. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 38 (1). 93-99 p.
- Barcelo, W. 2008.- Producción de plantas en Vivero. Instituto agrotecnico “Margarita O’farrell de Maguire”, Santa Lucia, Buenos Aires, Argentina.
- Barrientos Priego, A., Borys, M., Trejo, C., & López, L. (2003). Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. Revista Fitotecnia Mexicana, 26 (4), 291-299.
- Barquero M., Chavez, V., Echeverría, F., Beirute, Rojas, M. y Fernández, A. 2011. Guía Técnica para el Cultivo del Café. Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE). Costa Rica.
- Benetti, Q., Fahl, J. y Carvalho, C. 1992. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. Revista Brasileira da Fisiologia Vegetal, vol. 4, no. 2, pp. 99-105, ISSN: 0103-3131.

- Bickford, E.D.; Dunn, S. 1972. Lighting for plant growth. Kent, OH: Kent State University Press. 221 p.
- Bote, A., Ayalew, B., Ocho, F., Anten, N., y Vos, J. (2018). Analysis of coffee (*Coffea arabica* L.) performance in relation to radiation levels and rates of nitrogen supply I. Vegetative growth, production and distribution of biomass and radiation use efficiency. *European Journal of Agronomy*, Vol, 92. no. 1, pp. 115-122, ISSN 11610301.
- Bleiholder, H., Boom, T.; Van den Lángeluddecke, P.; Stauss, R. Codificación uniforme para los estadios fenológicos de las plantas cultivadas y de las malas hierbas. *Phytoma* 28:1-4. 1991.
- Caldari, p. 2007.- Manejo de la luz en Invernaderos. Los beneficios de Luz de Calidad en el cultivo de Hortalizas. Ciba Especialidades Químicas Ltda. Brasil.
- Caldwel, R. y Stone M. (1932). Apressorium formation and penetration by leaf rust of Wheat *Puccinia triticina* in relation to stomatal aperture. *Phytopathology*, vol. 22, no. 1, pp. 39-51, ISSN: 0031-949X.
- Camargo, M. A. B. y Marengo, R. A. "Density, size and distribution of stomata in 35 rainforest tree species in Central Amazonia". *Acta Amazonica*, vol. 41, no. 2, 2011, pp. 205-212, ISSN 0044-5967, DOI 10.1590/ S0044-59672011000200004.
- Carter, G. A. and B. A. Spiering. 2002. Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. *J. Environ. Qual.* 31: 1424-1432.
- Carrasco-Ríos, Libertad. (2009). Efecto de la Radiación Ultravioleta-B en Plantas. *Idesia (Arica)*, 27(3), 59-76.
- Casierra-Posada, F., Peña-Olmos, J.E., Ulrichs, C. (2011a). Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en plantas de fresa (*Fragaria sp.*) afectadas por la calidad de la luz: implicaciones agronómicas. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 14 (2): 43-53.

- Casierra-Posada, F. & Pinto-Correa, J.R. (2011). Crecimiento de plantas de remolacha (*Beta vulgaris* L. var. Crosby Egipcia) bajo coberturas de color. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 64 (2): 6081-6091.
- Centro de Investigaciones en Café CICAPE. (2011). *Guía Técnica para el Cultivo del Café*. Barva-Heredia. Primera edición. 72 p. ISBN 978-9977-55-041-4.
- Consejo Cafetalero Nacional COFENAC. (2013). División técnica, Informe técnico 2010. Portoviejo, Ecuador. 89 p
- Dandengo, M. C. J. D.; de Sousa, E. F.; dos Reis, E. F. y Gravina, G. de A. “Crescimento e qualidade de mudas de café conilon produzidas em diferentes recipientes e níveis de sombreamento”. *Coffee Science*, vol. 8, no. 4, 2013, pp. 500-509, ISSN 1984-3909.
- DECOTEAU, D. 1996. Percepción de luz y color por las plantas desde el punto de vista fisiológico. Departamento de Horticultura de la Universidad de Clemson. Clemson. USA.
- De la Rosa, R., Acuña, R., Acurio, K., Castillo, A., Cepeda, C., Chavarry, C., Correa, M., De la Cruz, L., García, M., Huamaní, M., Jáuregui, J. & Luyo, L. (2011). Respuestas fisiológicas de *Hibiscus rosa-sinensis*L. (Malvaceae) en el Cerro “El Agustino”, Lima, Perú. *The Biologist*, 9(1), 1-8
- Dietzel, L., Gläßer, C., Liebers, M., Hiekel, S., Courtois, F., Czarnecki, O., Schlicke, H., Zubo, Y., Börner, T., Mayer, K., Grimm, B., & Pfannschmidt, T. (2015). Identification of early nuclear target genes of plastidial redox signals that trigger the long-term response of *Arabidopsis* to light quality shifts. *Molecular Plant*. 8 (8):1237-1252.
- Dong. C., Fu, Y., Liu, G., Liu, H. (2014). Growth, photosynthetic characteristics, antioxidant capacity and biomass yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) exposed to LED light sources with different spectra combinations. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 200 (3): 219–230.

- Duicela, L. y Corral, R. 2009. Café y ambiente, reflexiones sobre la contribución de la caficultura en la conservación de los recursos naturales. COFENAC-GTZ. 110 p.
- Encalada et al., (2016); Influencia de la intensidad de luz en la producción de posturas de cafeto (*Coffea arabica* L.) en vivero. CEDAMAZ. ISSN: 1390-5880.
- Encalada (2017). Efecto de la luz solar y tres fechas de siembra en el desarrollo de posturas de cafeto (*Coffea arabica* L. cv. Caturra) en la Zona Sur de Ecuador. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Ministerio de Educación Superior de Cuba, Universidad Agraria de la Habana, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba. 127 p.
- Eskins, K. (1992). Light quality effects on Arabidopsis development. Red, blue and far-red regulation of flowering and morphology. *Physiologia Plantarum*. 86: 439-444.
- Figuerola, R., 1996. Cartilla para el caficultor. Boletín informativo. Lima, Perú.
- Fischersworing, B. y Robkalmp, R., 2001. Guía para la caficultura ecológica. Ediciones Lima. Lima, Perú.
- Fonseca, C. I.; Rodriguez, L. L.; Medina, R. R.; Velasco, B. E.; Orosco, G. V. y Zamora, R. 2015. “Variación de algunas características anatómicas de las hojas de cafetos (*Coffea arabica* L.) bajo diferentes niveles de exposición solar”. *Centro Agrícola*, vol. 27, no. 3, 2000, pp. 26-29, ISSN 0253-5785.
- Fournier, L. 1978. Fundamentos ecológicos del cultivo de café. ICCAPROMECAFE. San José, Costa Rica.
- Fukuda, N. (2013). Advanced light control technologies in protected horticulture: A review of morphological and physiological responses in plants to light quality and its application. *Journal of Developments in Sustainable Agriculture*. 8: 32-40.
- Garcia, M. S. 2017 Saltillo. Efecto de las mallas sombra de diferentes colores y una cubierta plástica sobre el rendimiento y calidad del cultivo de tomate. centro de investigación en química aplicada. Coahuila.

Gobierno del Estado de Colima. s/f. Paquete Tecnológico del Cultivo del Café Orgánico, en el Estado de Colima. Disponible en: [http://www.campocolima.gob.mx/PaginaOEIDRUS/PaquetesTecnologicos/PAQUETECAF .pdf](http://www.campocolima.gob.mx/PaginaOEIDRUS/PaquetesTecnologicos/PAQUETECAF.pdf)

Gobierno del Estado de Veracruz. (2010). Monografía del tomate. Disponible en línea: [http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/page/covecainicio/imagenes/archivospdf/archivosdifusion/tab4003236/monografia %20tomate2010.pdf](http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/page/covecainicio/imagenes/archivospdf/archivosdifusion/tab4003236/monografia%20tomate2010.pdf). 21p. Consultado el 7 de octubre de 2009.

González, A. 2005. Control químico y fisiológico de estolones en *Fragaria chiloensis* L. Universidad de Talca. Chile.

Guo, B. A., Mu, Y.C., Wang, F., Dong, S. L. (2012). Effect of periodic light color change on the molting frequency and growth of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 362: 67-71.

Hernández-Gil R. (2013). Transpiración. Forest ULA. Recuperado de: <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/transpiracion/>.

Higuchi, Y., Sumitomo, K., Oda, A., Shimizu, H., & Hisamatsu, T. (2012). Day light quality affects the night-break response in the short-day plant chrysanthemum, suggesting differential phytochrome-mediated regulation of flowering. *Journal of Plant Physiology*. 169: 1789-1796.

Hultberg, M., Larsson, H., Bergstrand, K.J., Carlsson, A.S. (2014). Impact of light quality on biomass production and fatty acid content in the microalga *Chlorella vulgaris*. 159: 465-467.

ISTA. (2007). Internacional Rules for Seed Testing. Bassersdorf, Switzerland. P.O. Box 308. ISBN-10 3-906549-38-0.

Juárez, L. P.; Bugarín, M. R.; Castro, B. R.; Sánchez, M. A. L.; Cruz, C. E.; Juárez, R. C. R.; Alejo, S. G.; Balois, M. R. 2011. Estructuras Utilizadas en la Agricultura Protegida. *Revista Fuente*. No. 8. 21-27 p.

- Kramer, P.J. and T. Kozlowski. 1979. *Physiology of Woody Plants*. Academic Press. New York, U.S.A. 811 p.
- Lallana, V. H., & Lallana, M. D. C. (2004). Densidad estomática en hojas de *Eryngium horridum* Malme y su relación con el estado de desarrollo de las hojas. *Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias- UNR*.
- Lancashire, P. D.; Bleiholder, H.; Lángeluddecke, P.; Stauss, R.; Van den Boom, T.; Weber, E.; Witzemberger, A. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology* 119:561-601. 1991.
- Larramendi, L. A. R., Hernández, F. G., Castro, H. G., Flores, M. F., Castañeda, J. C. G., y Ruiz, R. P. 2016. Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agronómica*. Vol. 65, No. 3.
- Leite, C.A. 2005. Las mallas en el contexto del proyecto de un vivero. *Revista Horticultura Internacional* 1: 66-73.
- 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. *Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. Vol. 1 (2). 175-180 p.
- Momokawa, N., Kadono, Y., Kudoh, H. (2011). Effects of light quality on leaf morphogenesis of a heterophyllous amphibious plant, *Rotala hippuris*. *Annals of Botany*. 108: 1299-1306.
- Morais. H. Medri. M.E. Marur. C.J. Caramuri. P.H. Arruda. R.A.M. Gómez. J.C. 2004. Modifications on leaf anatomy of *Coffea Arabica* L, caused by shade of pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Braz arch biol technol*. Vol. 47, No. 6, pp. 863-871. doi :10.1590/S1516-89132004000600005.

- Morón, J. 2008.- Guía para la producción orgánica de café. Sociedad Guapomó. MINGA San Ignacio de Velasco. Santa Cruz, Bolivia.
- Naizaque, J.; García, G.; Fischer, G.; Melgarejo, L.M. 2014. Relación entre la densidad estomática, la transpiración y las condiciones ambientales en feijoa (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 17(1): 115-121
- Nobel, P. S. 1991. Physicochemical and environmental plant physiology. Academic Press, Inc. New York. 635 p.
- Nguy-Robertson, A., Suyker, A., Xiangming X. (2015). Modeling gross primary production of maize and soybean croplands using light quality, temperature, water stress, and phenology. Agricultural and Forest Meteorology. 213: 160-172.
- Nughes, L.; Colares, M.; Hernández, M. y Arambarri, A. “Morfo-anatomía de las hojas de *Celtis ehrenbergiana* (Celtidaceae) desarrolladas bajo condiciones naturales de sol y sombra”. Bonplandia, vol. 22, no. 2, 2013, pp. 159-170, ISSN 1853-8460.
- Oren-Shamir, M.; Gussakovsky, E.E.; Shpiegel, E.; Nissim-Levi, A.; Ratner, K.; Ovadia, R.; Giller, Y.E.; Shahak, Y. 2001. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 76(3): 353-361.
- Pereira, D., Cunha, R., Guimarães, R., Barbosa, J., Ávila, F. y Passos, A. (2012). Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 7, no. 1, pp. 37-43, ISSN: 1981-0997.
- Perés-Martínez, J., Arizaleta, M., Sanabria, M., & Brito, L. (2004). Características de los estomas, densidad e índice estomático y su variación en función a la injestación en *Annona muricata* L. y *A. montana* MADFAC. Bioagro, 16(3), 213-218.
- Prieto R., J. A.; G. Vera y E. Merlín. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto técnico núm.12. CIRNOC-INIFAP. México.

- Prieto, D. 2012.- Mallas Tecnológicas Anasac para una Agricultura Eficiente Mallas de sombreo coloreadas Polysack. Santiago, Chile.
- Rendón, A. Y.; Robledo, T. V.; Mendoza, V. R.; Ramírez G. F.; Vázquez, B. M. E.; Ibarra, J. L. 2015. Estudio del Pepino (*Cucumis sativus* L.) en Tres Medios de Cultivo y Macrotúneles con Mallas de Colores. XX Congreso Internacional de Plásticos en la Agricultura y XV Congreso Iberoamericano para el Desarrollo y Aplicación de los Plásticos en la Agricultura. Coahuila, México. 7 p.
- Restrepo, D. H.; Melgar, J. C. y Lombardini, L. “Ecophysiology of horticultural crops: an overview”. Agronomía Colombiana, vol. 28, no. 1, enero de 2010, pp. 71-79, ISSN 0120-9965.
- Reyes, D., Quiroz, J., Kelso, H., Huerta, M., Avendaño, C. y Lobato, R. (2015). Caracterización Estomática de Cinco Especies del Género Vanilla. Agronomía Mesoamericana, Vol. 26, no. 2, pp. 237-246, ISSN: 1021-7444.
- Reyes-Landa, D.; Mercado-Mancera, G.; Escamilla-Prado, E.; Robledo-Martínez, J.D. (2018). Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 4, abril. 2018. pp: 74-79.
- Ricci, M. d. S. F., Costa, J. R., Pinto, A. N., y Santos, V. L. d. S. 2006. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. Vol. 41, No. 4, pp. 569-575.
- Righi, C., Pereira, A., Silveira, M., Rodrigues, C., Teramoto, E. y Favarin, J. (2008). Coffee water use in agroforestry system with rubber trees. Revista Árvore, Vol. 32, no. 5, pp. 781-792, ISSN 1806-9088.
- Rodríguez, L. 2002. Actividad in vivo de la enzima nitrato reductasa en hojas de cafetos bajo diferentes condiciones de luz y dos densidades de plantación
- Rodríguez, N. & Lazo, J.V. (2012). Efecto de la calidad de luz sobre el crecimiento del corocillo (*Cyperus rotundus* L.). Revista Científica UDO Agrícola. 12 (1): 74-82.
- Rodríguez, M. & Morales, D. (2015). Efecto de mallas sombreadoras sobre la producción y calidad de frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. Scientia

- Agropecuaria. Universidad Nacional de Trujillo Trujillo, Perú. vol. 6, núm. 1, 2015, pp. 41-50.
- Shahak Y, Gal E, Offir Y, Ben-Yakir D (2008) Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Hort.* 797: 75-80.
- Shahak, Y.; Gussakovsky, E.E.; Gal, E.; Ganelevin, R. 2004b. Color nets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Horticulturae* 659: 143-151.
- SCAN. 2012. Producción de Plantones de Café. Manejo y cuidado del Vivero.
- Schnabel, F., Virginio, E., Xu, S., Fisk, I., Roupsard, O. y Haggard, J. (2017). Shade trees: a determinant to the relative success of organic versus conventional coffee production. *Agroforestry Systems*, Vol. 1, no. 1, pp. 1-15, ISSN:1572-9680.
- SIERRA, H., 2001. Vivero, manejo y uso de la pulpa de café. Proyecto Regional Sur Café. San Juan de Oro, Sandia. Puno, Perú.
- Silva., J. 2015. “Efecto de longitud de onda en la producción de dos variedades de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) en diferentes sustratos – Alto Tambopata”. Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. Puno –Perú.
- Silva, R., Silva, A. y Sambolim, L. 1998. Índice estomático en materiales genéticos de café, resistentes o susceptibles a la roya. *Bioagro* vol. 10, no 2, pp. 57-61, ISSN: 1316-3361.
- Soto, F. (1980). Estimación del área foliar en *C. arabica* L. a partir de las medidas lineales de las hojas. *Cultivos tropicales*, Vol. 2, no. 3, pp. 115-128, ISSN: 0258-5936.
- Toral, M., & Manríquez, A., & Navarro-Cerrillo, R., Terssi, D., & Naulin, P. (2010). Características de los estomas, densidad e índice estomático en secuoya (*Sequoia sempervirens*) y su variación en diferentes plantaciones de Chile. *Bosque*, 31 (2), 157-164.

- Tounekti, T., Mahdhi, M., Al-Turki, T. y Khemira, H. (2018). Water relations and photoprotection mechanisms during drought stress in four coffee (*Coffea arabica*) cultivars from southwestern Saudi Arabia. *South African Journal of Botany*, Vol. 117, no.1, pp. 17–25, ISSN: 0254-6299.
- Villamagua A., Valarezo., Tandazo C. y Ramón M. 2013. Efecto de granulometrías de biocarbón sobre las condiciones físicas del suelo y tensiones de humedad en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero. *Revista CEDAMAZ* (03). pp. 93 – 103.
- Vera C., J. A. G. 1986. Estudio de algunos factores que influyen en la producción de *Pinus montezumae* en vivero. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 141p.
- Wightman, K. 2000.- Practicas adecuadas para viveros forestales. Guía práctica para viveros comunitarios. Centro Internacional para Investigación en Agroforesteria. Naibori, Kenia. Disponible en: <http://www.cgiar.org/icrag> Consultado 12/12/2014 Hora 08:26.

9. ANEXOS

Anexo 1. Tablas de análisis de varianza y test de Tukey de los diferentes indicadores evaluados.

Tabla 1. Análisis de varianza del Contenido hídrico relativo de plantones de cafeto a los 93 DDT.

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,50	3	0,17	1,17	0,3790
Tratamiento	0,50	3	0,17	1,17	0,3790
Error	1,14	8	0,14		
Total	1,65	11			

Tabla 2. Test de Tukey del Contenido hídrico relativo de plantones de cafeto a los 93 DDT.

Color de malla	Media (%)	Significancia
T1	54,09	a
T2	56,79	a
T3	63,22	a
T4	68,23	a
Error estándar	4,93	
Coefficiente de varianza	8,29	

Tabla 3. Análisis de varianza del Índice estomático en hojas de plantones de cafeto a los 93 DDT.

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	4,87	3	1,62	1,54	0,2777
Tratamiento	4,87	3	1,62	1,54	0,2777
Error	8,44	8	1,06		
Total	13,32	11			

Tabla 4. Test de Tukey del Índice estomático en hojas de plantones de cafeto a los 93 DDT.

Color de malla	Media	Significancia
T1	21,87	a
T2	20,95	a
T3	21,33	a
T4	20,12	a
Error estándar	0,59	
Coefficiente de varianza	4,88	

Tabla 5. Análisis de varianza de la Densidad estomática en hojas de plantones de cafeto a los 93 DDT.

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	8034,00	3	2678,00	1,04	0,4262
Tratamiento	8034,00	3	2678,00	1,04	0,4262
Error	20626,32	8	2578,29		
Total	28660,32	11			

Tabla 6. Test de Tukey de la Densidad estomática en hojas de plantones de cafeto a los 93 DDT.

Color de malla	Media (mm²)	Significancia
T1	601,34	a
T2	621,86	a
T3	646,16	a
T4	670,33	a
Error estándar	29,32	
Coefficiente de varianza	8,00	

Tabla 7. Análisis de varianza de largo de los estomas en hojas de plantones de cafeto, a los 93 DDT.

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	5	1,4E-03	1,02	0,4157
Tratamiento	4,8E-03	3	1,6E-03	1,15	0,3376
Error	0,08	54	1,4E-03		
Total	0,08	59			

Tabla 8. Análisis de varianza del ancho de los estomas en hojas de plantones de cafeto, a los 93 DDT.

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	4,7E-06	5	9,5E-07	0,49	0,7816
Tratamiento	2,9E-06	3	9,5E-07	0,49	0,6901
Error	1,0E-04	54	1,9E-06		
Total	1,1E-04	59			

Tabla 9. Test de Tukey de Largo y ancho de los estomas en hojas de plantones de cafeto, a los 93 DDT.

Color de malla	Largo de los estomas		Ancho de los estomas	
	Media (mm²)	Significancia	Media (mm²)	Significancia
T1	0,05	a	0,03	a
T2	0,03	a	0,03	a
T3	0,03	a	0,03	a
T4	0,03	a	0,03	a
Error estándar	0,01			
Coefficiente de variación	102,95		4,76	

Tabla 10. Análisis de varianza de la Altura de plántones de café.

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,50	3	0,17	1,17	0,3790
Tratamiento	0,50	3	0,17	1,17	0,3790
Error	1,14	8	0,14		
Total	1,65	11			

Tabla 11. Análisis de varianza de la Superficie foliar en hojas de plántones de café.

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	135,30	5	27,06	0,66	0,6517
Tratamiento	62,95	3	20,98	0,52	0,6734
Error	2198,16	54	40,71		
Total	2333,46	59			

Tabla 12. Test de Tukey de la Superficie foliar en hojas de plántones de café.

Color de malla	Media (cm²)	Significancia
T1	40,57	b
T2	42,39	b
T3	42,82	b
T4	49,28	a
Error estándar	1,65	
Coefficiente de varianza	15,10	

Tabla 13. Análisis de varianza de la Masa seca total de plántones de café, a los 93 DDT.

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,26	5	0,05	2,53	0,0398
Tratamiento	0,02	3	0,01	0,40	0,7555
Error	1,10	54	0,02		
Total	1,36	59			

Tabla 14. Test de Tukey de la Masa seca total de plantones de cafeto, a los 93 DDT.

Color de malla	Media (gr)	Significancia
T1	0,93	a
T2	0,80	b
T3	0,92	a
T4	0,90	ab
Error estándar	0,04	
Coefficiente de varianza	16,70	

Tabla 15. Análisis de varianza de la Masa seca aérea de plantones de cafeto, a los 93 DDT.

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,15	5	0,03	3,65	0,0064
Tratamiento	0,01	3	4,0E-03	0,48	0,7001
Error	0,46	54	0,01		
Total	0,61	59			

Tabla 16. Test de Tukey de la Masa seca aérea de plantones de cafeto, a los 93 DDT.

Color de malla	Media (gr)	Significancia
T1	0,66	ab
T2	0,59	b
T3	0,67	a
T4	0,64	ab
Error estándar	0,062	

Tabla 17. Análisis de varianza de la Masa seca radical de plantones de cafeto, a los 93 DDT.

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	5	3,4e-03	0,68	0,6405
Tratamiento	3,6e-03	3	1,2e.03	0,24	0,8653
Error	0,27	54	5,0E-03		
Total	0,29	59			

Tabla 18. Test de Tukey de la Masa seca radical de plantones de cafeto, a los 93 DDT.

Color de malla	Media (gr)	Significancia
T1	0,28	a
T2	0,21	b
T3	0,25	ab
T4	0,26	ab
Error estándar	0,28	a
Coefficiente de varianza	28,65	

Anexo 2. Evidencias fotográficas

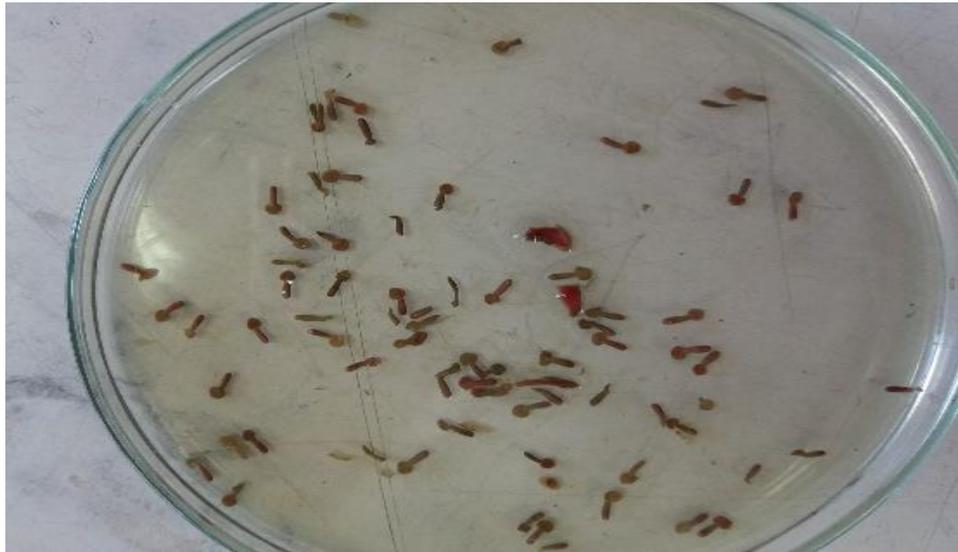


Figura 2. Tinción con tetrazolio de los embriones de semillas de cafeto. 20/11/2018.



Figura 3. Instalación del semillero y siembra de las semillas de cafeto var. Castillo.

29/11/2018.



Figura 4. Problemas fitosanitarios en campo. Plantones de café infectadas con Fusarium.
24/01/2019.



Figura 5. Plantones de cafeto en semillero es estado de chapola. 01/03/2019.



Figura 6. Enfundado y siembra de las chapolas. 09/03/2019.



Figura 7. Colocación de las mallas de colores y chapolas enfundadas. 13/03/2019.



Figura 8. Supervisión de los plantones de cafeto por parte del director de tesis. 18/04/2019.



Figura 9. Toma de datos de altura y diámetro del tallo de los plantones de café.

20/04/2019.

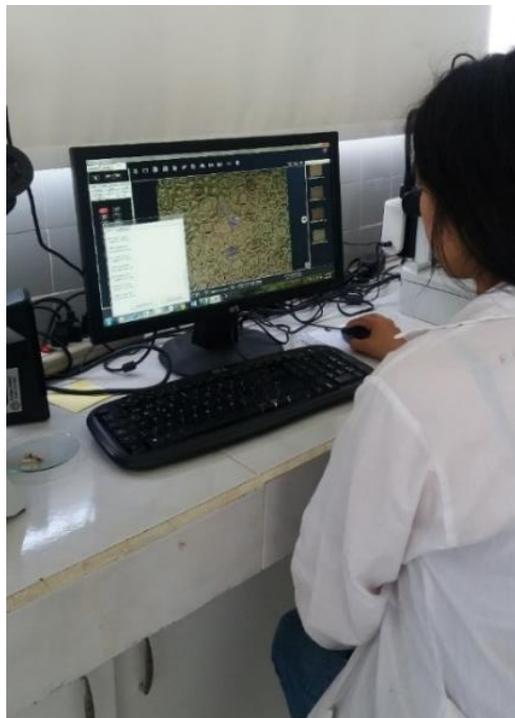


Figura 10. Medición del tamaño de estomas en el programa Anfinity Analyze Release.

06/062019.



Figura 11. Extracción de plantones y obtención de la lámina grabada para la observación
10/06/2019.



Figura 12. Pesaje de hoja para determinación del Contenido Hídrico Relativo. 12/06/2019.

Anexo 3. Tríptico para presentación de resultados a los estudiantes del IX ciclo de la carrera.



Figura 1. Porcentaje de emisión del primer par de hojas de plántones de café a los 19 DDT, bajo cuatro colores de malla en La Argelia del cantón Loja, 2019.

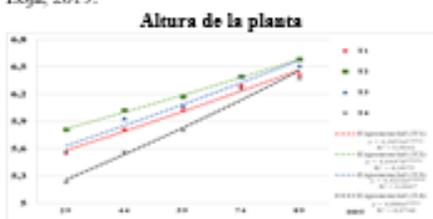


Figura 2. Dinámica de la altura de plántones de café, bajo cuatro colores de malla en La Argelia del cantón Loja, 2019.

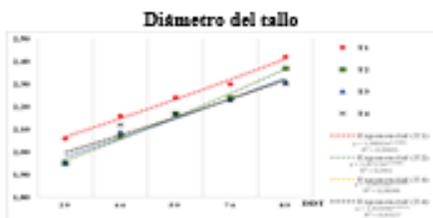


Figura 3. Dinámica del diámetro de tallo de plántones de café, bajo cuatro colores de malla en La Argelia del cantón Loja, 2019.

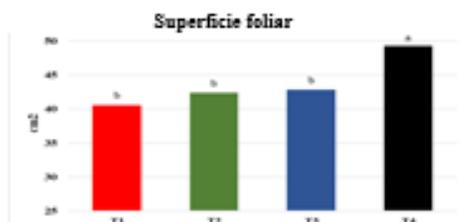


Figura 4. Superficie foliar en hojas de plántones de café, bajo cuatro colores de malla en La Argelia del cantón Loja, 2019.

Masa seca total

Tabla 4. Masa seca total de plántones de café, a los 93 DDT bajo cuatro colores de malla en La Argelia del cantón Loja, 2019.

Color de malla	Méda (gr)	Significancia
T1	0,05	a
T2	0,03	b
T3	0,02	a
T4	0,06	ab
Error estándar	0,04	

Masa seca aérea y radical

Tabla 5 y 6. Masa seca aérea y radical de plántones de café, a los 93 DDT, bajo cuatro colores de malla en La Argelia del cantón Loja, 2019.

Color de malla	Méda (gr)	Significancia
T1	0,28	a
T2	0,21	b
T3	0,25	ab
T4	0,26	ab
Error estándar	0,02	

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE LOJA



FACULTAD AGROPECUARIA Y DE
RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA

TÍTULO:
"Respuesta fisiológica y crecimiento
de plántones de café (*Coffea
arabica* L.) a diferente calidad de luz
en vivero"



Autora: Cristina Nathaly Espinoza
Martínez
2019

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el café se desarrolla en una franja altitudinal que va desde los 300 hasta los 1 800 m, ubicándose en el Litoral y en las estribaciones occidental y oriental de la Cordillera de los Andes (COFENAC, 2013). Para ello se ha implementado tecnologías agrarias que permiten manejar la longitud de onda del espectro solar, con el establecimiento de mallas de protección de color que regulan la energía de la luz transmitida y receptada por los órganos de la planta, haciendo que esta sea más eficiente en su desarrollo fenológico (Silva, 2015).

El género *Coffea* tiene gran influencia en la intensidad y calidad de la luz, cuyo efecto se manifiesta desde cambios en el crecimiento vegetativo, hasta diferencias marcadas en los rendimientos, en dependencia del nivel de exposición a la radiación solar (Fonseca, et al. 2015).

Objetivo General

Evaluar la respuesta fisiológica y de crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) a diferente calidad de luz.

Objetivos Específicos

- Conocer la respuesta fisiológica de plántulas de café a la calidad de luz.
- Evaluar el efecto de la calidad de luz en el crecimiento de plántulas de café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se lo realizó en la Quinta Experimental Docente La Argelia, a una altitud de 2135 ms.n.m y una temperatura media anual de 15.5 °C.

Metodología

Prueba de germinación: Prueba de tetrazolio a 50 semillas.

Instalación y preparación del semillero: 1,0 m de ancho x 2,0 de longitud y 30 cm de alto, se utilizó arena.

Selección y siembra de las semillas: Var. Castillo.

Preparación del sustrato y trasplante de chapolas a las fundas: una parte de tierra y una de humus desinfección con ceniza.

Colocación de mallas y plántulas: de 1x2 m, dejando de este a oeste 0,5m cubierto, 45 plántulas en cada tratamiento.

Diseño Experimental

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 4 tratamientos y 3 repeticiones.

TRATAMIENTOS

T1: Malla roja

T2: Malla verde

T3: Mallas azul

T4: Malla negra

RESULTADOS

Contenido Hídrico Relativo

Tabla 1. Contenido hídrico relativo de plántulas de café a los 93 DDT, bajo cuatro colores de malla en La Argelia del cantón Loja, 2019.

Color de malla	Media (%)	Significancia
T1	54,09	a
T2	56,79	a
T3	63,22	a
T4	68,25	a
Error estándar	4,93	

Índice estomático

Tabla 2. Índice estomático en hojas de plántulas de café a los 93 DDT, bajo cuatro colores de malla en La Argelia del cantón Loja, 2019.

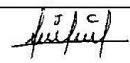
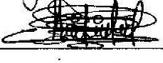
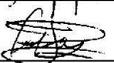
Color de malla	Media	Significancia
T1	23,87	a
T2	26,95	a
T3	21,33	a
T4	26,12	a
Error estándar	0,39	

Largo y ancho de los estomas

Tabla 3. Largo y ancho de los estomas en hojas de plántulas de café, a los 93 DDT, bajo cuatro colores de malla en La Argelia del cantón Loja, 2019.

Color de malla	Largo de los estomas		Ancho de los estomas	
	Media (mm ²)	Significancia	Media (mm ²)	Significancia
T1	0,05	a	0,03	a
T2	0,05	a	0,03	a
T3	0,05	a	0,03	a
T4	0,05	a	0,03	a
Error estándar	0,01			

Anexo 4. Registro de la asistencia de estudiantes del IX ciclo presentes en la socialización de resultados.

REGISTRO DE ASISTENCIA PARA LA SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS DE TESIS				
"Respuesta fisiológica y crecimiento de plantones de cafeto (<i>Coffea arabica</i> L.) a diferente calidad de luz en vivero"				
Nro	Fecha	Apellidos y Nombres	CI	Firma
1	23/07/2019	Córdova Zambiano Juliana L.	1150671608	
2	23/07/2019	Fernandez A. Teogo David L.	1105023327	
3	23/07/2019	Correa Campoverde Jhon A.	110577922	
4	23/07/2019	XIMENA MARIA JAEN RIZZO	1104452139	
5	23/07/2019	María José Romero Romero	1150208343	
6	23/07/2019	Silvia Patricia Armiño Chunchu	1106045014	
7	23/07/2019	Teresa Alexandra Jiménez	1900786847	
8	23/07/2019	Yessenia Amparo López Salas	1105320129	
9	23/07/2019	Estrella Lozano	1105881903	
10	23/07/2019	Eubriela Beatriz Svarango Pinta	1105048704	
11	23/07/2019	Silvana Elizabeth Pinto Pinto	1150143475	
12	23/07/2019	Jose Agustín Guachanama Sa	1105888836	
13	23/07/2019	Richard Fabricio Pena Gonzalez	1105926016	
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				