



unl

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TEMA

RESPUESTA FISIOLÓGICA Y CRECIMIENTO DEL CAFETO
(*Coffea arabica* L.) BAJO CUATRO CONDICIONES DE SOMBRA
EN LA HACIENDA CRISTAL EN EL CANTÓN LOJA

Tesis previa a la obtención
del título de Ingeniera
Agrónoma

AUTORA

Jhoanna Maribel Silva Suárez

DIRECTOR

Ing. 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 del cafeto (*Coffea arabica* L.) bajo cuatro condiciones de sombra en la Hacienda Cristal en el cantón Loja”**, de autoría de la señorita Jhoanna Maribel Silva Suárez, portadora de la cédula 1150222303, 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, 31 de Julio 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 del cafeto (*Coffea arabica* L.) bajo cuatro condiciones de sombra en la Hacienda Cristal en el cantón Loja”** de autoría de la señorita Jhoanna Maribel Silva Suárez, egresada de la carrera de Ingeniería Agronómica, se le propuso realizar algunas correcciones, mismas que ya 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, 27 de agosto del 2019.

.....
Ing. Simón Bolívar Peña Merino *Mg. Sc.*
PRESIDENTE

.....
Ing. Klever Chamba Caillagua
VOCAL

.....
Ing. Marlene Molina Müller *PhD*
VOCAL

AUTORÍA

Yo, Jhoanna Maribel Silva Suárez, declaro ser autora del presente trabajo de investigación 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.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio institucional – Biblioteca Virtual.

Autora: Jhoanna Maribel Silva Suárez

Firma:


Cedula: 1150222303

Fecha: 29 de agosto del 2019

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Jhoanna Maribel Silva Suárez, declaro ser la autora de la tesis titulada “**Respuesta fisiológica y crecimiento del cafeto (*Coffea arabica* L.) bajo cuatro condiciones de sombra en la Hacienda Cristal en el cantón Loja**”, como requisito para optar el grado de: Ingeniera Agrónoma, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar su contenido en el trabajo en el RDI, en las Redes de Información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza de plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 29 días del mes de agosto del 2019, firma la autora.

Firma: 

Autora: Jhoanna Maribel Silva Suárez

Cedula: 1150222303

Dirección: Esteban Godoy – Loja

Correo electrónico: jhoasilvasuarez@gmail.com

Celular: 0991243082

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Max Enrique Encalada Córdova *PhD*

Tribunal de grado:

Presidente: Ing. Simón Bolívar Peña Merino *Mg. Sc.*

Vocal: Ing. Klever Chamba Caillagua.

Vocal: Ing. Marlene Molina Müller *PhD*

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por todas las bendiciones brindadas y ser mi guía espiritual a lo largo de mi vida.

A mis padres, hermanos y familiares por su apoyo moral y económico para poder realizar mis estudios universitarios.

Al Ing. Max Enrique Encalada Córdova, quien con su conocimiento, paciencia y sabiduría dirigió este trabajo de investigación. Así mismo, a las Ingenieras Jamel Ruiz y Lucia Quichimbo por su disposición prestada para llevar a cabo este proyecto.

A mis amigos Leidy Gallegos, Cynthia Ortiz, Margarita Carrión y José González por acompañarme en el trabajo de campo.

De igual manera, al Doctor Gustavo Samaniego y su familia, por haber permitido desarrollar el estudio dentro de su propiedad.

Muchas gracias por todo.

DEDICATORIA

A mis padres Oliva y Olmedo y a mis hermanos Paulina, Karina y Junior por su
cariño y apoyo incondicional durante toda mi vida.

Jhoanna Maribel Silva Suárez

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iii
AUTORÍA.....	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General:.....	3
Objetivos Específicos:	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Generalidades.....	4
2.2. El café en el Ecuador.....	6
2.3. Condiciones climáticas del cafeto.....	7
2.4. Crecimiento del cafeto	8
2.5. Fisiología del cafeto	9
2.6. Cafetales bajo sombra	11
2.6.1. Tipos de sombra.	13
2.6.2. Densidad de la sombra.	13

3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1.	Ubicación	15
3.2.	Materiales y equipos	16
3.2.1.	Materiales de campo.	16
3.2.2.	Materiales de oficina.....	16
3.2.3.	Equipos.....	16
3.3.	Metodología general.....	16
3.3.1.	Metodología para el primer objetivo:.....	17
3.3.1.1.	Altura de la planta.	17
3.3.1.2.	Diámetro del tallo.....	17
3.3.1.3.	Número de ramas.....	18
3.3.1.4.	Número de nudos por rama.	18
3.3.1.5.	Longitud del entrenudo.....	18
3.3.1.6.	Área foliar.....	18
3.3.1.7.	Masa seca.....	18
3.3.1.8.	Razón de área foliar (RAF).	19
3.3.1.9.	Área foliar específica (AFE).	19
3.3.1.10.	Tasa absoluta de crecimiento (TAC).	19
3.3.2.	Metodología para el segundo objetivo:	19
3.3.2.1.	Densidad estomática, índice estomático y ancho y largo de los estomas.....	19
3.3.2.2.	Estado hídrico.....	20
4.	RESULTADOS.....	21
4.1.	Altura de la planta	21
4.2.	Diámetro del tallo.....	21
4.3.	Número de ramas	22

4.4.	Número de nudos/rama	23
4.5.	Longitud de entrenudos/rama.....	24
4.6.	Área foliar	24
4.7.	Masa seca de la planta.....	25
4.8.	Masa seca por órgano de la planta	25
4.9.	Razón de área foliar (RAF)	26
4.10.	Área foliar específica (AFE)	26
4.11.	Tasa absoluta de crecimiento (TAC).....	27
4.12.	Densidad estomática.....	27
4.13.	Índice estomático	28
4.14.	Largo y ancho de estoma.....	28
4.15.	Estado hídrico.....	29
4.16.	Correlaciones.....	29
5.	DISCUSIÓN.....	31
6.	CONCLUSIONES.....	37
7.	RECOMENDACIONES	38
8.	BIBLIOGRAFÍA	39
9.	ANEXOS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Hacienda Cristal, cantón Loja.	15
Figura 2. Alturas de las plantas de cafeto bajo cuatro niveles de sombra.	21
Figura 3. Crecimiento del diámetro del tallo de plantas de cafeto bajo cuatro niveles de sombra.	22
Figura 4. Número de ramas plagiotrópicas/planta de cafeto bajo cuatro niveles de sombra.	23
Figura 5. Número de nudos/rama de plantas de cafeto bajo cuatro niveles de sombra.	23
Figura 6. Longitud del entrenudo/ rama de plantas de cafeto bajo cuatro niveles de sombra.	24
Figura 7. Área foliar a los 770 DDT de las plantas de cafeto bajo cuatro niveles de sombra. a. Área foliar /hoja; b. Área foliar /planta.	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Masa seca total de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.....	25
Tabla 2. Masa seca por órgano de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.....	26
Tabla 3. Razón de área foliar de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.....	26
Tabla 4. Área foliar específica de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.....	27
Tabla 5. Tasa absoluta de crecimiento de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.....	27
Tabla 6. Densidad estomática de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.....	28
Tabla 7. Índice estomático de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.....	28
Tabla 8. Largo y ancho de estoma de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.....	29
Tabla 9. Estado hídrico de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.....	29
Tabla 10. Correlaciones entre las variables de crecimiento de las plantas de cafeto.....	30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas de análisis estadísticos de las figuras.	50
Anexo 2. Modelo de la hoja de registro de datos.	53
Anexo 3. Evidencias fotográficas del estudio realizado.	54

RESPUESTA FISIOLÓGICA Y CRECIMIENTO DEL CAFETO (*Coffea arabica* L.)
BAJO CUATRO CONDICIONES DE SOMBRA EN LA HACIENDA CRISTAL
EN EL CANTÓN LOJA

RESUMEN

Los sistemas agroforestales de café (SAF+café) son de importancia productiva y económica, ya que incluyen especies forestales y frutales como sombra dentro del cultivo. El objetivo del presente trabajo fue determinar la respuesta fisiológica y el crecimiento del cafeto bajo la influencia de distintos niveles de sombra (0 – 10 %, 25 – 30 %, 45 – 50 % y 70 – 75 %) con aliso (*Alnus glutinosa* L.). El ensayo se realizó en la Hacienda Cristal del cantón Loja – Ecuador, a 2 060 m s. n. m. Se seleccionaron 10 plantas homogéneas por cada nivel de sombra, que fueron muestreadas cada 28 días. Las variables evaluadas en campo fueron: altura, diámetro del tallo, número de ramas/planta, número de nudos/rama, longitud del entrenudo y largo y ancho de las hojas. Al final de la investigación, en laboratorio, se cuantificó la masa seca por órgano y densidad estomática. El análisis estadístico se realizó mediante intervalos de confianza, regresiones y correlaciones. Los cafetos con mayor exposición solar presentaron un mayor desarrollo en altura, diámetro del tallo, número de ramas/planta, número de nudos por rama, área foliar/planta, masa seca total, masa seca por órgano, tasa absoluta de crecimiento, densidad estomática, índice estomático y estado hídrico; mientras que los niveles de sombra de 45 – 50 % y 70 – 75 % mostraron los valores más altos en la longitud del entrenudo, razón de área foliar, área foliar específica y dimensiones del estoma. Las correlaciones para las variables analizadas fueron positivas en todos los niveles de sombra, con un valor máximo de 0,999 entre área foliar/masa seca total en plantas expuestas hasta 10 % de sombra.

Palabras clave: Sombra, cafeto, crecimiento, respuesta fisiológica.

SUMMARY

Coffee agroforestry systems (AS + coffee) are of productive and economic importance, because they include forest and fruit species as shade within the crop. The aim of the thesis was to determine the physiological response and the coffee growth under the influence of different levels of shade (0 - 10%, 25 - 30%, 45 - 50% and 70 - 75%) with alder (*Alnus glutinosa* L.). The assay it was performed in the Hacienda Cristal, Canton Loja - Ecuador, at 2,060 m. n. m. Ten homogeneous plants were selected for each shade level, the variables evaluated in the field were: height, stem diameter, number of branches / plant, number of nodes / branch, length of the internode and length and width of the leaves. At finish of the research in laboratory, dry mass per organ and stomatic density were evaluated. Statistical analysis was performed using confidence intervals, regressions and correlations. Coffee trees with high sun exposure showed a greater development in height, stem diameter, number of branches / plant, number of knots per branch, leaf / plant area, total dry mass, dry mass per organ, absolute growth rate, stomatic density, stomatic index and water status; while the shadow levels of 45-50 and 70-75% showed the highest values in internode length, leaf area ratio, specific leaf area and stoma dimensions. The correlations for the analyzed variables were positive in all shade levels, with a maximum value of 0.999 between leaf area / total dry mass in exposed plants up to 10% shade.

Keywords: Shadow, coffee tree, growth, physiological response.

1. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos agrícolas de mayor exportación en el mundo, es producido principalmente en sistemas agroforestales (Montagnini *et al.*, 2015) siendo Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia y Honduras los principales exportadores en el mundo con las especies robusta y arábico (International Coffee Organization [ICO], 2018).

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2019) en Ecuador, durante el año 2018 la superficie plantada de café fue de 45 852 ha, de las cuales 37 872 se encuentran en monocultivo y 7 980 en asocio. La provincia de Loja cuenta con una superficie de 3 981 ha de cultivo, de las cuales 1 994 se encuentran asociadas dentro de sistemas agroforestales.

A nivel nacional la especie de café arábigo representa el 65 % de la producción nacional, mientras que el café robusta constituye el 35 %. Cabe mencionar que, el 52 % de los agricultores cultivan café arábigo mientras que el 48 % produce robusta (Monteros, 2017).

El cultivo de café en sistemas agroforestales es una alternativa viable que genera recursos económicos para los productores; además, representa una opción para diversificar la producción de alimentos, obtener productos forestales maderables y no maderables y conservar la diversidad biológica de estos ecosistemas (Román *et al.*, 2016).

El café presenta mayor productividad en sistemas de monocultivo debido a la mayor densidad de siembra, mientras que en sistemas de asocio se evidencian promedios

inferiores, lo cual varía de acuerdo a la especie forestal a la que se asocia (Suatunce *et al.*, 2009). Sin embargo, sistemas de cultivo a pleno sol, causan reacciones fisiológicas en las plantas como reducciones en la tasa de fotosíntesis asociada con limitaciones difusivas, debido a bajas tasas de conductancias estomáticas y a limitaciones fotoquímicas (Alejandro, 2014).

Las plantas de café bajo sombra parcial presentan mayor vigor, en comparación con expuestas a plena luz; sin embargo, la sombra reduce la productividad en un 14,1 %, a diferencia de cultivos a pleno sol (Ordoñez y Montoya, 2017). La regulación del nivel de sombra en sistemas agroforestales es un factor incidente en el desarrollo fenológico del cultivo, ya que excesiva sombra en cafetales limita la radiación fotosintéticamente activa incidente (RAFAi), reduce la tasa de transpiración e incrementa la conductancia estomática (Zapata *et al.*, 2017).

Encalada *et al.* (2016) mencionan que el porcentaje de sombra es un factor determinante en procesos fisiológicos de las plántulas de café; plantas expuestas a pleno sol presenta mayor contenido de estomas en comparación con plantas expuestas a porcentajes inferiores. Es importante mantener una cobertura de sombra entre 45 y 65 % que garantiza el desarrollo óptimo de las plantas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015).

El crecimiento de las plantas de café está influenciado por la genética de las plantas; sin embargo, las condiciones ambientales influyen en su desarrollo. Cultivos con un nivel de sombra del 55 % presentan mayor número de ramas y promedios de dos hoja /rama, a diferencia de plantas expuestas a 6 % de sombra que presentan menor número de ramas y con cuatro hojas promedio (Blanco *et al.*, 2003).

Teniendo en cuenta estos antecedentes, se planteó esta investigación para describir el comportamiento de las plantas de café expuestas a diferentes niveles de sombra en la Hacienda Cristal del cantón Loja; que se incluye dentro del macro-proyecto “Efecto de la sombra y la densidad poblacional en el desarrollo del café (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales en tres localidades de la provincia de Loja” y se enmarca dentro de la línea de investigación “Alternativas de aprovechamiento y conservación de los recursos para la producción agrícola y Generación” de la Carrera de Ingeniería Agronómica. Considerando los siguientes objetivos.

Objetivo General:

Determinar la influencia de la sombra en el comportamiento fisiológico y crecimiento de las plantas de café en el sistema agroforestal de la Hacienda Cristal del cantón Loja.

Objetivos Específicos:

- Describir el desarrollo vegetativo de las plantas de café expuestas a diferentes niveles de sombra en la Hacienda Cristal del cantón Loja.
- Determinar el comportamiento fisiológico de las plantas de café a diferentes niveles de sombra en la Hacienda Cristal del cantón Loja.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades

En el mundo, el café es la segunda bebida más consumida después del agua, se utiliza en todos los continentes, siendo el principal consumidor la Unión Europea con 42 383 sacos de 60 kg en el año 2016 - 2017. Los principales países exportadores de café son Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia y Honduras con las variedades de arábico (colombianos suaves, otros suaves y naturales brasileños) y robusta (ICO, 2018).

Según el ICO (2018), las exportaciones de Brasil en mayo de 2018 fueron de 1,7 millones de sacos, un 32,5 % más bajas que las de mayo del 2017, esto se atribuye principalmente a una menor producción; para Vietnam, las exportaciones en mayo del 2018 fueron un 20,5 % más altas que en el 2017 y para Colombia, las exportaciones en mayo de 2018 fueron de 960 000 sacos, un 15,1 % más altas que en mayo de 2017. Sin embargo, el total de exportaciones efectuadas en los primeros meses del año 2017 y 2018 descendieron un 7 %.

El cafeto es un cultivo originario del continente africano, en Etiopía, probablemente en la provincia de Kaffa (Mesa *et al.*, 2016).

La World Coffee Research (WCR, 2018), menciona que las variedades tradicionales en América se originaron de las variedades Típica y Borbón de *Coffea arabica*. En el siglo XVIII estas plantas llegaron al Caribe y luego se extendió por todo el continente americano. Las primeras plantas tipo Borbón llegaron al continente americano a través de Brasil a partir de 1850.

El cafeto pertenece al género *Coffea* con aproximadamente 100 especies. Pertenece a la Clase Magnoliopsida, Orden Rubiales, Familia Rubiaceae, género *Coffea* y Especies como *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, son las más representativas (Alvarado y Rojas, 2007).

El cafeto es una planta arbustiva perenne que se caracteriza por presentar una raíz principal que penetra el suelo hasta 50 cm, con raíces secundarias de forma horizontal de hasta 150 cm, que sirven de soporte y permiten el ingreso de agua y nutrientes a la planta (Enríquez y Duicela, 2014).

El tallo es leñoso, erecto y su tamaño depende de la variedad, el clima y el tipo de suelo en que se desarrolle. Este presenta dos tipos de brotes: ortotrópico y plagiotrópico, que forman las ramas, en los nudos del tallo principal se encuentran las yemas de las que se originan las ramas primarias, los chupones y yemas que forman flores (Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia [FNC], 2010).

Las hojas son elípticas o lanceoladas de 12 a 24 cm de largo y 5 a 12 cm de ancho; las flores son pentámeras y se ubican en las axilas de las hojas, están conformadas por cáliz poco desarrollado asentado en la base de la flor y ovario supero. El fruto es una drupa pequeña, brillante y lisa, cuando madura es de color rojo o amarillo dependiendo del cultivar, la semilla está compuesta por endospermo y el embrión que se encuentra en la parte basal (Alvarado y Rojas, 2007).

2.2. El café en el Ecuador

El cultivo de cafeto en el Ecuador se realiza en monocultivo y bajo sistemas agroforestales, el cual asocia el cultivo con árboles maderables, cítricos, caricas, coco y musáceas (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2018).

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) en el 2018, el cafeto se cultiva en todas las provincias del Ecuador; la región Costa representa el 46,84 % de superficie plantada, la región Amazónica el 36,27 %, la región Sierra el 16,88 % y el 0,01 % las zonas no delimitadas (INEC, 2019). La provincia de Manabí comprende la zona con mayor producción del país. Las variedades de arábico y robusta son las principales que se cultivan (Monteros, 2017).

En el Ecuador, las provincias con mejores condiciones agroclimáticas para producir café robusta se ubican en Santa Elena y Guayas, en la Costa; y Orellana y Sucumbíos, en la Amazonia.

Santistevan *et al.* (2014) señalan que en la provincia de Manabí, en el cantón Jipijapa se cultiva mayormente la especie *Coffea arabica*, solo un grupo pequeño de agricultores se dedican a producir *Coffea canephora*. Los agricultores en su mayoría presentan pequeñas áreas de cultivo, el 66 % posee de 1 a 10 ha, el 31 % de 11 a 20ha y sólo el 3 % tiene más de 20 ha de café. El 80 % de los agricultores mantiene sus plantaciones bajo sombra de árboles maderables. Los rendimientos de café cerezo de la mayoría de los caficultores se presentan entre 0,5 a 1 t ha⁻¹, lo cual está relacionado directamente con el manejo del cultivo.

En el año 2016, se determinó que el rendimiento promedio nacional de café arábigo grano seco fue de 0,22 t ha⁻¹; para el año 2017 el rendimiento nacional de café arábigo fue de 0,23 t ha⁻¹ y el rendimiento objetivo promedio nacional de café Robusta fue de 0,49 t ha⁻¹ posesionando a la provincia de Guayas como la zona de mayor rendimiento con 1,30 t ha⁻¹; mientras que Cotopaxi presentó rendimientos inferiores al promedio nacional (Monteros, 2017).

2.3. Condiciones climáticas del cafeto

El cafeto como todas las plantas, necesita de condiciones ambientales especiales para su desarrollo y producción. Los cafetos están presentes desde el nivel del mar hasta los 2 500 m s. n. m., pero ninguna especie está presente en todos los rangos (Institut de Recherche pour le Développement [IRD], 2018). La altura apropiada para la producción del café es de 500 a 1 700 m s. n. m., a menor altura se reduce la calidad de los granos. En cambio, si se cultiva a mayor altura se presentan limitaciones en el crecimiento de las plantas (Instituto del Café de Costa Rica [ICAFFE], 2011).

La temperatura entre los 17 y 26 °C es muy importante para su desarrollo, menores a 16 grados pueden quemar los brotes y si sobrepasa los 27 grados hay más riesgo de deshidratación de la planta con reducción de la fotosíntesis (Figueroa *et al.*, 2015).

Los vientos también son importantes en la producción del café, vientos superiores a los 30 Km h⁻¹ producen la caída de hojas, rotura de flores y frutos, y deshidratación de las yemas (Enríquez y Duicela, 2014). El cultivo de cafeto requiere de 1 200 a 1 800 milímetros distribuidos en nueve meses, con un periodo de descanso de tres meses (Figueroa *et al.*, 2015). La excesiva precipitación y humedad relativa mayor al

90 % provoca la presencia de hongos, además, disminuye la producción y reduce el crecimiento de las plantas de café.

Los suelos de textura franca, franco arcilloso, franco arenoso o franco limoso, estructura granular, con alta fertilidad natural, con una capa de humus mayor a 10 cm y con buen drenaje son aptos para el cultivo (Enríquez y Duicela, 2014).

2.4. Crecimiento del cafeto

Las plantas de cafeto después de dos meses de la germinación, forman el primer par de hojas verdaderas. En el tallo, un par de hojas o un nudo se origina en promedio cada 25 ó 30 días. En un año se forman aproximadamente de 12 a 14 pares de ramas primarias o cruces. La mayor o menor intensidad del crecimiento, está condicionado por la disponibilidad de agua, nutrientes y energía solar (Arcila *et al.*, 2007).

La fertilización en cultivos de cafeto incrementa el tamaño de la planta y genera mayor número de hojas por rama; además, la disponibilidad de agua en el suelo determina el crecimiento, a mayor disponibilidad de agua las plantas se desarrollan de mejor manera (Chemura, 2014). La salinidad del suelo resultante de la aplicación de las mayores dosis de fertilizantes sulfatados de Mg y K reduce en un 10 % la biomasa total de la planta. La salinidad extrema resultante de aplicación de urea y KCl causa la muerte de las plantas (Sadeghian y Zapata, 2015).

La disponibilidad de luz es una variable muy importante en la determinación del crecimiento del cafeto, los adecuados niveles de radiación solar, permiten garantizar un mejor uso de las condiciones edáficas y mayor actividad del crecimiento vegetal (Solórzano y Querales, 2010). Plantas bajo niveles de sombra del 50 y 80 %

presentan mayor crecimiento longitudinal, diámetro del tallo y ancho de copa del café que plantas sin sombra; además, plantas expuestas a porcentajes de sombra mayores al 50 % presentan mayor área foliar que plantas a plena luz (Encalada *et al.*, 2016).

La intensidad lumínica aumenta el número de ramas laterales, número de hojas y peso seco de la raíz. El número de hojas es mayor a alta iluminación pero la superficie total de la planta no experimenta un cambio significativo debido a que las hojas son más pequeñas (Barquero, 2016).

2.5. Fisiología del cafeto

Gast *et al.* (2013) indican que la eficiencia fisiológica primaria de una planta está relacionada con la interceptación de la luz, absorción de la energía incidente y su conversión en biomasa (raíces, tallo, hojas, flores, frutos), lo que está relacionado directamente con la estructura, el ángulo de inserción de ramas y hojas, la forma y el tamaño de la hoja, el índice de área foliar (IAF) y la actividad fotosintética por unidad de área foliar.

El cafeto pertenece al grupo de las plantas C3, donde las altas temperaturas reducen las ganancias netas de carbono por incrementos en la fotorrespiración, que no permiten la fotosíntesis e incluso pueden provocar daños en el aparato fotosintético (Montagnini *et al.*, 2015). Las altas temperaturas o luminosidad promueven más la respiración que la fotosíntesis al estar más disponible el O₂ que el CO₂ (Barquero, 2016).

Temperaturas superiores a 28 °C inhiben la actividad enzimática de la ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa/oxidasa (RuBisCO), lo que repercute negativamente en la tasa de asimilación de CO₂ (Zapata *et al.*, 2017). En época seca la temperatura aumenta la posibilidad de formación de flor estrella (flores que se abre prematuramente y todas sus partes aparecen diminutas y de color blanquecino), quema de flor, limita la germinación y crecimiento del tubo polínico reduciendo la producción de frutos (Barquero, 2016).

El exceso de transpiración causa que la planta se marchite por pérdida de agua en forma de vapor, se pierde pequeñas cantidades de vapor a través de las lenticelas en tallo y ramas jóvenes y más del 90 % se escapa por las hojas (Gast *et al.*, 2013; Azcón y Talón, 2013).

Plantas expuestas a bajos niveles de sombra presentan mayor radiación fotosintética activa incidente, conductividad estomática, tasas de transpiración y asimilación neta de CO₂. Altos niveles de sombra disminuyen la transpiración del cafeto, pero superior al 40 % reduce la fotosíntesis neta (Zapata *et al.*, 2017). La asimilación diaria total es mayor en la sombra que en el sol (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 1993). El suministro de agua abundante y la radiación solar favorece la actividad fotosintética, la demanda por el CO₂ en el interior de la hoja es grande, y los poros estomáticos están muy abiertos, disminuyendo la resistencia estomática a la difusión del CO₂ (Azcón y Talón, 2013).

La duración del día, no es un factor influyente en el crecimiento y floración; sin embargo, días cortos tienen efectos inhibidores en el crecimiento de ramas laterales y en días largos, las ramas aumentan el diámetro total de la planta (Barquero, 2016).

Para que ocurra la floración, además de la madurez apropiada, se necesita estrés hídrico que será interrumpido por la lluvia o cambios bruscos de temperatura (Gast *et al.*, 2013). Las lluvias intensas que rompen periodos secos, desequilibran la fisiología de la planta y pueden ocurrir efectos negativos, como una floración fuera de época (INIAP, 1993). Además, el exceso de lluvia satura el suelo, crea condiciones desfavorables para el desarrollo de las plantas, estas forman un sistema radical limitado con débil crecimiento de la parte aérea, amarillamiento de hojas, alta incidencia de mancha de hierro en hojas y frutos, desarrollo deficiente de brotes, defoliación, secamiento de ramas y frutos, baja producción y calidad de frutos (Gast *et al.*, 2013).

2.6. Cafetales bajo sombra

La agroforestería es un sistema de manejo de los recursos naturales dinámico y ecológicamente, basado en que a través de la integración de los árboles en las granjas y en el paisaje agrícola, se diversifique y sostenga la producción, con el fin de incrementar los beneficios sociales, económicos y ambientales para los usuarios del terreno a todos los niveles (Farfán, 2010).

Las plantaciones de café en sistemas agroforestales promueven la diversificación de árboles de sombra, mejoran la fertilidad del suelo, la adaptación de las plantaciones al cambio climático, contribuye a la conservación de la biodiversidad, mejora la captación de agua y frena la erosión en partes altas de las cuencas (Rosas, 2013).

El uso de sombra en plantaciones de cafeto altera el microclima, disminuyendo la incidencia de radiación solar sobre las plantas y reduciendo así la temperatura de las hojas y del dosel (Farfán, 2010). La FAO (2017) menciona que la sombra en plantaciones de cafeto reduce la velocidad del viento, la evapotranspiración (ET), el déficit hídrico, la amplitud térmica, con la reducción de la temperatura ambiental la floración está menos sujeta al aborto de las flores; además, aumenta la sustentabilidad del suelo e incrementa la disponibilidad de agua y genera la duración de las etapas fenológicas (etapa de cereza).

Sin embargo, la sombra mal manejada puede producir efectos negativos dentro del cultivo ocasionando un aumento de la incidencia de la broca del café, asociada mayoritariamente al ambiente micro climático de la plantación de café forestado, que favorece la propagación del insecto (Maldonado *et al.*, 2014).

La excesiva sombra en cafetales debe ser manejada mediante raleos y podas. Esta labor consiste en tumbar árboles y arbustos muertos, no deseables y las podas de ramas bajas, mal formadas o enfermas; así, como aquellas que impiden una inadecuada penetración de la luz solar (Enríquez y Duicela, 2014).

La alta densidad de sombra en cafetales mejora la calidad de los granos; siendo estos, grandes, uniformes y con atributos organolépticos de aroma, acidez y cuerpo. El microclima generado por la sombra retarda la maduración de frutos y provoca mayor concentración de azúcares (Salazar *et al.*, 2000).

2.6.1. Tipos de sombra.

Según la Asociación Nacional del Café (ANACAFE, 2018) existen dos tipos de sombra para el cultivo de cafeto: temporal y permanente.

La sombra temporal está compuesta por especies de rápido crecimiento que proveen de sombra al cafetal durante los primeros tres a cinco años. Entre las plantas usadas como sombra temporal están: *Ricinus communis*, *Cassia alata*., *Solanum bansii*, *Acnistus arborescens*, *Erythrina velutina*, *Duranta dombeyana*, *Musa sapientum* y *Musa paradisiaca* (SCAN, 2015; Cango, 2018).

La sombra permanente está estructurada principalmente con especies maderables, proporcionando sombra durante todo el ciclo del cultivo. Las especies de sombras son frutales (*Citrus spp*, *Mangifera indica*, *Persea americana*, *Pouteria lucuma*, *Psidium guajava*, *Annona cherimola*), maderables (*Juglans olanchana*, *Roupala loxensis*, *Ochroma pyramidale*, *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*), árboles de uso múltiple (*Inga spp*, *Gliricidia sepium*, *Tecoma stans*, *Lafoensia acuminata*, *Caesalpinia spinosa*, *Cordia macrantha*, *Melicoccus bijugatus*, *Leucaena leucocephala*, *Vernonanthura patens*, *Ficus spp*) (Aguilar y López, 2013; Cango, 2018).

2.6.2. Densidad de la sombra.

El porcentaje de sombra de una plantación de café está determinado por la distancia en que se encuentren ubicados los árboles. Árboles separados por una distancia de seis metros generan un porcentaje de sombrero medio de 70 %, a nueve metros del 60 % y a 12 m del 45 % (Farfán y Mestre, 2004). La densidad de sombra es una alternativa generada para cada finca o parcela de cultivo. Para decidir sobre la

cantidad de sombra a manejar se toman como base las condiciones agro-climáticas del sector.

ANACAFE (2018) define como sombra de alta densidad a la que representa una cobertura entre 50 – 70 %, recomendable para sectores con alta temperatura ambiental y del suelo, baja humedad relativa en el ambiente y en el suelo, mayor exposición a la luz solar, suelos con baja fertilidad natural y propiedades físicas limitantes. La baja densidad de sombra no sobrepasa el 30 % de cobertura.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

El presente estudio se desarrolló en la Hacienda Cristal, barrio Pueblo Nuevo de la parroquia San Sebastián del cantón Loja; a una altitud de 2 060 m s. n. m., en las coordenadas 4°07'00''S y 79°12'00''W (Figura 1). El sitio se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 17,1 °C, precipitación media anual de 1 200 mm año⁻¹ distribuidos durante todo el año (Córdova, 2016). El predio limita al norte con la Hacienda Solorgo, al sur con la Quebrada San Francisco, al este con la Cordillera Real y al oeste con la Quebrada Pueblo Nuevo.

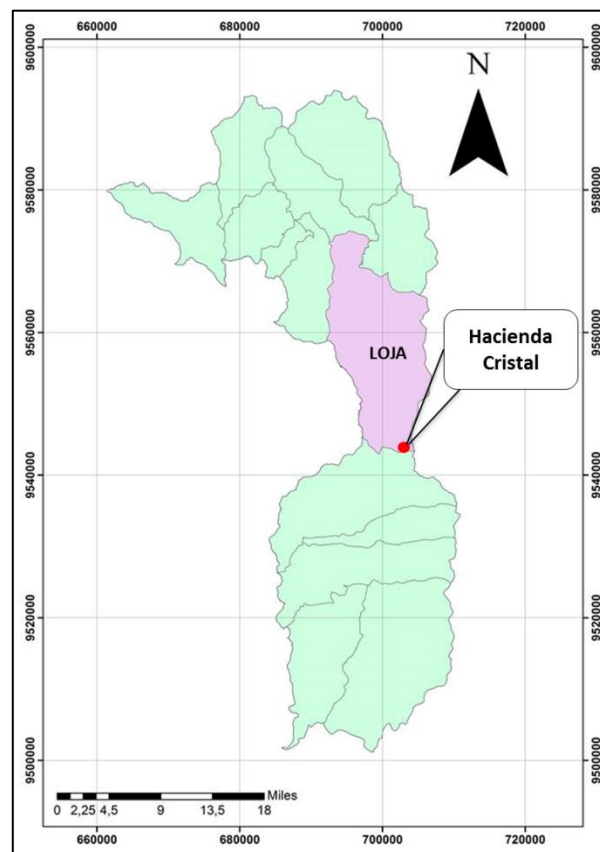


Figura 1. Ubicación de la Hacienda Cristal, cantón Loja.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales de campo.

Plantas de cafeto (*Coffea arabica* L.) de 21 meses después del trasplante.

Instrumentos de medición: Cinta métrica de 100 cm y calibrador digital.

3.2.2. Materiales de oficina.

Computador, cámara fotográfica, esferos y libreta de campo.

3.2.3. Equipos.

Luxómetros SPER SCIENTIFIC modelo 840022, microscopio óptico Olympus CX31 con cámara incorporada, balanza digital Mettler PE 16 y estufa Memmert.

3.3. Metodología general

La investigación que se realizó fue de tipo descriptiva y correlacional, mediante un diseño de muestreo poblacional. Se evaluó el crecimiento y la respuesta fisiológica de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra de árboles de aliso (*Alnus glutinosa* L.) 0 – 10 %, 25 - 30 %, 45 - 50 % y 70 - 75 %, la misma que fue regulada mediante podas de los árboles y constatada mediante la medición de la luz con diferencia con el luxómetro ubicado simultáneamente en la parte interna y externa.

La muestra fue de 10 plantas homogéneas, seleccionadas aleatoriamente para cada nivel de sombra.

Las variables: altura de la planta, diámetro del tallo, número de ramas, número de nudos por rama, longitud del entrenudo se midieron en campo cada 28 días durante los meses de diciembre del 2018 a abril del 2019; mientras que las variables: área foliar, masa seca total, masa seca por órgano, densidad estomática, largo y ancho de estoma y estado hídrico de la planta, se midió una sola vez al final de la investigación; además, se calculó: razón de área foliar, área foliar específica, tasa absoluta de crecimiento, índice estomático.

Los datos obtenidos en campo como en laboratorio fueron analizados mediante intervalos de confianza, regresiones y correlaciones, utilizando Excel y el programa estadístico InfoStat.

3.3.1. Metodología para el primer objetivo:

Describir el desarrollo vegetativo de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra en la Hacienda Cristal del cantón Loja.

3.3.1.1. Altura de la planta.

Con una cinta métrica se midió en cm la altura de la planta desde el cuello hasta el ápice.

3.3.1.2. Diámetro del tallo.

Se midió en mm con un calibrador digital a una altura de 5 cm desde la superficie del suelo.

3.3.1.3. Número de ramas.

Se contó las ramas plagiotrópicas primarias por cada planta.

3.3.1.4. Número de nudos por rama.

Se contó el número de nudos de cada una de las ramas plagiotrópicas primarias de cada planta.

3.3.1.5. Longitud del entrenudo.

Con una cinta métrica se midió en cm la distancia existente entre los nudos de las ramas plagiotrópicas primarias de cada planta.

3.3.1.6. Área foliar.

Se seleccionaron 10 hojas aleatoriamente por planta y a través de las medidas lineales de largo y ancho de la lámina foliar, se determinó el área foliar aplicando la fórmula propuesta por Soto (1980).

$$AF = 0.64 \times (L \times A) + 0.49$$

3.3.1.7. Masa seca.

Se colocó las hojas, tallos y raíces de cada planta en bolsas de papel separadas y etiquetadas; luego fueron introducidas en la estufa a una temperatura de 65 °C hasta peso constante. Seguidamente se sumó cada peso seco para obtener el peso total de la planta en gramos.

3.3.1.8. Razón de área foliar (RAF).

Se determinó mediante la utilización de la fórmula.

RAF: área foliar/ peso seco total de la planta, en cm^2/g .

3.3.1.9. Área foliar específica (AFE).

Se determinó mediante la utilización de la fórmula.

AFE: área foliar/ peso seco área foliar, en cm^2/g .

3.3.1.10. Tasa absoluta de crecimiento (TAC).

Se determinó mediante la utilización de la fórmula

TAC: masa seca total/tiempo, en $\text{g}/\text{día}$.

3.3.2. Metodología para el segundo objetivo:

Determinar el comportamiento fisiológico de las plantas de café a diferentes niveles de sombra en la Hacienda Cristal del cantón Loja.

3.3.2.1. Densidad estomática, índice estomático y ancho y largo de los estomas.

Se determinó mediante la utilización de la técnica de Caldwell y Stone (1932) que consiste en colocar una película de esmalte de uñas incoloro, sobre la superficie abaxial de las hojas. Para ello se seleccionaron tres plantas/nivel de sombra, seis hojas/planta con un total de 74 hojas; de las cuales se obtuvo una lámina grabada que fue colocada en un porta objetos para ser observada en el microscopio Olympus CX31, con el lente de 10X utilizando el programa Micro cam.

Se realizaron tres observaciones por lámina y se contó el número de estomas y células epidérmicas por mm²; además, se midió en μm el largo y ancho de los estomas considerando cuando las células oclusivas estaban presentes.

Para la densidad estomática se contó el número de estomas por mm² y para el índice estomático se aplicó la ecuación (Reyes *et al.*, 2015).

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

3.3.2.2. Estado hídrico

Se determinó a través del contenido hídrico de la hoja, indicador del balance en la planta: para ellos se seleccionó tres plantas/nivel de sombra, seis hojas/planta; se pesó cada una de las hojas obteniendo el peso fresco, seguidamente se colocó las hojas en vasos plásticos con agua y colocados a una temperatura de 6 °C durante 48 horas, al finalizar el tiempo se pesó las hojas obteniendo el peso turgente, a continuación se colocó las hojas en fundas de papel para ser llevadas a la estufa, hasta obtener un peso seco constante.

Se utilizó la fórmula empleada por Sánchez y Aguirreolea (2013).

$$CHR = \frac{Pf - Ps}{Pt - Ps} \times 100$$

Donde: CHR: contenido hídrico relativo, Pf: peso fresco de la muestra, Ps: Peso seco de la muestra, Pt: peso de la muestra a plena turgencia.

4. RESULTADOS

4.1. Altura de la planta

En la Figura 2 se observa que las plantas que fueron expuestas a sombra entre un 0 - 10 % presentaron los valores mayores en altura, mientras que, se observaron valores menores durante todo el período de evaluación bajo un 70 - 75 % de sombra.

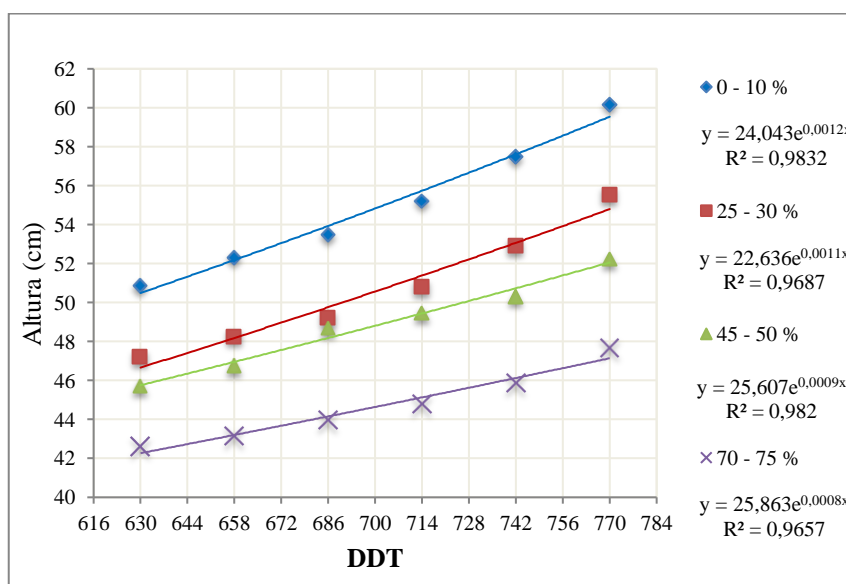


Figura 2. Alturas de las plantas de café bajo cuatro niveles de sombra. DDT: Días después del trasplante.

4.2. Diámetro del tallo

Durante el periodo de evaluación, las plantas expuestas a mayor luminosidad presentaron mayor diámetro del tallo; sin embargo, en el nivel de sombra de 70–75 % se presentaron los valores más bajos. Todas las plantas bajo distintos niveles de sombra presentaron un crecimiento exponencial durante el periodo de evaluación (Figura 3).

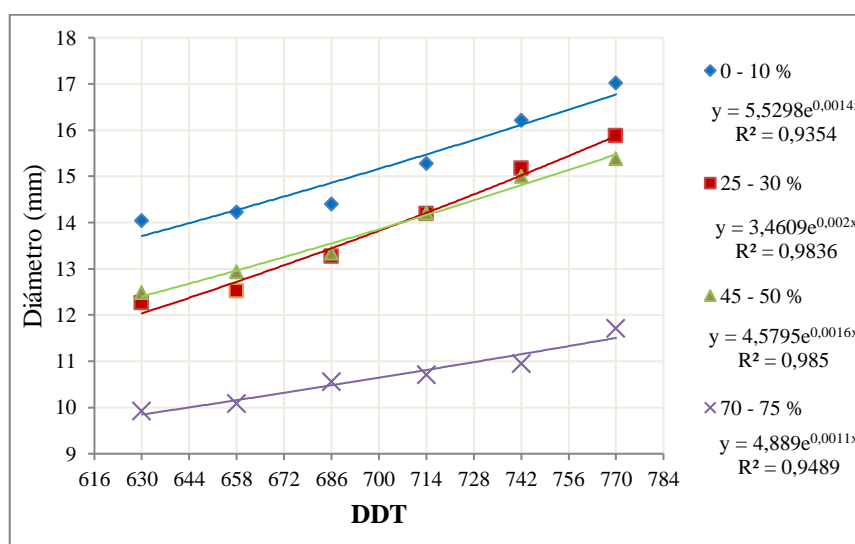


Figura 3. Crecimiento del diámetro del tallo de plantas de cafeto bajo cuatro niveles de sombra.

DDT: Días después del trasplante.

4.3. Número de ramas

El nivel de sombra de 70 – 75 % presentó diferencia significativa con respecto a los demás niveles, con un menor número de ramas plagiotrópicas durante todo el periodo de evaluación. A los 770 DDT el nivel de 45 – 50 % y 70 – 75 % presentaron el menor número de ramas en comparación con el 0 – 10 % de sombra. El nivel de 0 – 10 % y 25 – 30 % de sombra presentaron el mayor número de ramas/planta durante todas las evaluaciones realizadas. Además al visualizar la Figura 4, se observa una tendencia de los tratamientos a aumentar su número de ramas/planta a medida que pasa el tiempo.

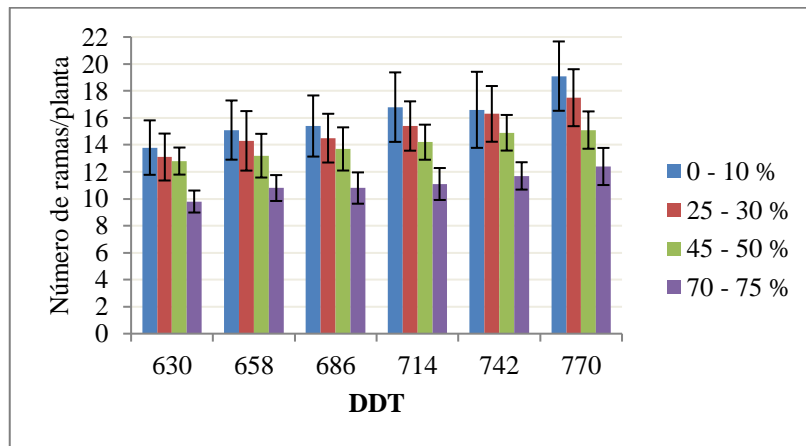


Figura 4. Número de ramas plagiotrópicas/planta de café bajo cuatro niveles de sombra.

Las líneas verticales sobre las barras indican el intervalo de confianza ($\alpha=0,05$)
DDT: Días después del trasplante.

4.4. Número de nudos/rama

No presentaron diferencias significativas entre los distintos niveles de sombra durante el periodo de evaluación (Figura 5). Sin embargo, se observó un crecimiento sostenido en cada uno de los tratamientos hasta los 742 DDT, mientras que a los 770 DDT el tratamiento de 25 – 30 % no mostró un crecimiento de nudos/rama.

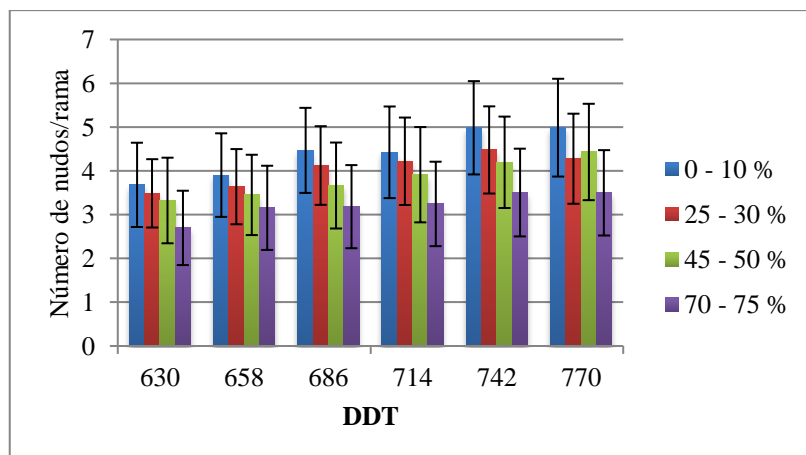


Figura 5. Número de nudos/rama de plantas de café bajo cuatro niveles de sombra.

Las líneas verticales sobre las barras indican el intervalo de confianza ($\alpha=0,05$)
DDT: Días después del trasplante

4.5. Longitud de entrenudos/rama

La Figura 6, muestra que durante el periodo de evaluación no se presentaron diferencias significativas entre los distintos niveles de sombra. Sin embargo, el tratamiento del 45 – 50 % de sombra presentó una mayor longitud del entrenudo/rama y el nivel de 70 – 75 % la menor longitud del entrenudo/rama.

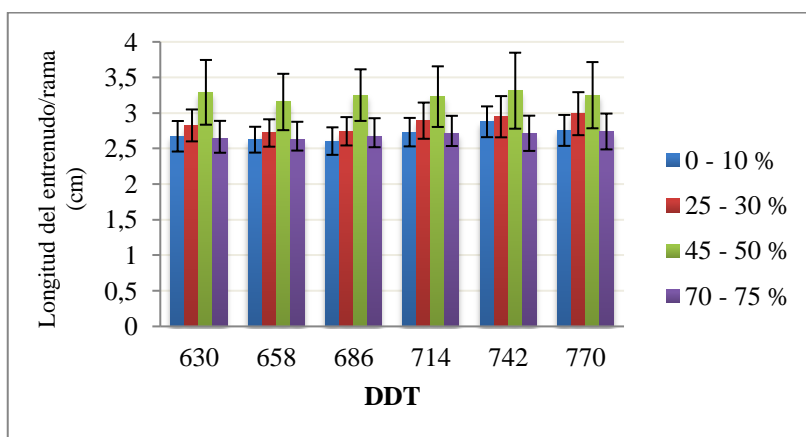


Figura 6. Longitud del entrenudo/ rama de plantas de cafeto bajo cuatro niveles de sombra. Las líneas verticales sobre las barras indican el intervalo de confianza ($\alpha= 0,05$) **DDT:** Días después del trasplante.

4.6. Área foliar

La Figura 7a; muestra que a los 770 DDT, la variable área foliar/hoja no presentó diferencias significativas entre los distintos niveles de sombra. Sin embargo, el nivel de sombra de 70 – 75 % presentó los mayores valores. Con respecto a área foliar/planta (Figura 7b) no se encontraron diferencias significativas entre los distintos niveles de sombra; el nivel de sombra de 25 – 30 %, presentó los valores más altos de área foliar y el nivel de 70 – 75 % los valores más bajos con 4 686 cm².

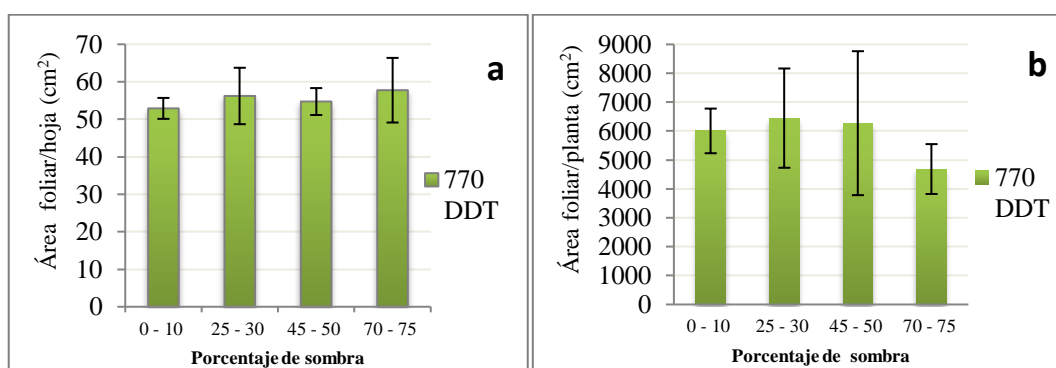


Figura 7. Área foliar a los 770 DDT de las plantas de cafeto bajo cuatro niveles de sombra. **a.** Área foliar /hoja; **b.** Área foliar /planta. Las líneas verticales sobre las barras indican el intervalo de confianza ($\alpha= 0,05$) **DDT:** Días después del trasplante.

4.7. Masa seca de la planta

La Tabla 1, muestra que los niveles de sombra de 0 – 10 %, 25 – 30 % y 45 – 50 % no presentan diferencias significativas en la masa seca de la planta; mientras que, el nivel de sombra de 70 – 75 % presenta la menor masa seca por planta.

Tabla 1. Masa seca total de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.

Nivel de sombra	Media (g)	Intervalo de confianza
0 - 10 %	136,33	23,00
25 - 30 %	145,03	38,93
45 - 50 %	118,80	8,34
70 - 75 %	80,80	4,08

Intervalo de confianza (I.C) ($\alpha= 0,05$)

4.8. Masa seca por órgano de la planta

El nivel de sombra de 70 – 75 % presentó diferencias significativas en la masa seca de las hojas y del tallo, mostrando los valores más bajos con respecto a los demás niveles. El nivel de 25 – 30 % presentó los valores más altos de masa seca por hoja y el nivel de 0 – 10 % los valores más altos por tallo. En cuanto a masa seca de la raíz, los niveles de sombra de 0 – 10 %, 25 – 30 % y 45 – 50 % no presentaron diferencias

significativas; los niveles de sombra de 45 – 50 % y 70 – 75 % no presentaron diferencias entre sí con los valores más bajos (Tabla 2).

Tabla 2. Masa seca por órgano de las plantas de café expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.

Nivel de sombra	Masa seca (g)					
	Hojas	I.C	Tallo	I.C	Raíz	I.C
0 - 10 %	62,53	10,29	52,63	11,92	21,17	1,24
25 - 30 %	76,33	26,21	44,50	10,44	24,20	3,98
45 - 50 %	59,80	6,19	40,10	4,13	18,90	3,96
70 - 75 %	36,07	8,29	28,43	2,62	16,30	2,56

Intervalo de confianza (I.C) ($\alpha=0,05$)

4.9. Razón de área foliar (RAF)

En la Tabla 3, se puede observar que los niveles de sombra de 0 – 10 % y 25 – 30 % presentaron diferencias significativas con respecto al nivel de sombra de 70 – 75 % quien presenta los valores más altos con $57,82 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ de la razón de área foliar. Además los niveles de sombra de 45 – 50 % y 70 – 75 % no presentan diferencia significativa entre sí.

Tabla 3. Razón de área foliar de las plantas de café expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.

Nivel de sombra	Media ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)	Intervalo de confianza
0 - 10 %	44,21	1,71
25 - 30 %	44,54	3,24
45 - 50 %	52,20	16,86
70 - 75 %	57,82	7,93

Intervalo de confianza (I.C) ($\alpha=0,05$)

4.10. Área foliar específica (AFE)

Los niveles de sombra de 0 – 10 %, 25 – 30 % y 45 – 50 % no presentaron diferencias significativas entre sí con respecto al área foliar específica (Tabla 4). Sin

embargo, el nivel de sombra de 70 – 75 % presentó diferencias en comparación a los niveles de 0 –10 % y 25 – 30 % con 130,62 cm² g⁻¹.

Tabla 4. Área foliar específica de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.

Nivel de sombra	Media (cm² g⁻¹)	Intervalo de confianza
0 - 10 %	96,35	4,24
25 - 30 %	86,09	9,83
45 - 50 %	103,49	31,04
70 - 75 %	130,62	5,67

Intervalo de confianza (I.C) ($\alpha=0,05$)

4.11. Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

En la Tabla 5, se observa que el nivel de sombra de 70 – 75 % presentó diferencias significativas con respecto a los demás niveles de sombra, con una tasa absoluta de crecimiento de 0,10 g/día.

Tabla 5. Tasa absoluta de crecimiento de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.

Nivel de sombra	Media (g/día)	Intervalo de confianza
0 - 10 %	0,18	0,03
25 - 30 %	0,19	0,05
45 - 50 %	0,15	0,01
70 - 75 %	0,10	0,01

Intervalo de confianza (I.C) ($\alpha=0,05$)

4.12. Densidad estomática

La Tabla 6, muestra que el número de estomas por mm² presenta diferencia significativa entre los diferentes niveles de sombra. El nivel de sombra de 0 – 10 % presentó mayor densidad estomática por mm² con una media de 235,40 estomas y la menor cantidad se manifestó en el nivel de sombra de 70 – 75 %.

Tabla 6. Densidad estomática de las plantas de café expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.

Nivel de sombra	Media (mm ²)	Intervalo de confianza
0 - 10 %	235,40	10,30
25 - 30 %	211,03	14,77
45 - 50 %	187,67	11,11
70 - 75 %	135,07	6,29

Intervalo de confianza (I.C) ($\alpha=0,05$)

4.13. Índice estomático

Todos los niveles de sombra presentaron diferencias significativas con respecto al índice estomático; sin embargo, se observó que el nivel de sombra de 70 – 75 % mostró los valores más bajos (Tabla 7).

Tabla 7. Índice estomático de las plantas de café expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.

Nivel de sombra	Media (%)	Intervalo de confianza
0 - 10 %	25,46	0,96
25 - 30 %	23,07	1,30
45 - 50 %	21,21	0,90
70 – 75 %	20,18	0,97

Intervalo de confianza (I.C) ($\alpha=0,05$)

4.14. Largo y ancho de estoma

Las plantas de café expuestas a niveles de sombra de 45 - 50 % y 70 – 75 %, presentaron diferencias significativas en longitud de estoma en comparación a los demás niveles (Tabla 8). El nivel de sombra del 0 – 10 % reportó un menor tamaño de sus estomas. Para el ancho del estoma el nivel de sombra de 45 – 50 % mostró diferencias con los demás niveles, con los mayores valores con una media de 28,89 μm .

Tabla 8. Largo y ancho de estoma de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.

Nivel de sombra	Largo de estoma		Ancho de estoma	
	Media(μm)	Intervalo de confianza	Media(μm)	Intervalo de confianza
0 - 10 %	29,70	0,37	27,28	0,39
25 - 30 %	30,91	0,44	26,93	0,36
45 - 50 %	32,25	0,41	28,89	0,43
70 - 75 %	32,77	0,45	27,51	0,40

Intervalo de confianza (I.C) ($\alpha=0,05$)

4.15. Estado hídrico

En la Tabla 9, se observa que los niveles de sombra 0 – 10 %, 45 – 50 % y 70–75 % no presentaron diferencias significativas en el estado hídrico de la planta. Sin embargo, el nivel de sombra de 25 – 30 % presentó los valores más altos con 85,03%.

Tabla 9. Estado hídrico de las plantas de cafeto expuestas a diferentes niveles de sombra a los 770 DDT.

Nivel de sombra	Media (%)	Intervalo de confianza
0 - 10 %	80,03	3,58
25 - 30 %	85,03	4,72
45 - 50 %	81,19	3,67
70 - 75 %	76,10	2,70

Intervalo de confianza (I.C) ($\alpha=0,05$)

4.16. Correlaciones

La Tabla 10 muestra que el nivel de sombra de 70 – 75 % presenta una mayor correlación positiva entre la variable altura/diámetro y altura/número de ramas planta; mientras que, para la correlación área foliar/masa seca total, el nivel de sombra de 70 – 75 % presentó el mayor valor.

Tabla 10. Correlaciones entre las variables de crecimiento de las plantas de cafeto.

Nivel de sombra	Correlación			
	0 - 10 %	25 - 30 %	45 -50 %	70 -75%
Altura/ Diámetro	0,545	0,625	0,504	0,841
Altura/ Número de ramas por planta	0,375	0,231	0,266	0,758
Área foliar/Masa seca total	0,999	0,952	0,989	0,935

Correlación de Pearson.

5. DISCUSIÓN

Las plantas de cafeto expuestas a mayor porcentaje de luz en el presente estudio, mostraron un mayor crecimiento en altura. Solórzano y Querales (2010), mencionan que plantas expuestas a un 32 % de sombra presentan mayor crecimiento en altura en comparación con niveles de 45 y 59 % de sombra. Además, según varios autores, los cafetos bajo sombra parcial presentan mayor vigor en comparación con los expuestos a plena luz (Ordoñez y Montoya, 2017; Silva *et al.* 2018). La diferencia de alturas de las plantas en un lugar y otro está determinada, por condiciones edafo-climáticas, topográficas de lugar, al generar una aclimatización de las plantas (ANACAFE, 2018). Lo que genera respuestas celulares que se traducen en un proceso fisiológico de reorientación del crecimiento en órganos (Meisel, 2011).

La mayor iluminación proporcionada al cafeto en este estudio, produjo mayor diámetro del tallo en las plantas; esto coincide con un estudio realizado en Machadinho do Oeste en Brazil, donde plantas de cafeto expuestas a mayor cantidad de luz presentaron mayor diámetro del tallo en comparación con sombras de diferentes especies forestales (Rodrigues, 2009). Según Passos *et al.* (2019), los niveles de sombra superiores a 50 % producen una reducción en el diámetro de las plantas.

Al considerar el número de ramas, el nivel de sombra de 70 – 75 %, presentó diferencias con respecto a menores porcentajes de sombra, lo cual se explica ya que esta variable está relacionada directamente con la altura de la planta (Julca *et al.*, 2018).

El número de nudos por rama no presentaron diferencias entre los cuatro niveles de sombra. El número de nudos por rama fue de 2,7 a 3,7 en la primera evaluación y de 3,5 a 5 en la última. Según Rodrigues (2009), esta variable se ve influenciada directamente por la cantidad de luz que interceptan las plantas, siendo cafetos con alta radiación solar los que presentan una mayor cantidad de nudos en ramas plagiotrópicas. Las plantas de café bajo altos niveles de sombra, muestran una distribución de luz limitada dentro de sus propias cubiertas y una competencia directa con los árboles de sombra por requisitos esenciales como agua, luz y nutrientes, produciendo una disminución de nudos por rama y flores (Dubberstein *et al.*, 2018).

La variable longitud del entrenudo en cada nivel de sombra no presentó diferencias significativas; sin embargo, se observó que a un nivel de sombra de 45 – 50 % los nudos se presentan de mayor longitud. Este comportamiento es similar al reportado por Araújo *et al.* (2016) en Jaguaré, Espírito Santo, Brazil, donde cafetos bajo sombra presentaron una mayor longitud de entrenudo debido a la etiolación, y a plena exposición solar menor longitud. La falta de luz responde al proceso de etiolación en las plantas produciendo un alargamiento de sus tallos (Casierra *et al.*, 2013). Además, la longitud de las ramas disminuye desde el tercio inferior hasta el tercio superior, esta característica confiere a las plantas de café la forma piramidal (Julca *et al.*, 2018).

Las plantas de café expuestas a niveles de sombra de 70 - 75 % presentaron una mayor área foliar/ hoja, frente a plantas expuestas a niveles de 0 – 10 %, lo cual también mostro Rodríguez *et al.* (2016), donde un mayor crecimiento foliar se

manifestó en cafetos expuestos a mayor sombra no regulada y hojas de menor tamaño se registraron en plantas expuestas a pleno sol. Un mayor crecimiento foliar por altos porcentajes de sombra resulta excesivo en las capas inferiores del dosel de la planta, lo que provoca que las hojas situadas en esta parte no contribuyan a la producción de asimilados (Rodríguez *et al.*, 1999). Las plantas expuestas a mayor radiación solar presentan mayor área foliar de la planta, sin embargo, la radiación directa muestran una tasa de fotosíntesis menor que las hojas bajo sombra, ya que están sujetas a foto-inhibición y a foto-respiración, lo cual no permite fotosíntesis y puede provocar daños permanentes en el aparato fotosintético (Villareyna, 2016).

Los cafetos, expuestos a mayor radiación solar presentaron una mayor acumulación de masa seca, siendo el nivel de 25 – 30 % de sombra con la mayor masa seca. En un estudio realizado en zonas tropicales del Ecuador, a nivel de vivero, las posturas de café expuestas a niveles de sombra de 50 % y 80 % presentan mayor masa seca (Encalada *et al.*, 2016); esto está influenciado por las condiciones climáticas diferentes del sector. Terán *et al.* (2018) mencionan que, niveles por debajo de 43 % de sombra logran una mayor acumulación de biomasa en plantas en crecimiento. Por otra parte, Zapata *et al.* (2017) indican que sombra mayor al 40 % en cafetales ayuda al ahorro de agua, disminución de la transpiración, pero también reducen la fotosíntesis neta, la acumulación de biomasa y producción.

Por otro lado, las plantas de cafeto expuestas a menor porcentaje de sombra, presentaron mayor masa seca por órgano (hojas, tallo y raíz), esto no concuerda con Encalada *et al.* (2016) donde la menor cantidad de sombra en posturas de cafetos muestran menor masa seca por órgano. La respuesta a estos resultados podría

explicarse al mayor número de hojas por planta, además es posible que un aumento de la superficie foliar produzca mayor fijación de CO₂, considerando que plantas a mayor luminosidad realizarían mayor tasa de fotosíntesis, en comparación con la que crecen a menor luminosidad (Jarma *et al.*, 2005).

La mayor razón de área foliar y de área foliar específica, se presentó en niveles de sombra superiores a 45 %, donde el AFE varía con la intensidad lumínica o época del año. Especies con mayor cantidad de sombra, presentan una elevada área foliar específica y concentraciones de nitrógeno elevadas en las hojas, considerando que la poca radiación estimula la absorción de nitrógeno en la planta (Páez *et al.*, 1994). Esta elevada AFE incrementa la fragilidad de las hojas y el riesgo de pérdidas de tejidos prematuros, mientras que hojas con menor AFE, se presentan más densas y lignificadas, con contenidos bajos de humedad y nitrógeno (Pérez *et al.*, 2004).

Las plantas expuestas a mayor radiación solar presentaron un mayor aumento en biomasa, sin embargo, esto puede cambiar al considerar el órgano evaluado, como lo menciona Bote y Struik (2011), ya que al comparar el crecimiento relativo en ramas plagiotrópicas de plantas de café no presentan diferencia de crecimiento a plena exposición solar como bajo sombra.

El número de estomas presentes por superficie foliar, alcanzo densidades mayores en el nivel de sombra de 0 -10 %, con una media de 235,40 estomas/mm² y menor en porcentajes de 70 – 75 %. Villareyna (2016) menciona que la sombra produce cambios morfológicos y fisiológicos en las plantas, tales como, un mayor área individual, reducción del aspensor y menor número de estomas por superficie. Al ser la luz el estímulo más importante para desencadenar el movimiento estomático y

densidad estomática, considerando que la transpiración y la intensidad de la respiración es directamente proporcional al número y abertura de los estomas, ya que estos indicadores influyen directamente en la regulación del intercambio gaseoso y la tasa fotosintética en las plantas (Álvarez y Reynaldo, 2015).

Las plantas a mayor exposición solar presentaron mayor índice estomático (IE). La radiación solar produce una disminución del agua en el suelo, por lo cual, plantas sometidas a estrés hídrico presentan mayor índice estomático en comparación a aquellas a capacidad de campo (Quintana *et al.*, 2017). En función de la disponibilidad de agua, las plantas ajustan el tamaño, la cantidad de hojas y la distribución de los estomas. Los estomas establecen un control sobre el gasto del agua a lo largo del día en función de la cantidad de luz, temperatura y disponibilidad del agua en las hojas. La regulación de la pérdida de agua en los estomas es un mecanismo de control múltiple y se establece mediante variaciones de apertura que impone mayor o menor difusión libre de vapor de agua. Esta regulación es responsable de las variaciones en la eficiencia del uso del agua por la planta (Medrano *et al.*, 2007):

Las dimensiones de los estomas en el nivel de sombra de 0 – 10 % registro el menor tamaño, esto concuerda con lo mencionado por Rodríguez *et al.* (2016), donde cafetos a plena exposición solar presentaron estomas de menor longitud en comparación con cafetos bajo sombra. Además, la mayor frecuencia estomática se presentó en el nivel mínimo de sombra, lo que el nivel de sombra no presenta una correlación positiva con el número de estomas por mm², la disminución de luz

produce un distanciamiento de los estomas, ya que las hojas presentan un mayor tamaño.

El estado hídrico de las plantas expuestas a una mayor radiación solar, presentaron los mayores valores, sin embargo, la sombra reducen la transpiración del cafeto e incrementa la acumulación del agua en las plantas, esto influye directamente con la especie de sombra, densidad de siembra y tipo de suelo (DaMatta y Rodríguez, 2007). El déficit hídrico de las plantas genera el cierre de estomas y disminución del CO₂, reduciendo la tasa de fotosíntesis (Dubberstein *et al.*, 2018). Además, Montagnini *et al.* (2015) indican que el efecto de la sombra sobre el balance hídrico de las plantas depende de las condiciones locales y temporales.

La asociación entre variables en los diferentes niveles de sombra son positivas para todos los casos, se presenta una alta correlación dentro del nivel de sombra de 70–75 % y moderada para los demás niveles de sombra. El área foliar/ masa seca total presentó una correlación alta positiva para todos los niveles de sombra. El área foliar es fundamental, para determinar el estado de nutrición, predecir el crecimiento, la absorción de carbono, la tasa de transpiración, el aporte de hojarasca al suelo, la eficiencia del uso del agua y la conversión de fotoasimilados; además, como indicador de procesos fisiológicos, como fotosíntesis, transpiración y evaporación (Vallejos *et al.*, 2019).

6. CONCLUSIONES

- Las plantas expuestas a menor porcentaje de sombra mostraron mayores valores en las variables: altura, diámetro del tallo, número de ramas/planta, número de nudos por rama, área foliar/planta, masa seca total, masa seca por órgano, tasa absoluta de crecimiento, densidad estomática, índice estomático y estado hídrico de la planta.
- El nivel de sombra del 45 – 50 % registró plantas con los valores más altos en longitud del entrenudo y ancho de estoma en comparación con los demás niveles.
- La mayor área foliar específica y un mayor tamaño de los estomas, se presentó a mayores porcentajes de sombra.
- Las correlaciones entre variables, en todos los niveles de sombra fueron positivas, siendo altamente positiva en el nivel de sombra de 70 – 75 % para altura/diámetro y altura/número de ramas y en el nivel de 0 – 10 % para área foliar/masa seca.

7. RECOMENDACIONES

- Incrementar el periodo de evaluación durante todo el desarrollo fenológico del cultivo para obtener resultados relacionados con rendimiento.
- Considerar otras variables agronómicas para una futura investigación como tasa relativa de crecimiento, contenido de clorofila y actividad fotosintética activa.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, L.O., y López, S.A. (2013). Evolución, aplicación y futuro de la agroforestería en Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 49, 99-110.
- Alejandro, Y. (2014). Respuesta fotosintética de *Coffea arabica* L. a diferentes niveles de luz y disponibilidad hídrica. *Acta Agronómica*, 63 (2), 128-135.
- Alvarado, S. M., y Rojas, C. G. (2007). El cultivo y beneficiado del café. San José-Costa Rica. 2da. Reimpresión. Editorial Universal Estatal a Distancia, San José de Costa Rica. 184 p.
- Álvarez, I., y Reynaldo, I. (2015). Efecto del pectimorf en el índice estomático de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos tropicales*, 36 (3), 82-87.
- Asociación Nacional del Café (ANACAFE). (2018). La sombra en el cultivo de café. Consultado el 02 de julio del 2018 en: https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Sombra_en_el_cafeto
- Araújo, A., Partelli, F., Oliosi, G y Macedo, J. (2016). Microclimate, development and productivity of robusta coffee shaded mby rubber trees and at full sun. *Revista Ciência Agronômica*, 47(4), 700-709. doi: 10.5935/1806-6690.20160084
- Arcila, P. J., Farfán, V. F., Moreno, B., Salazar, G. L.L., y Hincapié, G. E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. Consultado el 08 de agosto del 2018 en: https://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas_de_produccion.pdf
- Azcón, B.J., y Talón, M. (2013). Fundamentos de fisiología vegetal. Barcelona-España. Segunda edición. McGraw-Hill Interamericana de España, S.L. p.35

- Barquero, M. (2016). FISIOLOGÍA DEL CAFETO: Un enfoque práctico de los órganos de la planta y su funcionamiento. Consultado el 14 de agosto del 2018, en [http://www.mag.go.cr/informacion/imagenes-nama-cafe-taller/Fenologia%20del%20cafeto,%20un%20enfoco%20practico%20\(Barquero,%20MM\)%20NAMA-Cafe.pdf](http://www.mag.go.cr/informacion/imagenes-nama-cafe-taller/Fenologia%20del%20cafeto,%20un%20enfoco%20practico%20(Barquero,%20MM)%20NAMA-Cafe.pdf)
- Blanco, M., Hagggar, J., Moraga, P., Madriz, J., y Pavón, G. (2003). Morfología del café (*Coffea arabica* L.), en lotes comerciales. Nicaragua. *Agronomía mesoamericana*, 14(1), 97-103.
- Bote, A., y Struik, P. (2011). Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. *Journal of Horticulture and Forestry*, 3(11), 336-341.
- Caldwel, R., y Stone, M. (1932). Apressorium formation and penetration by leaf rust of Wheat *Puccinia triticina* in relation to stomatal aperture. *Phytopathology*, 22(1), 39-51.
- Cango, Y. (2018). Caracterización de la vegetación y el microclima en sistemas agroforestales café (*Coffea arabica* L.) en tres pisos altitudinales en la zona cafetalera Quilanga–Espíndola de la provincia de Loja (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Casierra, P., Peña, O., Peñaloza, J., y Roveda, G. (2013). Influencia de la sombra y de las micorrizas sobre el crecimiento de plantas de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16 (1), 61 – 70.
- Chemura, A. (2014). The growth response of coffee (*Coffea arabica* L.) plants to organic manure, inorganic fertilizers and integrated soil fertility management

- under different irrigation water supply levels. *Int J Recycl Org Waste Agricult*, 3(59). doi: <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0059-x>
- Córdova, T. 2016. Valoración Económica de una Plantación de pino en la hacienda Cristal del cantón Loja y provincia de Loja (tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.
- DaMatta, F., y Rodríguez, N. (2007). Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotropico: una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombiana* 25(1), 113-123.
- Dubberstein, D., Rodrigues, W., Smedo, J., Rodrigues, Pais, I., Leitão, A., Partelli, Campostrini, E., Reboredo, F., Scotti, P., Lidon, F., Ribeiro, A., DaMatta, F., y Ramalho, J. (2018). Mitigation of the Negative Impact of Warming on the Coffee Crop: The Role of Increased Air [CO₂] and Management Strategies. *Climate Resilient Agriculture - Strategies and Perspectives*, 57 – 85. doi: [10.5772/intechopen.72374](https://doi.org/10.5772/intechopen.72374)
- Encalada, M., Soto, F, Carreño., Morales, D., Álvarez, I. (2016). Influencia de la luz en algunas características fisiológicas del cafeto (*Coffea arabica* L. cv. caturra) en condiciones de vivero. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 89-97. doi: [10.13140/RG.2.2.10544.76801](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10544.76801)
- Encalada, M., Soto, F, Carreño., y Morales, D. (2016). Crecimiento de posturas de cafeto (*Coffea arabica* L.) con cuatro niveles de sombra en dos condiciones edafoclimáticas de Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 72-78. doi: [10.13140/RG.2.1.4335.7681](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4335.7681)
- Enríquez, C.G., y Duicela, G.L. (2014). Guía técnica para la producción y poscosecha de café arábico. Portoviejo-Ecuador

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

(2017). Memorias de los talleres de agroecología y del café en Mesoamérica y República Dominicana. Panamá. Consultado el 15 de agosto del 2018 en: <http://www.fao.org/3/a-i7697s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

(2015). Memorias del seminario científico internacional. Manejo agroecológico de la roya del café. Ciudad de Panamá. p. 18. Consultado el 15 de agosto del 2018 en: <http://www.fao.org/3/a-i5137s.pdf>

Farfán, F., y Mestre, A. (2004). Manejo del sombrío y fertilización del café en la zona central colombiana. Avances técnicos. Consultado el 16 de agosto del 2018 en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0330.pdf>

Farfán, V. F. (2010). Agroforestería y sistemas forestales con café. Manizales, Caldas-Colombia.

Figuroa, H. E., Pérez, S. F., y Godínez, M. L. (2015). La producción y el consumo del café. Ecorfan. Consultado el 18 de julio del 2019 en: https://www.ecorfan.org/spain/libros/LIBRO_CAFE.pdf

Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia (FNC). (2010). El árbol y el entorno. Consultado el 20 de agosto del 2018 en: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_arbol_y_el_entorno/

Gast, F., Benavides, P., Sanz, J., Herrera, J., Ramírez, V., Cristancho, M., y Marín, S. (2013). Manual del cafetero colombiano. Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Bogotá – Colombia. Consultado el 24 de

octubre del 2018 en: <https://es.scribd.com/doc/250697222/Manual-del-Cafetero-Colombiano>

Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). (2011). Guía Técnica para el Cultivo del Café. Barva – Heredia. p. 72. Consultado el 24 de octubre del 2018 en: <http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>

International Coffee Organization (ICO). (2018). Informe del mercado del café junio 2018. Consultado el 25 de octubre del 2018 en: <http://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-0618-c.pdf>

International Coffee Organization (ICO). (2018). Monthly export data for the last six months. London. Consultado el 25 de octubre del 2018 en: http://www.ico.org/ES/trade_statistics.asp?section=Estad%EDstica

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2019). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), 2018. Quito, Ecuador. Consultado el 12 de enero del 2019 en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (1993). Manual del cultivo del café. Quevedo - Ecuador

Institut de Recherche pour le Développement (IRD). (2018). Achieving sustainable cultivation of coffee Breeding and quality traits. France. p. 400. Consultado el 20 de octubre del 2018 en: <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781786761552>

- Jarma, A., Rengifo, T., y Araméndiz. (2005). Aspectos fisiológicos de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en el Caribe colombiano: I. Efecto de la radiación incidente sobre el área foliar y la distribución de biomasa. *Agronomía Colombiana*, 23(2), 207-216.
- Julca, A., Alarcón, G., Alvarado, L., Borjas, R., y Castro, V. (2018). Comportamiento de tres cultivares de café (Catimor, Colombia y Costa Rica 95) en el valle de El Perené, Junín, Perú. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 34(3), 205-215. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902018005000504>
- Ministerio de agricultura y ganadería (MAG). (2018). MAGAP fomenta la producción de café robusta en la costa. Consultado el 24 de octubre del 2018 en: <https://www.agricultura.gob.ec/magap-fomenta-la-produccion-de-cafe-robusta-en-la-costa/>
- Maldonado, R., Rodríguez, G., Enríquez, J. R., Carrillo, J.C., y Isabel, M. (2014). Efecto de la cobertura arbórea en sistemas de café orgánico en el sur de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 1(1), 12-19.
- Medrano, H., Bota, J., Flexas, J., Ribas, M., y Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*, 43, 63-84.
- Meise, L., Urbina, D., y Pinto, M. (2011). Fotorreceptores y Respuestas de Plantas a Señales Lumínicas. Ediciones de la Universidad de la Serena. Consultado el 19 de agosto del 2019 en: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fotorreceptores%20y%20>

Respuestas%20de%20Plantas%20a%20Se%20C3%B1ales%20Lum%20C3%AD
nicas.pdf

Mesa, N., Medrano, J., Martínez, M., Grave, M y Cabrera, Y. (2016). Efecto anticariogénico del café. *Correo científico médico de Holguín*, 21 (3), 888-898.

Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., y Eibl, B. (2015). *Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402.* CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454p.

Monteros, A. (2017). Rendimientos de café grano seco en el Ecuador 2017. Quito, Ecuador. Consultado el 26 de octubre del 2018 en: http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_cafe_grano_seco2017.pdf

Ordoñez, Z. K y Montoya, B.P. (2017). Evaluación agronómica de *Coffea arábica* variedad castillo y caturra en dos sistemas de producción (sol y sombra); en la hacienda Naranjos, vereda la venta (Cajibío-Cauca). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 29, 58-66.

Páez, A., González, M., y Pereira, N. (1994). Comportamiento de *Panicum máximum* en condiciones de sombreado y de luz solar total. Efecto de la intensidad de corte. *Revista de agronomía (LUZ)*, 11, 25-42.

Passos, B., Gross, E., Pereira, N., Schramm, M y Gomes, G. (2019). Growth Response of Four Conilon Coffee Varieties (*Coffea canephora* Pierre ex A.

- Froehner) to Different Shading Levels. *Journal of Agricultural Science*, 11(7), 29-41. Doi: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n7p29>
- Pérez, J., García, E., Enríquez, J., Quero, A., Pérez, J., y Hernández, A. (2004). Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “mulato” (*Brachiaria* híbrido, cv.). *Técnica pecuaria en México*, 42(3), 447-458.
- Quintana, A., Iracheta, L., Méndez, I., y Alonso, M. (2017). Caracterización de genotipos élite de *Coffea canephora* por su tolerancia a la sequía. *Agronomía mesoamericana*, 28(1), 183-198. doi:10.15517/am.v28i1.23874
- Reyes, D., Quiroz, J., Kelso, H., Huerta, M., Avendaño, C., y Lobato, R. (2015). Caracterización estomática de cinco especies del género vanilla. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 237-246. doi: 10.15517/AM.V26I2.19279
- Rodrigues, V. (2009). Avaliação do desenvolvimento vegetativo de cafeeiros arborizados e a pleno sol. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 4 p. (Circular Técnica nº 112). Consultado el 15 de mayo del 2019 en: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9202/circular_tecnica_112.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, L., Guevara, F., Gómez, H., Fonseca, M., Gómez, J., y Pinto, R. (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*, 65(3), 248-254. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n3.46731>
- Rodríguez, L., Orozco, V., Velasco, E., Medina, R., Verdecia, J., y Fonseca, I. (1999). Niveles óptimos de radiación solar y su relación con el crecimiento

- vegetativo, desarrollo foliar y la productividad del cafeto (*Coffea arabica* L.).
Cultivos tropicales, 20(4), 45 -49.
- Román, M. L., Mora, A y González, G. (2016). Sistemas agroforestales con especies de importancia maderable y no maderable, en el trópico seco de México.
Avances en Investigación Agropecuaria, 20(2), 53-72.
- Rosas, M. (2013). Sistemas productivos sostenibles y biodiversidad. CONABIO.
Biodiversitas, 110, 10-13.
- Sadeghian, K. S., y Zapata, H. R. (2015). Crecimiento de café (*coffea arabica* l.) Durante la etapa de almácigo en respuesta a la salinidad generada por fertilizantes. *Revista de ciencias agrícolas*, 31(2), 40 – 50. doi: 10.22267/rcia.143102.30
- Salazar, E. Muschler., R. Sánchez, V., y Jiménez, F. (2000). Calidad de *Coffea arabica* bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 7(26), 40-42.
- Sánchez, D. M., y Aguirreolea, J. (2013). El agua en la planta. Movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera. Azcón, B.J y Talón, M. (2013). Fundamentos de fisiología vegetal. Barcelona- España. Segunda edición. McGraw-Hill Interamericana de España, S.L. p.26
- Santistevan, M. M., Julca, A. O., Borjas, V. R., y Tuesta, H.O. (2014). Caracterización de fincas cafetaleras en la localidad de Jipijapa (Manabí, Ecuador). *Ecología Aplicada*, 13(2), 187-192. doi: 10.21704/rea.v13i1-2.469

- Sustainable Commodity Assistance Network (SCAN). (2015). La regulación de la sombra. Una alternativa para hacer el cafetal sostenible. Consultado el 26 de octubre del 2018 en: <http://scanprogram.org/wp-content/uploads/2012/08/BPA-2.-Regulacion-de-la-sombra-20150914-web.pdf>
- Silva, F., Gomes, K., França, N., Souza, A., Bispo, M., Stolf, R., y Fontanetti, A. (2018). Shade Trees Spatial Distribution and Its Effect on Grains and Beverage Quality of Shaded Coffee Trees. *Journal of Food Quality*, 8 p
- Solórzano, N., y Querales, D. (2010). Crecimiento y desarrollo del café (*Coffea arabica*) bajo la sombra de cinco especies arbóreas. Consultado el 11 de enero del 2019 en: https://www.researchgate.net/publication/266316856_CRECIMIENTO_Y_DESARROLLO_DEL_CAFE_Coffea_arabica_BAJO_LA_SOMBRA_DE_CINCO_ESPECIES_ARBOREAS
- Soto, F. (1980). Estimación del área foliar en *C. arabica* L. a partir de las medidas lineales de las hojas. *Cultivos tropicales*, 2(3), pp. 115-128.
- Suatunce, P., Díaz, G., y García, L. (2009). Evaluación de cuatro especies forestales asociadas con café (*Coffea arabica* L.) y en monocultivo en el litoral ecuatoriano. *Ciencia y Tecnología*, 2(2), 29-34.
- Terán, M., Rodríguez, G., Enríquez, J., y Velasco, V. (2018). Biomasa aérea y ecuaciones alométricas en un cafetal en la Sierra Norte de Oaxaca. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 217-226. doi: 10.19136/era.a5n14.1444

- Vallejos, B., Ponce, D., Heinrich, P. y Doll, U. (2019). Área y biomasa foliar total de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser en zona Andina, Región del Maule, Chile. *Colombia forestal*, 22(2), 5-14.
- Villareyna, R. (2016). Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos. Costa Rica. Consultado el 03 de julio del 2019 en: https://agritrop.cirad.fr/581648/1/Reporte_Sombra%20y%20fertilidad%20del%20suelo_Rev_Karel_BR%20_JA_BV_RV.pdf
- World Coffee Research (WCR). (2018). Café Arábica. Consultado el 10 de enero del 2019 en: <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/info/coffee/about-varieties/main-types>
- Zapata, A.P.C., Andrade, C.H.J., y Nieto, A. Z.K., (2017). Comportamiento ecofisiológico del cafeto (*Coffea arabica* L.) Cv. Castillo en sistemas agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca. U.D.C.A Actualidad y *Divulgación Científica*, 20(1), 61 – 70.

9. ANEXOS

Anexo 1. Tablas de análisis estadísticos de las figuras.

Tabla 1. Número de ramas promedio de las plantas de café en el nivel de sombra de 0 – 10 % durante el periodo de evaluación.

DDT	Promedio	Desviación estándar	Intervalo de confianza
630	13,80	3,26	2,02
658	15,10	3,54	2,20
686	15,40	3,66	2,27
714	16,80	4,16	2,58
742	16,60	4,55	2,82
770	19,10	4,15	2,57

Tabla 2. Número de ramas promedio de las plantas de café en el nivel de sombra de 25 – 30 % durante el periodo de evaluación.

DDT	Promedio	Desviación estándar	Intervalo de confianza
630	13,10	2,81	1,74
658	14,30	3,56	2,21
686	14,50	2,92	1,81
714	15,40	2,95	1,83
742	16,30	3,33	2,07
770	17,50	3,41	2,11

Tabla 3. Número de ramas promedio de las plantas de café en el nivel de sombra de 45 – 50% durante el periodo de evaluación.

DDT	Promedio	Desviación estándar	Intervalo de confianza
630	12,80	1,62	1,00
658	13,20	2,62	1,62
686	13,70	2,58	1,60
714	14,20	2,10	1,30
742	14,90	2,13	1,32
770	15,10	2,23	1,38

Tabla 4. Número de ramas promedio de las plantas de café en el nivel de sombra de 70 – 75 % durante el periodo de evaluación.

DDT	Promedio	Desviación estándar	Intervalo de confianza
630	9,80	1,32	0,82
658	10,80	1,55	0,96
686	10,80	1,87	1,16
714	11,10	1,91	1,19
742	11,70	1,64	1,01
770	12,40	2,22	1,38

Tabla 5. Número de nudos /rama de las plantas de café en el nivel de sombra de 0 – 10 % durante el periodo de evaluación.

DDT	630	658	686	714	742	770
Promedio	3,68	3,90	4,47	4,42	4,98	4,99
Desviación estándar	2,14	2,23	2,27	2,56	2,55	2,85
Intervalo de confianza	0,96	0,95	0,97	1,05	1,07	1,12

Tabla 6. Número de nudos /rama de las plantas de café en el nivel de sombra de 25 – 30 % durante el periodo de evaluación.

DDT	630	658	686	714	742	770
Promedio	3,49	3,64	4,12	4,22	4,48	4,28
Desviación estándar	1,69	1,96	2,05	2,22	2,27	2,52
Intervalo de confianza	0,78	0,86	0,90	1,00	1,00	1,03

Tabla 7. Número de nudos /rama de las plantas de café en el nivel de sombra de 45 – 50 % durante el periodo de evaluación.

DDT	630	658	686	714	742	770
Promedio	3,32	3,45	3,66	3,91	4,20	4,43
Desviación estándar	1,99	1,99	2,13	2,36	2,26	2,38
Intervalo de confianza	0,98	0,92	0,98	1,09	1,04	1,10

Tabla 8. Número de nudos /rama de las plantas de cafeto en el nivel de sombra de 70 – 75 % durante el periodo de evaluación.

DDT	630	658	686	714	742	770
Promedio	2,70	3,15	3,18	3,24	3,50	3,50
Desviación estándar	1,50	1,77	1,81	1,84	1,91	1,99
Intervalo de confianza	0,85	0,96	0,95	0,96	1,00	0,97

Tabla 9. Longitud del entrenado de las plantas de cafeto en el nivel de sombra de 0 – 10% durante el periodo de evaluación.

DDT	630	658	686	714	742	770
Promedio	2,67	2,62	2,61	2,73	2,88	2,76
Desviación estándar	0,35	0,29	0,31	0,32	0,35	0,35
Intervalo de confianza	0,21	0,18	0,19	0,20	0,22	0,22

Tabla 10. Longitud del entrenado de las plantas de cafeto en el nivel de sombra de 25 – 30 % durante el periodo de evaluación.

DDT	630	658	686	714	742	770
Promedio	2,83	2,72	2,74	2,89	2,95	2,99
Desviación estándar	0,36	0,31	0,32	0,41	0,47	0,49
Intervalo de confianza	0,22	0,19	0,20	0,25	0,29	0,30

Tabla 11. Longitud del entrenado de las plantas de cafeto en el nivel de sombra de 45 – 50 % durante el periodo de evaluación.

DDT	630	658	686	714	742	770
Promedio	3,29	3,16	3,25	3,23	3,31	3,25
Desviación estándar	0,73	0,64	0,58	0,69	0,86	0,75
Intervalo de confianza	0,46	0,40	0,36	0,43	0,53	0,47

Tabla 12. Longitud del entrenudo de las plantas de café en el nivel de sombra de 70 – 75 % durante el periodo de evaluación.

DDT	630	658	686	714	742	770
Promedio	2,64	2,62	2,67	2,71	2,71	2,74
Desviación estándar	0,32	0,25	0,25	0,28	0,39	0,41
Intervalo de confianza	0,20	0,15	0,16	0,17	0,24	0,25

Tabla 13. Área foliar por cada nivel de sombra.

Nivel de sombra	Promedio	Desviación estándar	Intervalo de confianza
0 - 10 %	6006,55	682,59	772,41
25 - 30 %	6448,86	1518,21	1717,99
45 -50 %	6273,91	2201,49	2491,17
70 -75 %	4686,72	762,36	862,68

Anexo 2. Modelo de la hoja de registro de datos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
 FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Proyecto de tesis
 Respuesta fisiológica y crecimiento del café (*Coffea arabica* L.) Bajo cuatro condiciones de sombra en la hacienda cristal en el cantón Loja.

Porcentaje de sombra:

Fecha:.....

Número de planta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Variable Altura de planta (cm).										
Diámetro del tallo (mm).										
Número de ramas por planta.										

Anexo 3. Evidencias fotográficas del estudio realizado.



Figura 1. Identificación de los tratamientos en el lugar de estudio.



Figura 2. Toma de datos de altura.



Figura 3. Extracción de las plantas para realizar masa seca.



Figura 4. Muestras de las plantas para realizar masa seca.

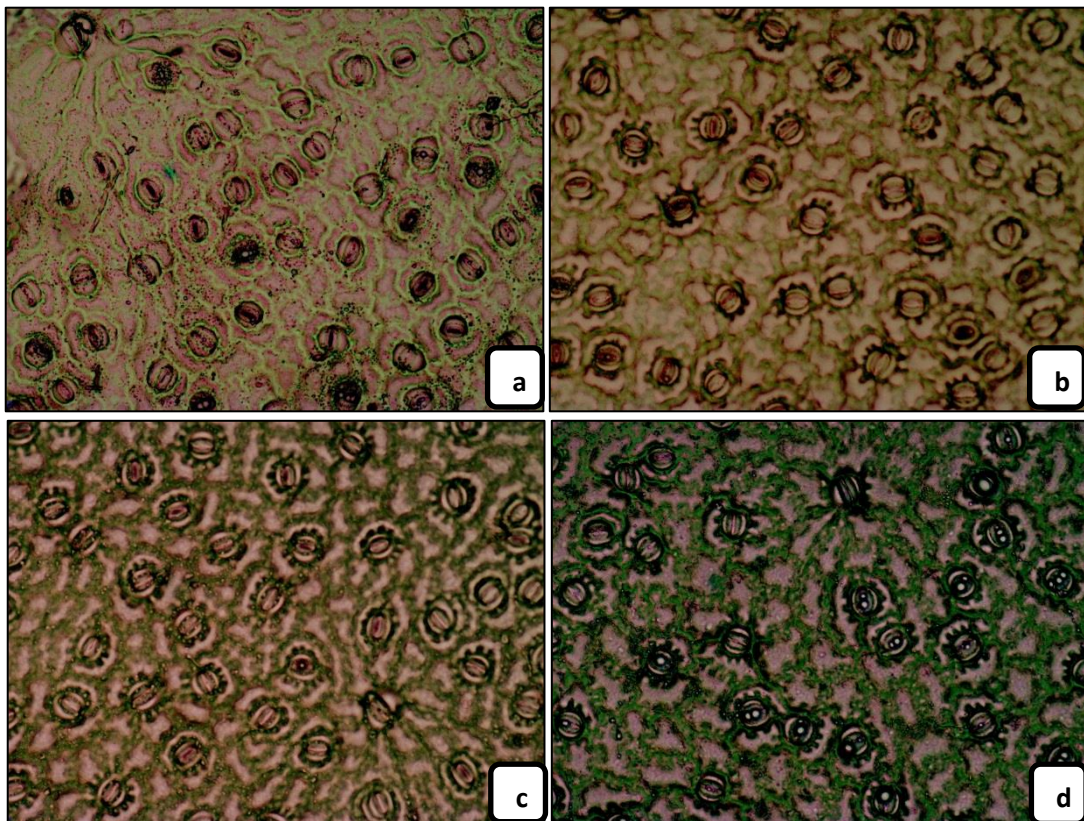


Figura 5. Densidad estomática por cada nivel de sombra. **a.** Sombra de 0 – 10 %.
b. Sombra de 25 – 30 %. **c.** Sombra de 45 – 50 %. **d.** Sombra de 70 – 75 %.

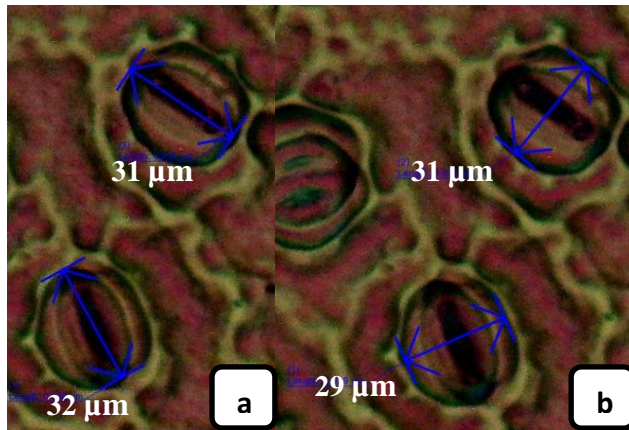


Figura 6. Medida de largo y ancho del estoma de hojas de cafeto en el nivel de sombra de 45 – 50 %. **a.** Largo de estoma. **b.** Ancho de estoma.