



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

Carrera de Ingeniería Agronómica.

Tema

Efecto de cuatro niveles de sombra en el desarrollo vegetativo del cafeto (*Coffea arabica L.*) en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal del cantón Loja.

Tesis previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónomo

:

Autora

Estefania Gabriela Chamba Quiñonez.

Director

Max Enrique Encalada Córdova *Ph D*

Loja-Ecuador

2018

CERTIFICACIÓN

Ing. Max Encalada Córdova *Ph D.*


DIRECTOR DE TESIS

Que la señorita Estefania Gabriela Chamba Quiñonez, egresada de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Loja, ejecutó el trabajo final de tesis: “Efecto de cuatro niveles de sombra en el desarrollo vegetativo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal del cantón Loja” bajo mi Dirección, el mismo que ha sido debidamente revisado y corregido cumpliendo con todas las normas reglamentarias vigentes y dentro del cronograma establecido.

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

Loja, 31 de julio del 2018

Atentamente,



Ing. 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: “Efecto de cuatro niveles de sombra en el desarrollo vegetativo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal del cantón Loja”, de autoría de la señorita Estefanía Gabriela Chamba Quiñonez, 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, 29 de agosto del 2018



Ing. Aurita Gonzaga Figueroa Mg. Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Bolivar Peña Merino Mg. Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL



Ing. Johnny Granja Travez Mg. Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo, Estefania Gabriela Chamba Quiñonez, 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.

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

Autora: Estefania Gabriela Chamba Quiñonez

Firma: 

Número de cédula: 1105673691

Fecha: Loja, 29 de agosto del 2018

CARTA DE AUTORIZACIÓN

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

Yo, Estefania Gabriela Chamba Quiñonez, declaro se autora de la tesis titulada “**Efecto de cuatro niveles de sombra en el desarrollo vegetativo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal del cantón Loja**”, como requisito para optar al grado de: INGENIERA AGRÓNOMA, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la reproducción 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 el contenido de este 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 07 días del mes de agosto del 2015, firma la autora autor.

Firma: _____

Autor: Estefania Gabriela Chamba Quiñonez

Número de Cédula: 1105673691

Dirección: Loja, La Argelia.

Correo electrónico: estefania.chamba@unl.edu.ec

Celular: 0986892819

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Max Encalada Córdova *Ph D.*

Tribunal de Grado:

PRESIDENTE: Ing. Aurita Gonzaga Figueroa *Mg. Sc.*

VOCAL: Ing. Bolivar Peña Merino *Mg. Sc.*

VOCAL: Ing. Johnny Granja Travez *Mg. Sc.*

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la fuerza, sabiduría y perseverancia para culminar una etapa más en mi vida.

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 Nacional de Loja, de manera muy especial por su valiosa colaboración en la asesoría, revisión y corrección al director de tesis Ing. Max Enrique Encalada Córdova *Ph D.* por brindarme su apoyo, comprensión, paciencia y consejos a lo largo del proceso de formación académica de igual manera a los miembros del tribunal que hicieron posible la presentación final de la tesis.

Al personal docente de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Loja por los conocimientos brindados durante el proceso académico

Al Doctor Gustavo Samaniego, propietario de la hacienda Cristal, por la colaboración y apertura para la realización de la investigación.

A mis padres Veronica Quiñónez y Alvaro Quezada por brindarme todo su amor, dedicación, apoyo incondicional y su motivación a seguir adelante.

A mis hermanos Paul Zuley Andres, Fernando, Fernanda, y Camila, a ti Emilia Jamilet Chamba Quiñónez por ser la fuente de inspiración.

A Christian Lalanguí por su compañía, tolerancia y apoyo en el trabajo de campo.

Estefania Gabriela Chamba Quiñónez

DEDICATORIA

Con inmensa gratitud dedico este trabajo de titulación a Dios por permitir que cada día me realice profesionalmente.

A mi madre Verónica Quiñonez por ser el pilar fundamental, por los ejemplos de perseverancia que la caracterizan, por el valor mostrado para salir adelante, por su amor, apoyo y motivación, todo es por ti y para ti, a mi padre Alvaro Quezada por sus buenos consejos y apoyo incondicional, a mí querida abuelita Rosa Quiñonez por todo el apoyo brindado.

A mis hermanos Paul Zuley Andres, Fernando, Fernanda, y Camila, a ti Emilia Jamilet Chamba Quiñonez por ser mi motor a seguir adelante por ser mi inspiración para finalizar esta etapa de mi vida quiero mostrarte que el trabajar duro y con perseverancia se logran las cosas.

A Christian Lalangui que estuvo motivándome hasta el final, para lograr esta meta, gracias por su apoyo y comprensión.

A mis familiares y amigos por su solidaridad y cariño.

Con amor

Estefania Gabriela Chamba Quiñonez

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	i
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	ii
AUTORÍA	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Generalidades del cafeto	4
2.1.1. Origen y distribución	4
2.2. El cafeto en Ecuador	4
2.2.1. Especies de cafeto	5
2.2.2. Descripción botánica	5
2.3. Requerimientos edafoclimáticas del cafeto	5
2.3.1. La temperatura	5
2.3.2. La humedad atmosférica	5
2.3.3. El viento	6
2.3.4. La precipitación	6
2.3.5. La luz	6
2.3.6. El suelo	6

2.4.	Sistemas de producción del cafeto	7
2.5.	Sistemas agroforestales cafeto	8
2.6.	Especies en sistemas agroforestales de cafeto	9
2.7.	Crecimiento y desarrollo del cafeto	9
2.8.	Fisiología del cafeto	11
2.9.	Efecto de la sombra en los procesos fisiológicos y de desarrollo del cafeto	13
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1.	Localización	16
3.2.	Materiales	17
3.2.1.	Instrumentos y materiales de campo	17
3.2.2.	Materiales de oficina	17
3.2.3.	Equipos y materiales de laboratorio	17
3.3.	Metodología general	17
3.3.1.	Metodología para el primer objetivo:	18
3.3.1.1.	Temperatura del aire	18
3.3.1.2.	Humedad relativa	18
3.3.2.	Metodología para el segundo objetivo:	18
3.3.2.1.	Densidad, índice estomático, largo y ancho de estomas	19
3.3.2.2.	Estado hídrico	19
3.3.3.	Metodología para el tercer objetivo:	20
3.3.3.1.	Altura de la planta	20
3.3.3.2.	Diámetro del tallo	20
3.3.3.3.	Número de Ramas	20
3.3.3.4.	Número total de hojas	20
3.3.3.5.	Nudos por rama	21
3.3.3.6.	Longitud de entrenudos	21

3.3.3.7. Superficie Foliar.....	21
3.3.3.8. Masa seca.....	21
3.3.3.9. Razón de área foliar (RAF).....	21
3.3.3.10. Área foliar específica (AFE).....	21
IV. RESULTADOS	22
4.1. Temperatura del aire.....	22
4.2. Humedad relativa	22
4.3. Densidad estomática	23
4.4. Índice estomático.....	24
4.5. Largo y ancho de los estomas.....	24
4.6. Estado hídrico	25
4.7. Altura de la planta	25
4.8. Diámetro del tallo.....	26
4.9. Numero de ramas.....	27
4.10. Número total de hojas.....	28
4.11. Nudos por rama	28
4.12. Longitud de entrenudos.....	29
4.13. Superficie foliar	29
4.14. Masa seca total	30
4.15. Masa seca aérea.....	30
4.16. Masa seca radical	31
4.17. Porcentaje de masa seca en relación con la masa seca aérea y radical.....	31
4.18. Razón de área foliar (RAF).....	32
4.19. Área foliar específica (AFE).....	32
V. DISCUSIÓN	33
VI. CONCLUSIONES	42
VII. RECOMENDACIONES	43

VIII.	BIBLIOGRAFÍA	44
IX.	ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Hacienda Cristal.....	16
Figura 2 Comportamiento de la temperatura del aire en los cuatro niveles de sombra en el cultivo de café en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018.....	22
Figura 3. Curvas de humedad relativa de los cuatro niveles de sombra en el cultivo de café en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018.	23
Figura 4. Dinámica de la altura de las plantas de café cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018.	26
Figura 5. Dinámica del diámetro del tallo de plantas de café cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018.	27
Figura 6. Número de ramas plagiotrópicas de las plantas de café cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018.	27
Figura 7. Número hojas de plantas de café cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018.	28
Figura 8. Número de nudos por rama de plantas de café cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018.	29
Figura 9. Longitud de entre nudos por rama de plantas de café cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018.	29
Figura 10. Aporte en porcentaje de masa seca aérea en relación a la masa seca total de las plantas de café cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018.	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Densidad estomática en hojas de plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.	24
Tabla 2. Índice estomático en hojas de plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.	24
Tabla 3. Largo y ancho de los estomas en hojas de plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.	24
Tabla 4. Estado hídrico de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.	25
Tabla 5. Superficie foliar de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.	30
Tabla 6. Masa seca total de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.	30
Tabla 7. Masa seca aérea de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.	30
Tabla 8. Masa seca radical de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.	31
Tabla 9. Razón del área foliar (RAF) de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.	32
Tabla 10. Área foliar específica (AFE) de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.	32

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Porcentajes de sombra en tratamientos.....	68
Anexo 2. Tablas de los análisis de varianza y test de Tukey de los diferentes indicadores evaluados.	68
Anexo 3. Evidencias fotográficas.....	85
Anexo 4. Hojas de registro de datos.....	89

Efecto de cuatro niveles de sombra en el desarrollo vegetativo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal del cantón Loja.

RESUMEN

El cultivo de cafeto es considerado una de las actividades de mayor importancia agrícola en la región Sur del Ecuador. En este estudio, se analiza el efecto que produce la sombra y el microclima de los sistemas agroforestales en los procesos fisiológicos y desarrollo vegetativo del cafeto *Coffea arabica* L. en la Hacienda Cristal en el cantón Loja. Los niveles de sombra evaluados fueron 0 %, 25 %, 50 % y 75 %; se utilizó un diseño de muestreo aleatorio por poblaciones, con evaluaciones durante seis meses; se evaluaron variables de microclima, fisiológicas y de crecimiento. Las variables climáticas presentaron diferencias significativas entre sí, siendo los tratamientos de 0 % y 25 % de sombra los que mantuvieron rangos óptimos de temperatura y humedad relativa 17,16 a 25,35 °C y 35,5 a 81,7 % respectivamente; las plantas con el tratamiento del 25 % de sombra alcanzaron mayor altura, superior número de ramas y hojas, mayor número de nudos por rama e incremento en la longitud de entrenudos. El tratamiento a pleno sol tuvo influencia en mayor diámetro del tallo, mayor índice estomático, mayor incremento de la densidad estomática. El 75 % de sombra tuvo influencia en el largo y ancho de los estomas que alcanzaron valores mayores, en cuanto al estado hídrico los tratamientos de sombra no se diferenciaron entre sí; para la superficie foliar y masa seca el tratamiento del 25 % registro los valores más altos; en cuanto a la razón de área foliar y área foliar específica el tratamiento del 75 % incidió en estas variables, presentando valores superiores. En general la sombra está estrechamente relacionada con el crecimiento vegetativo del cafeto como se lo demuestra en la presente investigación.

Palabras clave: Sombra, microclima, sistema, fisiológicos, desarrollo.

SUMMARY

The cultivation of coffee is considered one of the most important agricultural activities in the Southern region of Ecuador. In this study analysed the effect that produces the shade and microclimate of agroforestry systems in the physiological processes and vegetative development of coffee tree (*Coffea arabica* L.) at the Cristal farm in the Loja canton. The shade levels evaluated were 0 %, 25 %, 50 % and 75 %; was used a random sampling design by populations, with evaluations for six months; variables were evaluated microclimate, physiological and growth. The climatic variables presented significant differences between them, being the treatments of 0% and 25% of shade those that maintained optimal ranges of temperature and relative humidity 17,16 to 25,35 ° C and 35,5 to 81,7% respectively; the plants with the treatment of 25 % of shade reached greater height, higher number of branches and leaves, greater number of knots per branch and increase in the length of internodes. The treatment in full sun had influence in bigger diameter of the stem, higher stomatal index, greater increase of stomatal density. 75% of the shade had an influence on the length and width of the stomata, reaching higher values. Regarding the hydric state, the shade treatments did not differ from each other; for the foliar surface and dry mass the treatment of 25% recorded the highest values; Regarding the ratio of leaf area and foliar area, the 75% treatment affected these variables, presenting higher values. In general, shade is closely related to the vegetative growth of the coffee tree, as shown in the present investigation.

Keywords: Shadow, microclimate, system, physiological, development.

I. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los principales productos agrícolas que se consumen a nivel mundial. En el Ecuador el cafeto *Coffea arabica* L. se lo encuentra cultivado en 23 provincias del país, ubicándose entre las 10 especies con mayor superficie cultivada, es una de las principales actividades agrícolas que se realiza, debido a su importancia económica y social (COFENAC, 2013). La superficie cafetalera en el Ecuador se mantiene en 199 215 ha, distribuida en 136 385 ha para cultivo de cafeto arábigo y 62 830 ha para el cultivo de robusta (Banco Central del Ecuador, 2014).

En la caficultura ecuatoriana prevalece el sistema de manejo tradicional del cultivo, el 85 % de los cafetales se manejan con bajo uso de insumos y limitada mano de obra, lo que lo vuelve ineficiente, obteniendo rendimientos muy bajos (0,25 t de café oro/hectárea). Un 15 % de la superficie cafetalera ecuatoriana se estima que está manejada de manera tecnificada y parcialmente tecnificada, en los cuales se obtienen rendimientos promedios de aproximadamente 0,75 t de café oro/hectárea (Ponce *et al.*, 2016). Las provincias del El Oro, Loja y Manabí, representan el 80 % del área cultivada de cafetales arábigos y el 20 % restante se distribuye en otras 21 provincias productoras (Duicela *et al.*, 2017).

Los sistemas agroforestales cafetaleros en el Ecuador alcanzan crecimientos sostenidos en el volumen y calidad de la producción, garantizando la integración y armonía entre los subsistemas naturales, agrícola, silvícola y pecuario, aprovechando así los recursos ambientales, como el desarrollo y productividad tanto de los árboles como de los cultivos asociados (Ponce *et al.*, 2018). La sombra bien regulada puede reducir la incidencia de plagas y enfermedades y contribuir a una larga vida útil de la plantación de café. Además, ofrece una amplia gama de servicios ambientales como son: la captura de agua y carbono, la conservación de suelo, el incremento de materia orgánica y fauna del suelo y la

protección del ecosistema (Isaza y Cornejo, 2015).

En la provincia de Loja se destaca la producción de café debido a la ubicación geográfica y a las condiciones edafoclimáticas, las cuales brindan condiciones óptimas para la producción de café de calidad; los principales cantones productores de café de la provincia son Puyango, Chaguarpamba, Olmedo, Quilanga, Espíndola (Pro Ecuador, 2013).

Sin embargo, la baja productividad siempre ha sido un problema a enfrentar en la caficultura lojana, siendo el rendimiento productivo en el cantón Loja de 120 kg ha^{-1} , inferior al de otras provincias más productivas como Zamora Chinchipe 280 kg ha^{-1} (Alarcó, 2011). Estos resultados se producen por la existencia de plantaciones viejas e improductivas, teniendo en cuenta que el cafeto después de 15 a 20 años empieza a reducir el rendimiento (Duicela, 2016).

El efecto de la sombra sobre el desarrollo vegetativo y el potencial productivo, está influenciado por factores microclimáticos, fisiológicos y de crecimiento (DaMatta y Rodríguez, 2007). Según Lima *et al.* (2017) la eficiencia de la sombra es esencial para el crecimiento y desarrollo vegetativo del cafeto debido a que están directamente relacionada con la fotosíntesis, los procesos biológicos, bioquímicos y morfológicos.

El factor sombra en los sistemas agroforestales-café no se ha manejado de manera técnica; de hecho, esta temática no ha sido abordada con anterioridad. Según Machado y Ríos (2016) los sistemas agroforestales-café (SAF-Café) son una alternativa que contribuye a disminuir la degradación de los recursos agua, suelo y biodiversidad.

Así mismo Machado *et al.* (2015) mencionan que las plantaciones de café bajo sombra son importantes en la conservación de la diversidad biológica, debido a que ciertos sistemas productivos conservan en gran medida la estructura y funcionamiento de los

bosques nativos; es decir, desempeñan un importante papel como refugio para la vida silvestre, propician la infiltración de agua y conservación del suelo, favorecen la captura de carbono y reciclaje de nutrientes. El manejo adecuado de la sombra amortigua los cambios bruscos en el microclima, el control de plagas y enfermedades, disminuyendo el uso de agroquímicos (Medina *et al.*, 2016).

Con estos antecedentes se propuso el estudio de cuatro niveles de sombra en el desarrollo vegetativo del cafeto:

Objetivo general.

Evaluar el efecto que produce la sombra y el microclima de los sistemas agroforestales en los procesos fisiológicos y en el desarrollo vegetativo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en la Hacienda Cristal en el cantón Loja.

Objetivos específicos.

Caracterizar el microclima en sistemas agroforestales con base en cafeto con cuatro niveles de sombra en la Hacienda Cristal.

Evaluar el comportamiento fisiológico del cafeto expuesto a cuatro niveles de sombra en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal.

Evaluar el desarrollo vegetativo del cafeto expuesto a cuatro niveles de sombra en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del cafeto

2.1.1. Origen y distribución

El cafeto *Coffea arabica* L. es originario de Etiopía (Tadesse *et al.*, 2013), fue descrito por primera vez en 1753 por Linneo, se lo encuentra de forma silvestre entre 400 y 2 000 m s.n.m. (Criollo *et al.*, 2016). Este cultivo se encuentra distribuido en América, África, Asia, Oceanía y Europa (Gil y Díaz, 2016). Datos mencionados por Farfán (2007a) indican que existen alrededor de 24 millones de hectáreas a nivel mundial, distribuidas de la siguiente manera: 41,8 % en Oceanía, 24,2 % en América Latina, 23,1 % en Europa, 5,9 % en Norte América, 3,7 % en Asia y 1,3 % en África.

2.2. El cafeto en Ecuador

El cafeto en Ecuador es un cultivo de gran importancia económica, cuenta con 199 215 ha cultivadas, el 63 % de esta área corresponde a la especie *C. arabica* y el 37 % a *C. canephora*, se encuentra distribuido en 23 de las 24 provincias del país, su producción se concentra en las provincias de Manabí, Loja y en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes (Santistevan *et al.*, 2014).

De acuerdo al análisis realizado por Monteros *et al.* (2017), indica que la especie de café Arábigo representó el 65 % de la producción nacional de café, con un rendimiento de 0.23 t/ha⁻¹. El café Robusta constituyó el 35 % del total producido a nivel nacional, con una productividad de 0.49 t/ha⁻¹.

Jiménez y Massa (2015) mencionan que debido a las diversas características edafoclimáticas y ubicación geográfica, el café de Ecuador es uno de los mejores producidos en América del Sur y de los más demandados en Europa y Estados Unidos.

Como se cita en Guachisaca (2015), entre los principales cantones productores de café de

la provincia de Loja están Puyango con un 40 % de la producción provincial, Chaguarpamba 15 %, Olmedo 15 %, Quilanga 7 %, Espíndola 7 %, mientras que el resto de cantones representan el 17 % de la producción de Café.

2.2.1. Especies de cafeto

Dentro del género *Coffea* existen más de treinta especies; sin embargo, las dos especies más importantes desde el punto de vista económico son *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner conocidas como café arabiga y robusta respectivamente (Fisac, 2014). *C. arabica* representa aproximadamente el 70 % de la producción mundial (Poltronieri y Rossi, 2016).

2.2.2. Descripción botánica

Los cafetos son arbustos de hasta 5 m de altura, de hojas opuestas, ovaladas, de color verde oscuro brillante, sus flores son blancas, hermafroditas, dispuestas en racimos, el fruto es una drupa oblonga, esférica con dos semillas pergaminosas (Gómez, 2010).

2.3. Requerimientos edafoclimáticas del cafeto

2.3.1. La temperatura

El cafeto puede soportar fluctuaciones de temperatura, siempre que no sean demasiado extremas (Jaramillo, 2005). La temperatura promedio para la producción de café oscila entre 15 y 24 ° C, aunque puede tolerar temperaturas muy por debajo o por encima de estos límites durante períodos cortos, el crecimiento y la fructificación se pueden ver afectados fácilmente por problemas fisiológicos debido al descenso y ascenso de la temperatura, particularmente con altitudes elevadas (Jurgen y Janssens, 2010).

2.3.2. La humedad atmosférica

En el cafeto se considera como óptimo las humedades entre el 70 % y 85 %, aunque prefiere una humedad relativa baja para un mejor desarrollo del cultivo (Alarcón, 2011).

2.3.3. El viento

El viento influye en las plantas de diversas maneras, sus efectos sobre el crecimiento y el desarrollo de la planta varían según su duración y velocidad, especie, cultivar y características de las hojas, o por las interacciones entre la planta y la atmósfera (Kin y Ledent, 2003). Según Christiansen (2004), la velocidad del viento para no producir daños físicos y fisiológicos al cafeto es de 20 a 30 km/h.

2.3.4. La precipitación

El café se cultiva en lugares con una precipitación que varía desde los 750 mm anuales hasta 3000 mm (Rivera *et al.*, 2013), según Camargo (2010), el proceso de la fotosíntesis se limita cuando se produce estrés hídrico, debido al cierre de estomas y a la reducción de actividades fisiológicas de la planta. Montes *et al.* (2012) señala que la precipitación mensual óptima es de 120 mm.

2.3.5. La luz

La radiación solar es el principal factor que determina el microclima del cultivo, su energía condiciona la fotosíntesis, temperatura del aire, del suelo y la evapotranspiración, de tal manera que la intensidad de la radiación, el grado de interceptación y la eficiencia en el uso de la energía radiante son determinantes en la tasa de crecimiento de las plantas las cuales se verán afectados por la calidad, la intensidad y la duración de luz dependiendo de la variedad, especie o cultivar. (Jaramillo *et al.*, 2006).

2.3.6. El suelo

El café puede cultivarse en una amplia variedad de tipos de suelo, crece mejor en suelos fértiles bien aireados, permeables y profundos; la profundidad de al menos 150 cm debido a su abundante sistema radicular tolera suelos pobres, prefiere un pH del suelo entre 5 a 6 (Jurgen y Janssens, 2010).

2.4. Sistemas de producción del cafeto

Rojas *et al.* (2012) describe a los sistemas de producción de café en cinco tipos: rústico, policultivo tradicional, policultivo comercial, sombrío de una sola especie y monocultivo sin sombra. El sistema rústico de café utiliza el dosel de la selva tropical, el cual conserva un número mayor de especies nativas; la principal característica es el uso bajo o nulo de agroquímicos y labores agrícolas mínimas (Villavicencio, 2013).

Los sistemas policultivo tradicional de café consisten en tener un número menor de especies del dosel, las cuales, cumplen la función de proporcionar sombra para el café; las especies pueden ser comercializadas como combustible o madera (Farfán, 2007b).

Estos sistemas también permiten adaptarse al cambio climático, al regular el microclima y amortiguar los eventos climáticos extremos (Andrade *et al.*, 2013). Estudios realizados por Bandeira *et al.* (2005), Soto *et al.* (2007) y Castillo *et al.* (2014) mencionan que los sistemas rústicos y policultivos tradicionales mantienen altos niveles de biodiversidad; en ocasiones se observa entre 50-80 especies de árboles originales, ya que están estructurados en al menos cuatro estratos.

El sistema de policultivo comercial implica la eliminación del dosel nativo y la introducción de un conjunto de especies arbóreas apropiadas para el cultivo de café, la cobertura arbórea comprende especies que proporcionan sombra y son útiles para la comercialización, este sistema utiliza insumos químicos de manera moderada (Guhl, 2009). Los sistemas de policultivo tradicionales y comerciales son utilizados por pequeños y medianos productores y representan entre el 50 y 60 % del área de cultivo de café en varios países de América Latina (Muschler *et al.*, 2006).

Según Salinas y Ávila (2016) mencionan varias especies de valor económico encontradas en un sistema de policultivo comercial entre algunas se mencionan: el cedro rojo (*Cedrela*

odorata), naranja (*Citrus sinensis*), limón (*Citrus limon*), plátano (*Musa paradisiaca*) y palma de camedor (*Chamaedora elegans*).

De acuerdo con Guhl, (2008) los sistemas más intensivos están usualmente asociados a mayores densidades de siembra, cafetales de menor edad y un mayor uso de agroquímicos, lo cual garantiza una mayor productividad por hectárea. Con el sombrío de una sola especie, se utilizan casi exclusivamente árboles de especies leguminosas (Toledo y Moguel, 2013). Sin embargo, el sistema de monocultivo sin sombra se caracteriza por cafetales que se cultivan como monocultivo y a plena exposición solar; este sistema de monocultivo requiere por lo general gran cantidad de insumos con el fin de maximizar la producción, lo que además se asocia con la degradación del suelo y la polución ambiental (DaMatta y Rodríguez 2007).

2.5. Sistemas agroforestales cafeto

Los Sistemas Agroforestales (SAF) se consideran una práctica de uso del suelo donde las especies leñosas perennes interactúan biológicamente con cultivos, con el propósito fundamental de diversificar y optimizar la productividad, teniendo en cuenta el principio de sostenibilidad (Garrett, 2009); según Turbay *et al.* (2016) se ha considerado que la sombra para el cafeto genera beneficios ecológicos, tales como la conservación de biodiversidad, mitigación del cambio climático y regulación microclimática

El estudio de los sistemas agroforestales de café (SAF-Café) ha ganado importancia en los últimos años ya que estos son una alternativa que contribuye a disminuir la degradación del suelo, agua y biodiversidad (Manson *et al.*, 2008). Investigaciones realizadas por Casanova *et al.* (2016) en los sistemas agroforestales analizan la estructura de los SAF y describen los componentes del sistema y como estos contribuyen a la conservación de la biodiversidad, aumentando la riqueza, abundancia y diversidad de especies, apoyan a la conservación y disponibilidad del agua mediante la reducción de

escurrimiento y contaminación.

En el año 2014, el costo de establecimiento de una hectárea de café arábigo fue de USD 3,557.08. Con respecto a la estructura de costos, el 33.17 % se destina a la siembra la cual incluye la compra de plantas de café. El 25.77 % se destina a la fertilización. El 18.19 % es destinado a la preparación del terreno. El 22.87 % restante es destinado a las labores culturales y al control fitosanitario. La cosecha se da a partir del tercer año, esta actividad representa el 38.48% del costo total de producción (MAG, 2014).

2.6. Especies en sistemas agroforestales de cafeto

Los sistemas agroforestales de café se caracterizan por su complejidad estructural el cual establece diversidad de especies los cuales constan de especies como *Mangifera indica*, *Blighia sapida*, *Musa sp*, *Syzygium samarangense*, *Persea Americana* y *Citrus sp* (Davis *et al.*, 2017). En el estudio realizado por García *et al.* (2015) en el cual analizó la estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café (SAF-Café) se encontró con mayor diversidad *Cordia alliodora Ruiz y Pav ex Cham*, resultando ser la especie más importante estructuralmente en los SAF-café. Sin embargo, Hernández *et al.* (2012) mencionan la diversificación productiva café–plantas ornamentales; teniendo en cuenta que las especies ornamentales más representativas en la diversificación productiva fueron las gardenias y las coníferas.

Farfán y Urrego (2004) mencionan como especies deseables para el sombrío de café al Nogal cafetero (*Cordia alliodora*) especie de amplio uso y aceptación como sombrío en café, Eucalipto (*Eucalyptus grandis*) y Pino (*Pinus oocarpa*), dos especies introducidas y de amplio uso en programas de reforestación comercial.

2.7. Crecimiento y desarrollo del cafeto

Según Arcila (2007) las etapas de desarrollo del cafeto constan de tres fases: desarrollo

vegetativo, fase reproductiva y fase de senescencia.

Las investigaciones se centran en la observación de cambio en la morfología de la planta, con aparición, transformación o desaparición relativamente rápida de determinados órganos o distintos acontecimientos, definiéndose un estado fenológico o fase de desarrollo de las plantas (Coa *et al.*, 2015).

El crecimiento vegetativo del café es complejo, puede ser atribuida a diversos factores climáticos como la temperatura y humedad ambiental, intensidad lumínica y viento, los cuales al incrementar o disminuir, aceleran los procesos de evaporación y transpiración (Cisneros *et al.*, 2015).

Se considera como fase vegetativa el tiempo transcurrido desde la germinación hasta la primera floración, en el caso de especies perennes y arbustivas como el cafeto, la definición de la fase vegetativa es bastante compleja, debido a que el crecimiento vegetativo, por ejemplo, la formación de nudos y hojas y la generación de nuevas raíces, ocurre durante toda la vida de la planta y en la mayor parte del tiempo está intercalado con el crecimiento reproductivo (Arcila, 2007).

La fase de desarrollo reproductivo del cafeto, comienza con la aparición de las primeras flores, el período de iniciación de esta fase puede estar influenciado por la duración del día (fotoperíodo), la época de siembra, la temperatura y la disponibilidad hídrica. Se considera como primera floración, el momento en que por lo menos el 50 % de las plantas hayan florecido (Arcila, 2007).

Se considera que el cafeto alcanza su desarrollo y productividad máxima entre los 6 y los 8 años de edad, a partir de los cuales la planta se deteriora paulatinamente y su productividad disminuye a niveles de poca rentabilidad (fase de senescencia), el ritmo de envejecimiento depende de la región donde se establece el cultivo, la densidad de siembra,

la intensidad de la producción, la disponibilidad de nutrientes, la presencia de plagas y enfermedades o del estrés ambiental, entre otros (Arcila, 2007).

El análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa para comprender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas, este crecimiento puede ser cuantificado mediante el empleo de un conjunto de índices basados en modelos definidos mediante expresiones o funciones matemáticas puede ser analizado en términos de un incremento del peso seco total de la planta y su distribución entre sus órganos tanto en la parte aérea como en la radical (Rojas *et al.*, 2012).

El análisis de crecimiento ha sido ampliamente usado para estudiar los factores que influyen en el rendimiento y desarrollo de las plantas como la acumulación de fotoasimilados netos en el tiempo este usa medidas directas, como peso seco, área foliar total y tiempo. Las medidas derivadas son calculadas a partir de las medidas directas y corresponden a la tasa relativa de crecimiento (TCR), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), relación de área foliar (RAF), tasa de asimilación neta (TAN), área foliar específica (AFE) y índice de área foliar (IAF) (Gaitán *et al.*, 2013).

2.8. Fisiología del cafeto

La fotosíntesis es el principal proceso fisiológico que impulsa el crecimiento de las plantas e influye en varios procesos de la planta (Yin y Struik, 2009). Se trata de un proceso fundamental para la vida sobre la tierra y tiene un profundo impacto sobre la atmósfera, los organismos con capacidad fotosintética convierten en carbohidratos más del 10 % del dióxido de carbono atmosférico, este proceso es esencial para entender las relaciones entre los seres vivos y la atmósfera (Pérez y Carril, 2009).

Los factores ambientales más importantes del cafeto son la radiación solar, la

temperatura, la lluvia, la altitud y el fotoperiodo; se considera que la temperatura y la lluvia son los factores que más afectan en el cultivo del café (Villers *et al.*, 2009). La radiación solar, es uno de los principales factores ambientales que sirve como fuente de energía para procesos físicos y biológicos, de ella dependen los vegetales para elaborar carbohidratos mediante la fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2002).

El cultivo de café posee una alta adaptabilidad a diferentes niveles de irradiación, la luz proporciona la energía necesaria para la fotosíntesis, la calidad y la cantidad de luz solar afecta el crecimiento y el desarrollo de las plantas, el funcionamiento de los estomas y las respuestas fisiológicas; en el café, la disponibilidad de radiación afecta de forma significativa la producción, especialmente si el sistema de producción es bajo sombra (Farfán y Jaramillo, 2009). Según Dutta y Jatoth (2013) han mostrado la influencia de la luz, como factor para controlar morfogénesis y crecimiento en plantas.

El efecto de la calidad e intensidad lumínica se combina con el componente de sombra en la oferta ambiental y produce un espectro de radiación singular en el entorno de las plantas (Nguy *et al.*, 2015). La eficiencia de la luz, cuya energía es almacenada en los fotosintatos luego de un complejo proceso, es una medida muy útil para determinar la productividad de las plantas, la incorporación de la calidad de la luz a las mediciones de su eficiencia ha demostrado que mejora la agudeza de los modelos con los que se pretende expresar o predecir la productividad de los ecosistemas (Suyker y Verma, 2012).

La radiación al interactuar con otros factores como la temperatura y precipitación, influye en el crecimiento de los cultivos, los efectos de la radiación solar son los fotoenergéticos, relacionados con el proceso fotosintético y fotoestimulantes, con el crecimiento y los movimientos násticos (Carrasco, 2009). La temperatura es uno de los factores ambientales más críticos y ejerce una gran influencia en la fisiología de las plantas, controlando los niveles de las reacciones metabólicas dentro de las células. Todas y cada

una de las funciones fisiológicas y las reacciones químicas presentan una temperatura óptima y cualquier alteración puede disminuir su eficiencia (Rosabal, *et al.*, 2014); temperaturas menores a 4 °C ocasionan el amarillamiento de las hojas y muerte de tejidos y brotes, mientras que temperaturas mayores a 30 °C reducen la fotosíntesis y provocan abortación de flores (Pérez y Geissert, 2006).

Otro factor climático es el balance hídrico, el cual se basa en el equilibrio que existe entre la cantidad de agua que ingresa por absorción y la que sale por transpiración; cuando la transpiración es mayor que la absorción, ocurre déficit hídrico y el balance es desfavorable para la planta (Soto *et al.*, 2001). La intensidad y duración del estrés hídrico influye en los efectos y la capacidad de las plantas para resistirlo; entre los principales efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento está la reducción en la altura, tallo, raíces, área foliar, peso foliar específico y biomasa de la planta (Luna *et al.*, 2012).

La investigación realizada por López (2004) reporta que la radiación y la temperatura son variables climáticas que influyen sobre la fijación del CO₂ atmosférico. En especies con metabolismo C₃, la radiación solar alta afecta la eficiencia fotosintética, en tal sentido de que su incremento determina saturación e inhibición de los fotosistemas que transforman la energía lumínica en energía química requerida para reducir el dióxido de carbono (Webster *et al.*, 2016). Igualmente, en estas especies un aumento de la temperatura superior a 28 °C, inhibe la actividad enzimática de Rubisco, lo que repercutirá negativamente en la tasa de asimilación de CO₂, además, la alta temperatura favorece un mayor DPV, el cual afectará el potencial hídrico foliar y la apertura de los estomas limitando la transpiración (Chaves y Gutiérrez 2017).

2.9. Efecto de la sombra en los procesos fisiológicos y de desarrollo del café

Desde hace décadas se sabe que el aparato fotosintético del café está adaptado a condiciones sombreadas (Pompelli *et al.*, 2010), debido a que es un cultivo que

evolució del sotobosque, razón por la cual las primeras plantaciones se establecieron bajo sombra, con el fin de simular el hábitat natural del cafeto dado que esta especie posee capacidades fotosintéticas adaptadas a ambientes sombreados (Mariño, 2014) Según sea la cantidad y calidad de la sombra, serán las condiciones que se producen en el microclima de la plantación, con influencia en las características químicas y físicas de los suelos y papel fundamental en los procesos fisiológicos de la planta como la fotosíntesis, crecimiento, floración y fructificación (Ramírez, 2017).

Los principales efectos de los árboles de sombra sobre la fisiología de los cultivos están asociados con la disminución de las velocidades del viento y las fluctuaciones de temperatura, aumento de la humedad relativa del aire y cambios en la rugosidad aerodinámica del área cultivada (DaMatta y Cochicho, 2006). Según Aranda *et al.*, (2005) la luz y el agua son dos de los factores ambientales importantes que afectan el crecimiento de las plantas y el rendimiento, la respuesta funcional de las plantas a la combinación de sombra y la sequía implica cambios bioquímicos, fisiológicos y estructurales cambios en los niveles de la hoja y de toda la planta.

Cavatte *et al.*, (2012) evaluaron características morfológicas y fisiológicas en plantas de café y observaron la interacción entre luz y agua sobre la fisiología del cultivo, encontrando mayores valores de fotosíntesis en las plantas cultivadas al sol, en comparación con plantas en sombra. Sin embargo, al disminuir las tasas de fotosíntesis se ha observado una disminución de la transpiración (Orozco *et al.*, 2012). en ese contexto, el sombrero podría minimizar los impactos negativos del déficit hídrico sobre la fotosíntesis debido a la menor incidencia de radiación solar entre la hoja y la atmósfera, hojas que reciben la luz intermitente poseen menor tasa de fotosíntesis que las hojas que reciben el sol directo (DaMatta, 2004).

Sin embargo, estudio realizado por Chaves *et al.* (2008) mencionan que las hojas de café

están sujetas a foto-inhibición y a fotorespiración en condiciones de alta radiación ($2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), que no permiten fotosíntesis e incluso pueden provocar daños permanentes en el aparato fotosintético. Según DaMatta (2004) la tasa de fotosíntesis de las hojas de café es relativamente baja (máximo alrededor de $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), la principal limitación a la fotosíntesis parece estar relacionada con una baja conductancia estomática de las hojas.

De igual manera estudios realizados por Franck y Vaast (2009), mencionan que las radiaciones saturantes varían entre 300 y 700 $\mu\text{mol fotonos m}^{-1}$ según las condiciones climáticas en particular, la resultante de estas limitaciones a la fotosíntesis es que se ha encontrado casi siempre, que la fotosíntesis del cafeto no se reduce en condiciones de sombra inferiores a 55 % (Franck y Vaast, 2009). Sin embargo, se observa que el efecto de la sombra en las tasas fotosintéticas de las plantas de café han mostrado resultados contradictorios (Gomes *et al.* 2008), autores como Kumar y Tieszen (1980) encontraron que las plantas de café bajo sombreado presentan mayores tasas de fotosíntesis y verificaron que la tasa fotosintética de plantas sombreadas es casi el doble que las de plantas bajo pleno sol.

Entre los fenómenos de mayor interés, está el crecimiento y desarrollo; este comportamiento fisiológico está genéticamente controlado y algunas veces ocurre como respuesta a las variaciones en condiciones ambientales (Orozco *et al.*, 2012). Esto implica, además, que la condición apropiada para una fase de desarrollo, por ejemplo, el crecimiento de las hojas, puede ser desfavorable para otra fase, como la floración, y que por consiguiente los requerimientos de manejo sean diferentes (Arcila, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

El estudio se realizó en La Hacienda Cristal situada en el cantón Loja, parroquia Malacatos, en el sitio Pueblo Nuevo sector Cristal; de acuerdo con la clasificación de Holdridge (1987) corresponde a una zona de vida Matorral Seco Tropical (MST). Según Köppen, (1936) posee un clima tropical húmedo, cuenta con temperaturas promedio anual de 18 °C, con precipitaciones anuales de 1200 mm.

Geográficamente se ubica a una latitud de 9 544 308 N y longitud de 699 922 E, a 2 100 m s.n.m. 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.

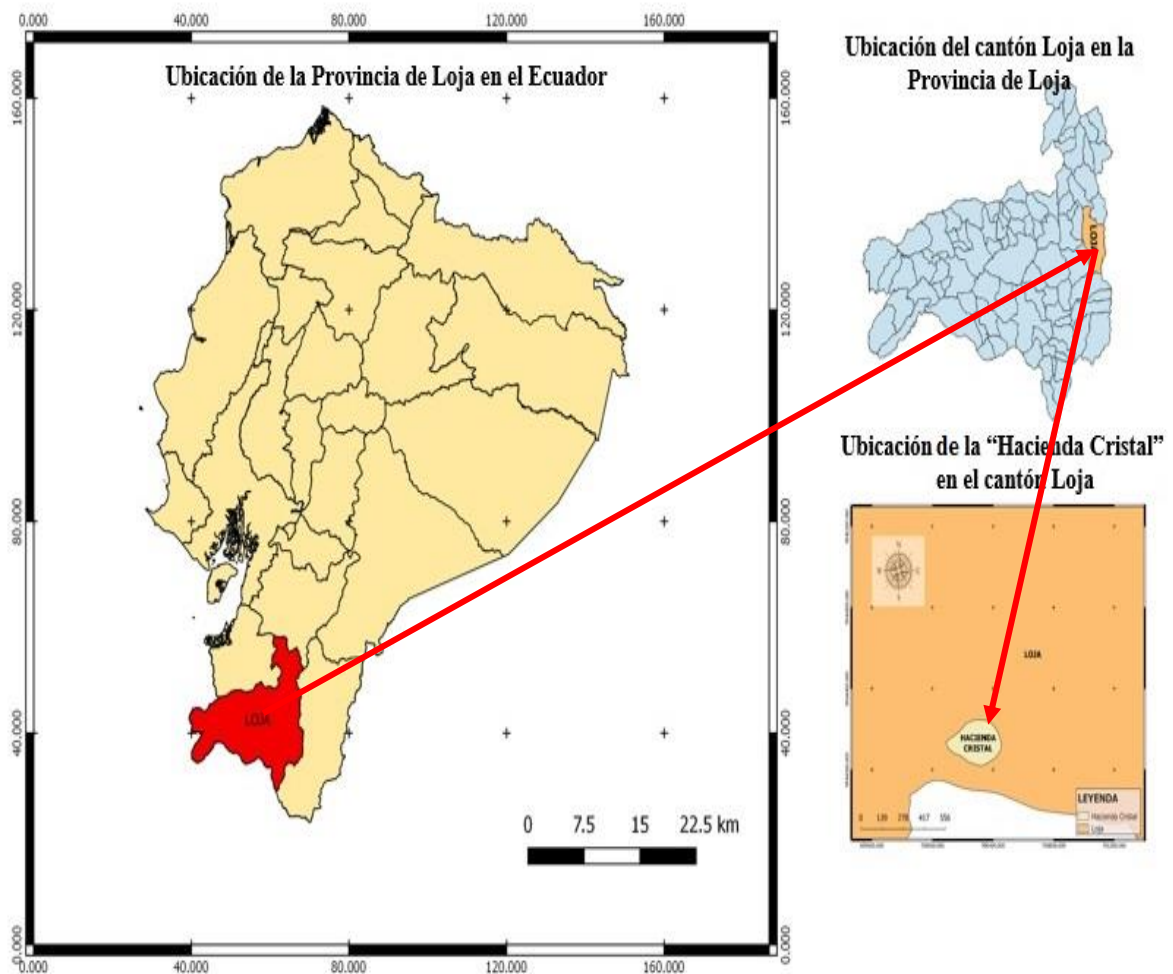


Figura 1. Ubicación de la Hacienda Cristal

3.2. Materiales

3.2.1. Instrumentos y materiales de campo

Se utilizó flexómetro, calibrador digital, termohigrómetro, anemómetro, luxómetro digital, GPS y cuaderno de campo.

3.2.2. Materiales de oficina

Como materiales se utilizaron cámara fotográfica, computadora, proyector, impresora, hojas de papel boom.

3.2.3. Equipos y materiales de laboratorio

Para el procesamiento de muestras se utilizó estufa, balanza analítica, microscopio óptico con cámara incorporada, agua destilada y vasos desechables de 1 litro.

3.3. Metodología general

Para el estudio se utilizaron plantas de cafeto de 180 días después del trasplante (DDT), las evaluaciones se realizaron durante seis meses, cada 15 días para las variables de luz, temperatura, humedad, altura de planta y diámetro del tallo; cada 30 días para las variables número de ramas, número de hojas, número y longitud de entrenudos por rama, al final de las evaluaciones se midió masa seca, estado hídrico, densidad estomática e índice estomático.

Se aplicó un muestro poblacional aleatorio, considerando que cada nivel de sombra fue una población. Cada población estuvo conformada por 150 plantas, teniendo un total de 600 en todo el estudio. Los niveles de sombra que se evaluaron fueron: 0 % (pleno sol), 25 %, 50 % y 75 %. Estos niveles se lograron mediante la densidad existente de las especies forestales en el sistema y podas de los mismos. Para constatar y regular la sombra se utilizó dos luxómetros digitales marca SPER SCIENTIFIC, modelo 840022, siendo la unidad de medida en luxes, los cuales fueron colocados de manera simultánea a pleno sol

y dentro del sistema en la copa de las plantas de cafeto los cuales proporcionaron la intensidad de la luz y por comparaciones con el dato de pleno sol se estableció el porcentaje de sombra (Anexo 1). Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y regresiones, se utilizó el test de Tukey para la comparación de medias (Tukey, 1958). Los datos fueron procesados con el programa estadístico SPSS.

Las labores culturales como controles sanitarios, fertilización, riego, y deshierbas se aplicaron de igual manera para todos los tratamientos, de acuerdo con las normas técnicas recomendadas por Andrade (2013).

3.3.1. Metodología para el primer objetivo:

“Caracterizar el microclima en sistemas agroforestales con base en cafeto con cuatro niveles de sombra en la Hacienda Cristal”

Para cumplir con este objetivo, en cada tratamiento se tomaron 10 datos en diferentes sitios bajo el tratamiento, desde las 9 am hasta las 4 pm, se evaluaron cada 15 días los siguientes indicadores: temperatura del aire y humedad relativa.

3.3.1.1. Temperatura del aire

Este indicador se midió con la utilización de dos termohigrómetros digitales marca TERMOMETER, modelo TA318, los cuales se colocaron en 10 sitios el primero dentro del sistema y el segundo fuera del mismo, los datos fueron registrados en °C.

3.3.1.2. Humedad relativa

Este dato se tomó de forma simultánea con la temperatura utilizando el mismo instrumento, los datos fueron registrados en porcentaje.

3.3.2. Metodología para el segundo objetivo:

“Evaluar el comportamiento fisiológico del cafeto expuesto a cuatro niveles de sombra en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal”

Para cumplir este objetivo se realizó las mediciones de los siguientes indicadores: densidad e índice estomático, largo y ancho de los estomas y, estado hídrico.

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

La muestra se tomó 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 (6 hojas/planta, obteniendo 30 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 mediante el uso del programa Anfinity Analyze se fotografiaron, midieron y contaron los estomas considerando un estoma cuando las dos células oclusivas estuvieron presentes. Para la densidad e índice estomático se procedió a marcar cuadrantes de 100 μm^2 , expresando así el número de estomas por mm^2 . De igual manera se procedió a realizar el índice estomático aplicando la ecuación (Reyes *et al.*, 2015):

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

Así mismo, el largo y ancho de los estomas se midió en micras (μm) mediante el uso del programa antes mencionado.

3.3.2.2. Estado hídrico

El estado hídrico de las plantas se determinó según Sánchez y Aguirreolea (2008) a través del contenido hídrico relativo de las hojas, para lo cual se procedió a cortar la muestra (40 hojas/tratamiento) desde la parte axial las cuales se las pesó determinando el Peso Fresco (Pf), se las colocó en un vaso de 1 L con agua por 48 horas a temperatura de 5 a 8 $^{\circ}\text{C}$, al finalizar el tiempo se procedió a pesar las hojas a plena turgencia obteniendo así el Peso Turgente (Pt), posteriormente se colocaron las hojas a estufa a 105 $^{\circ}\text{C}$ por 24 horas

obteniendo así el Peso Seco (Ps).

El estado hídrico se calculó con la aplicación de la siguiente ecuación (Argentel *et al.*,2006):

$$\text{CHR} = \frac{P_f - P_s}{p_t - p_s} \times 100$$

3.3.3. Metodología para el tercer objetivo:

“Evaluar el desarrollo vegetativo del café expuesto a cuatro niveles de sombra en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal”

Para cumplir este objetivo se realizó mediciones en 10 plantas tomadas aleatoriamente, se evaluaron cada 15 días las variables altura de la planta, diámetro del tallo y mensualmente, número de ramas, número de hojas, nudos por rama y longitud de entrenudos. Además, se midieron directamente indicadores de crecimiento como superficie foliar y masa seca; a partir de estas últimas mediciones se calcularon indicadores indirectos como: razón de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE).

3.3.3.1. Altura de la planta.

Este indicador se midió con la ayuda de una cinta métrica desde el cuello hasta el ápice de la planta en cm.

3.3.3.2. Diámetro del tallo.

Se midió con calibrador digital a una altura de 3 cm desde la superficie del suelo en cm.

3.3.3.3. Número de Ramas.

Se cuantificó el número de ramas plagiotrópicas primarias y secundarias.

3.3.3.4. Número total de hojas.

Se contabilizó el número de hojas por planta

3.3.3.5. Nudos por rama.

Se contó el número de nudos por rama

3.3.3.6. Longitud de entrenudos.

Se midió con una cinta métrica la longitud de entrenudos de cada una de las ramas en cm.

3.3.3.7. Superficie Foliar.

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

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

3.3.3.8. Masa seca.

Al final del periodo de estudio se realizó el procedimiento para obtener masa seca de las plantas 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.

3.3.3.9. Razón de área foliar (RAF).

La relación del área foliar con el peso total de la planta, se expresa en cm²/g. Su cálculo se realizó con la fórmula (Di Benedetto y Tognetti, 2016):

$$RAF = \text{área foliar} / \text{peso seco total de la planta.}$$

3.3.3.10. Área foliar específica (AFE).

Significa la relación entre el área foliar y la masa seca foliar, se expresa en cm²/g. Su cálculo se realizó con la fórmula (Di Benedetto y Tognetti, 2016):

$$AFE = \text{área foliar} / \text{peso seco del área foliar.}$$

IV. RESULTADOS

4.1. Temperatura del aire

En la figura 3 se muestra el comportamiento de la temperatura dentro de los tratamientos; las curvas de temperatura mantuvieron la misma tendencia en todos los sistemas y se observaron diferencias significativas entre los niveles de sombra; los valores mayores se presentaron en los tratamientos a pleno sol y 25 % de sombra, que presentaron rangos entre 17,16 y 25,28 °C, mientras que el tratamiento de 75 % presentó los valores menores en rango de 16,36 y 21,79 °C. En la mayoría de las evaluaciones los tratamientos de pleno sol y 25 % no presentaron diferencias significativas.

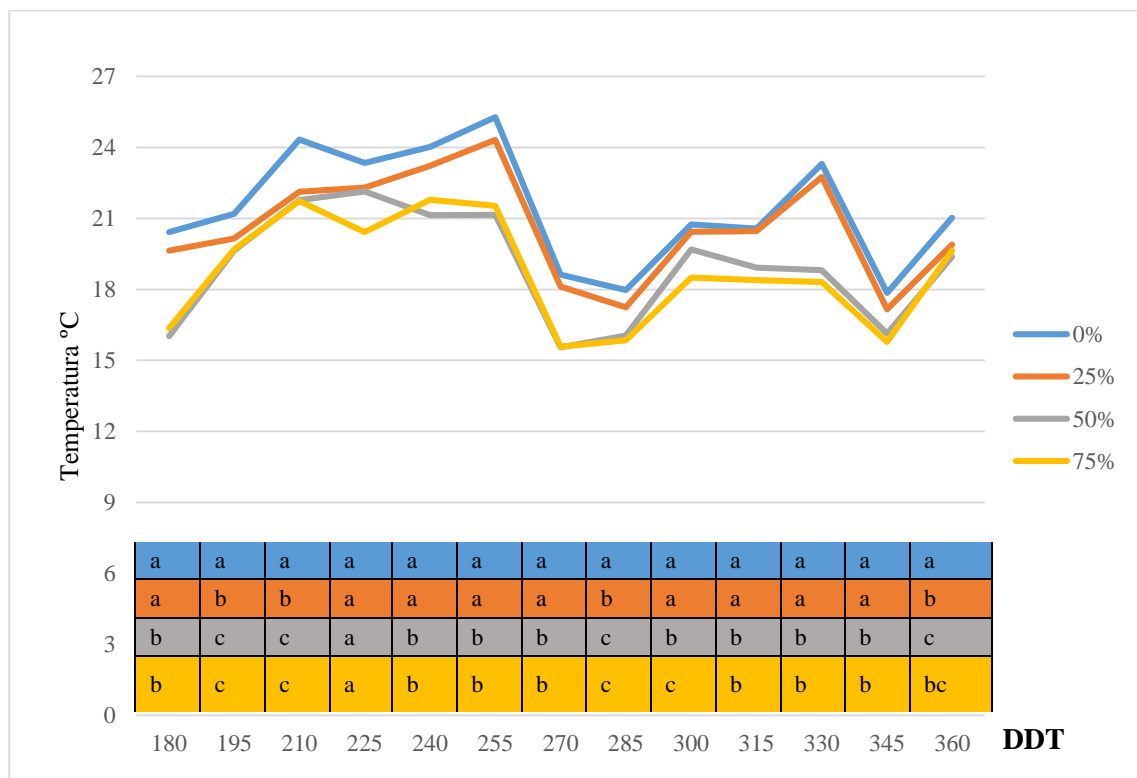


Figura 2. Comportamiento de la temperatura del aire en los cuatro niveles de sombra en el cultivo de cafeto en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018.

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$

4.2. Humedad relativa

En cuanto a la humedad relativa se observó diferencias significativas entre tratamientos, siendo el tratamiento a pleno sol el de mayor variación con porcentajes menores en

37,5 % y mayores a 81,7 %; y el tratamiento de 75 % presentó los valores mayores y más estables de humedad relativa tal como se muestra en la Figura 4. Cabe indicar que a los 180 DDT no se presentaron diferencias y durante el tiempo evaluado las líneas de los tratamientos de 50 y 75 % se encontraron más cercanos y en algunos casos (ocho de trece) no presentaron diferencias estadísticas.

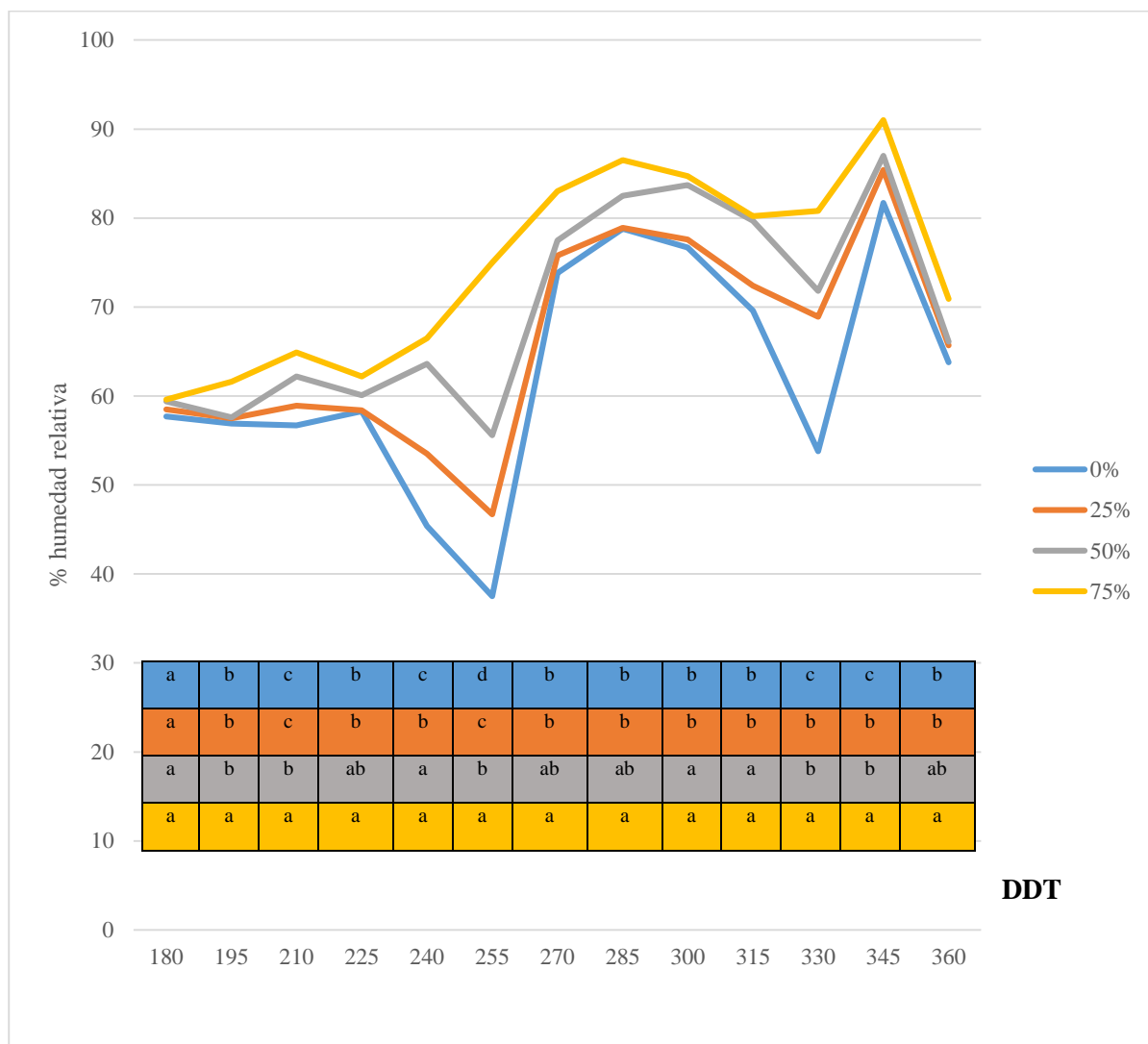


Figura 3. Curvas de humedad relativa de los cuatro niveles de sombra en el cultivo de café en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$

4.3. Densidad estomática

Los tratamientos de 0 y 25 % presentaron un mayor número de estomas por mm^2 , sin diferencias significativas entre ellos (Tabla 1). El rango de estomas estuvo entre 134,36 y 218,9 estomas por mm^2 de superficie foliar.

Tabla 1. Densidad estomática en hojas de plantas de café a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.

Niveles de sombra	Media (mm ²)	Significancia
0 %	218,90	a
25 %	208,36	ab
50 %	179,96	b
75 %	134,36	c
Error estándar	10,96	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=30)

4.4. Índice estomático

Los resultados en el índice estomático a los 360 DDT (Tabla 2), presentaron diferencias significativas entre el tratamiento a pleno sol y el de 50 %, los valores mayores se registraron en el tratamiento a pleno sol, lo que indicaría una mayor relación entre el número de células epidérmicas y número de estomas.

Tabla 2. Índice estomático en hojas de plantas de café a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	41,51	a
25 %	37,23	ab
50 %	34,30	b
75 %	38,15	ab
Error estándar	1,78	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=30)

4.5. Largo y ancho de los estomas

Los valores mayores de este indicador a los 360 DDT se presentaron en los tratamientos de 0 y 75% sin diferencias significativas (Tabla 3).

Tabla 3. Largo y ancho de los estomas en hojas de plantas de café a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.

Niveles de sombra	Largo de los estomas		Ancho de los estomas	
	Media(um)	Significancia	Media(um)	Significancia
0 %	29,06	b	25,10	a
25 %	27,32	c	21,87	b
50 %	28,83	bc	23,20	b
75 %	30,84	a	25,39	a
Error estándar	0,59		0,64	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=90)

4.6. Estado hídrico

El estado hídrico medido a través del Contenido Hídrico Relativo a los 360 DDT se presentó en el rango de 81.98 a 88.29, con los valores mayores en los tratamientos de sombra, con diferencias significativas con respecto al tratamiento a pleno sol (Tabla 4). Es decir que a menor iluminación disminuyó la pérdida de agua por transpiración, favoreciendo la regulación del sistema suelo-planta-atmosfera.

Tabla 4. Estado hídrico de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	81,98	b
25 %	87,73	a
50 %	85,93	a
75 %	88,29	a
Error estándar	1,19	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=25)

4.7. Altura de la planta

En la figura 5 se muestra la dinámica de crecimiento de las plantas de cafeto a partir de los 180 DDT, se presentaron diferencias significativas en todo el periodo de evaluación; el tratamiento de 25 % presentó los valores mayores con diferencias significativas con los tratamientos de 50 y 75 %, las curvas muestran un crecimiento de tipo continuo, el tratamiento de 25 % mantuvo un crecimiento sostenido en todo el periodo de evaluación, presentando siempre los valores mayores, el mismo comportamiento se observó a pleno sol, los tratamientos de 50 % y 75 % mantuvo un crecimiento lento durante todo el periodo de evaluación, en este sentido se puede deducir que la sombra influyó y que por tanto, en los tratamientos de mayor iluminación se presentaron mejores condiciones para su crecimiento.

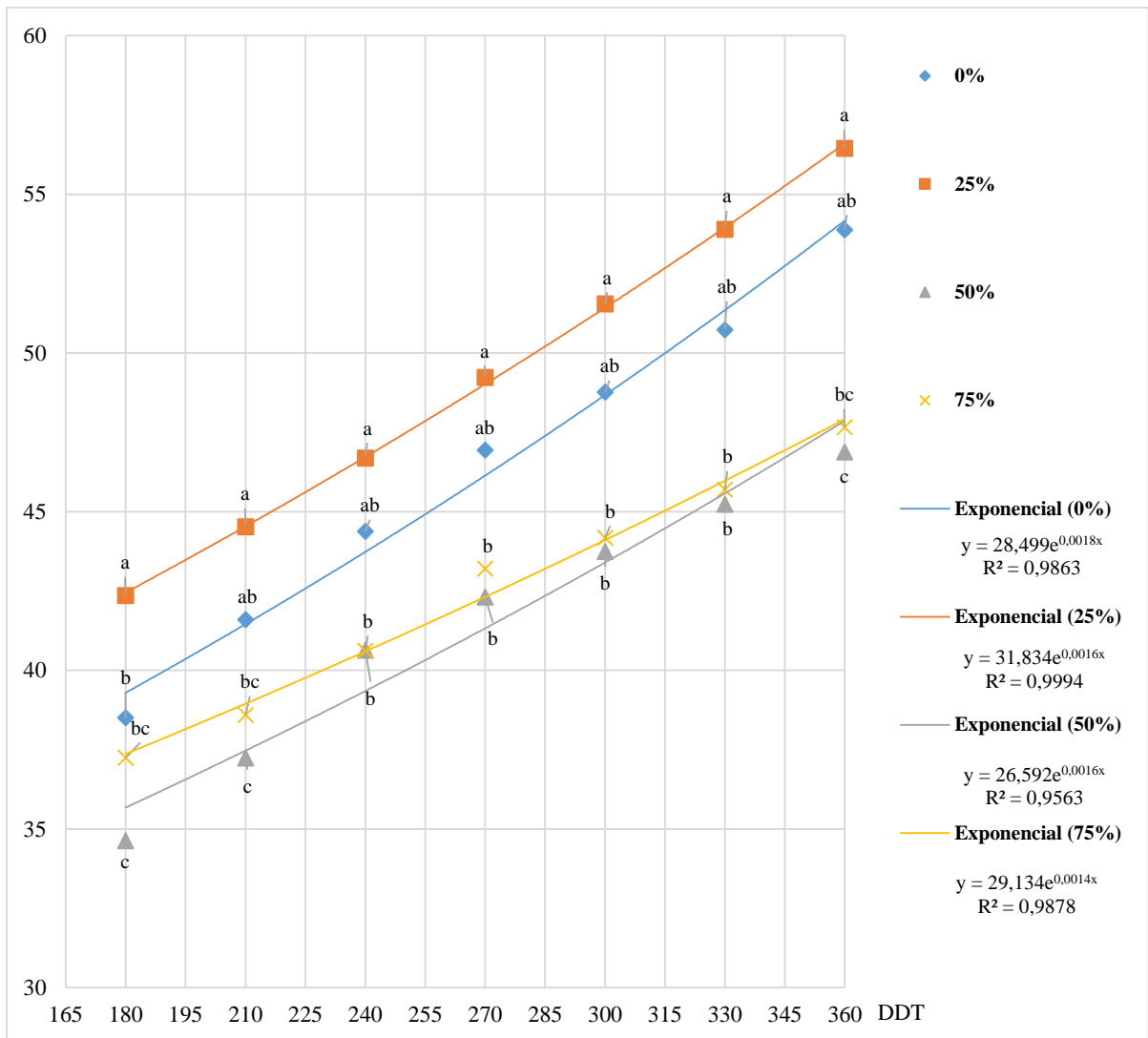


Figura 4. Dinámica de la altura de las plantas de cafeto cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$.

4.8. Diámetro del tallo

La dinámica de crecimiento para el diámetro del tallo, presentó que los tratamientos de 50 y 75 % de sombra presentaron los valores menores con diferencias significativas frente a los demás tratamientos (Figura 6), las curvas muestran un crecimiento superior del tratamiento de pleno sol, respecto a este indicador. Todos los tratamientos, mantuvieron igual comportamiento a las condiciones del crecimiento, el tratamiento de 50 % mantuvo un crecimiento lento durante todo el periodo de evaluación, el tratamiento de 75 % presentó un crecimiento lento y uniforme lo cual se corresponde con el comportamiento de la altura.

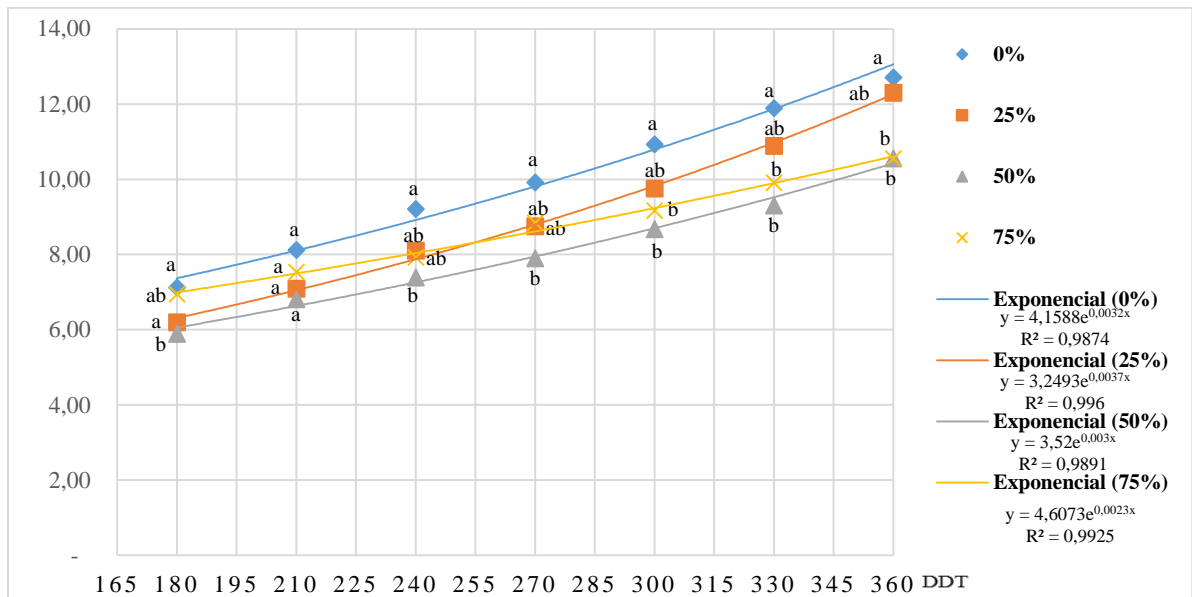


Figura 5. Dinámica del diámetro del tallo de plantas de café cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$.

4.9. Número de ramas

Respecto al número de ramas, hasta los 330 DDT, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 7). A partir de esta edad, el efecto de la sombra se visibilizó, ya que a los 360 DDT se observó que los tratamientos de 0 y 25 % presentaron un mayor número de ramas en un rango entre 3,5 y 11, 7 ramas.

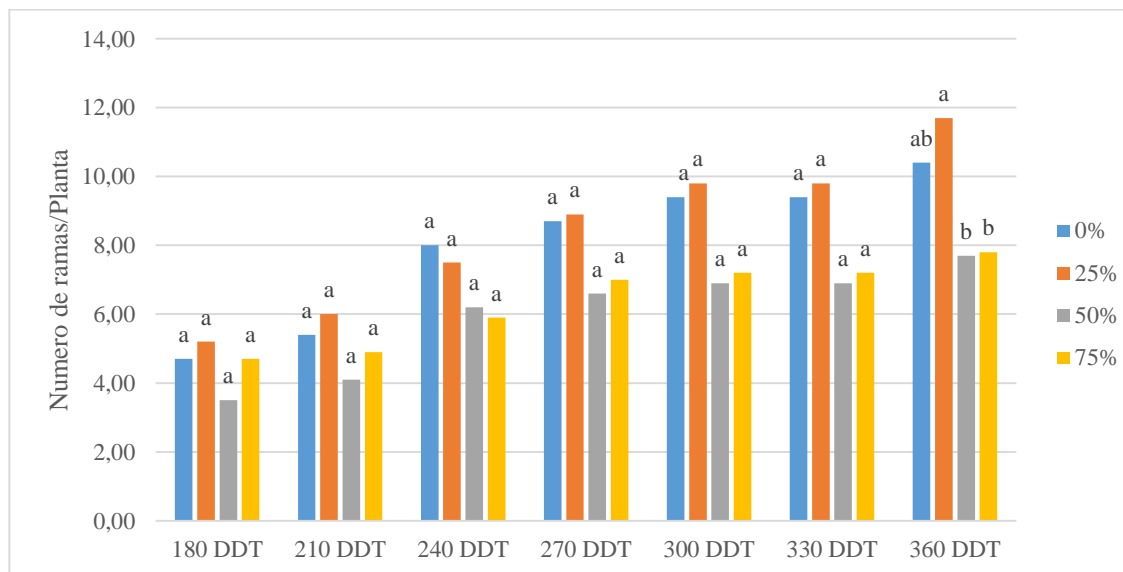


Figura 6. Número de ramas plagiotrópicas de las plantas de café cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$.

4.10. Número total de hojas

En cuanto al número de hojas, se observó un comportamiento no definido entre tratamientos; sin embargo, los menores valores se presentaron siempre en el 50 y 75 % de sombra (Figura 8); el tratamiento de 25 % mantuvo un crecimiento rápido continuo en todo el periodo de evaluación al igual que a pleno sol, presentando siempre los valores mayores, los tratamientos de 50 y 75 % de sombra mantuvieron un crecimiento lento durante todo el periodo de evaluación; lo anteriormente señalado indicaría que la emisión de las hojas sería más lenta en los tratamientos sombreados, lo cual reduce la superficie asimiladora y por ende afectaría al crecimiento.

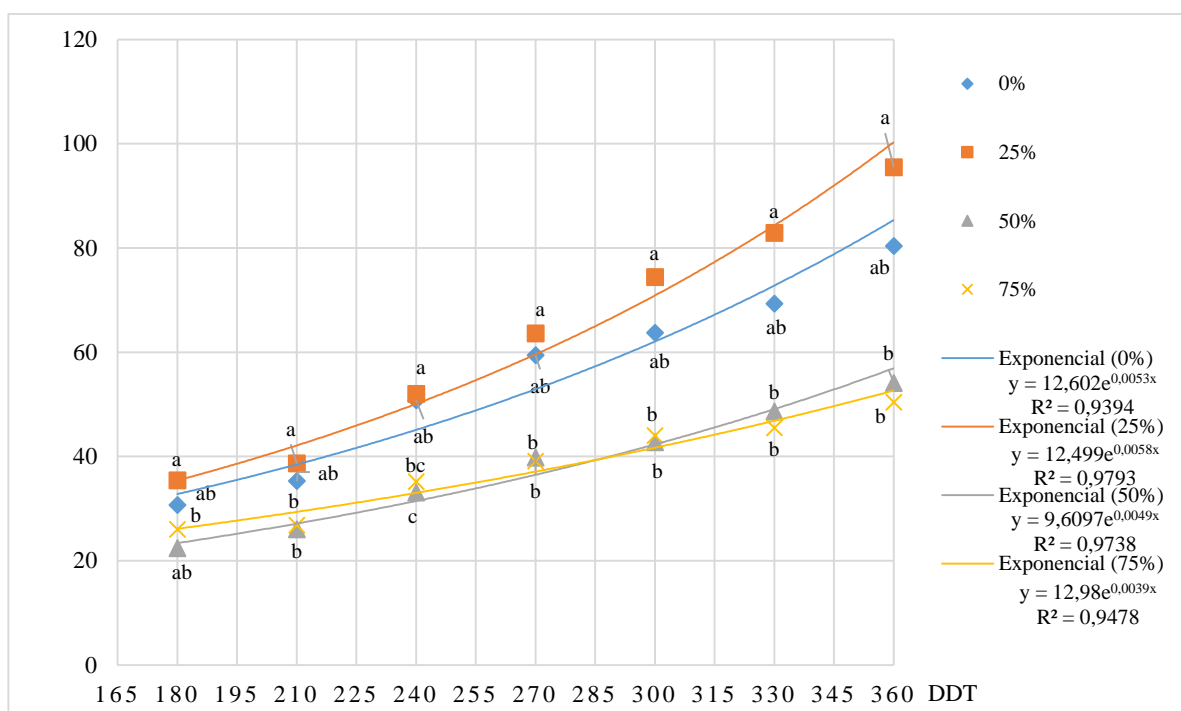


Figura 7. Número hojas de plantas de cafeto cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$.

4.11. Nudos por rama

El tratamiento de 75 % presentó los valores menores con diferencias significativas frente a los demás durante todo el periodo de evaluación (Figura 9); sin embargo, se observó también un crecimiento sostenido en cada uno de los tratamientos, mostrando una tendencia de incremento lineal.

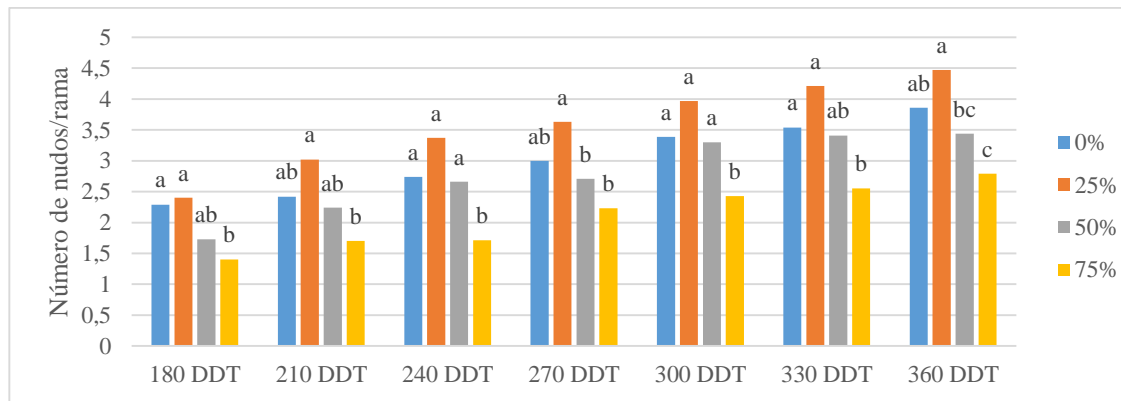


Figura 8. Número de nudos por rama de plantas de cafeto cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017-marzo 2018. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$.

4.12. Longitud de entrenudos

Hasta los 210 DDT (Figura 10) no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. A medida que pasó el tiempo, el efecto de los tratamientos se fue presentando, con tendencia a mantener los valores mayores en el tratamiento de 25 % con diferencia significativa entre tratamientos

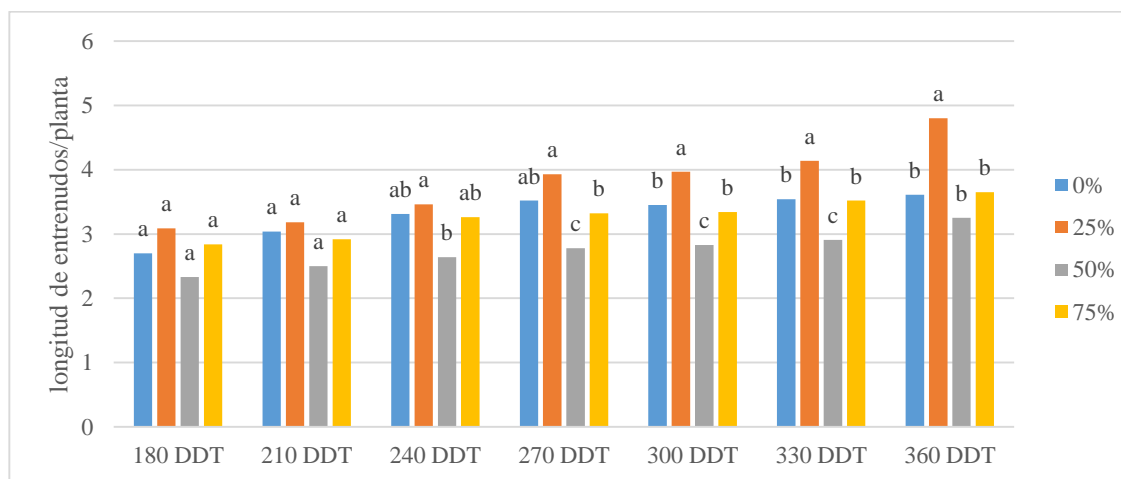


Figura 9. Longitud de entre nudos por rama de plantas de cafeto cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$.

4.13. Superficie foliar

La superficie foliar a los 360 DDT presentó diferencias significativas entre los tratamientos de 25 y 50 %; en el tratamiento de 25 % de sombra se observaron los valores mayores (Tabla 5), lo que indicaría mejores condiciones para el crecimiento de las plantas

en cuanto a la superficie captadora de luz lo que favorecería al proceso de fotosíntesis.

Tabla 5. Superficie foliar de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.

Niveles de sombra	Media (cm ²)	Significancia
0 %	2706,45	ab
25 %	3910,21	a
50 %	2009,88	b
75 %	2647,53	ab
Error estándar	656,49	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=5)

4.14. Masa seca total

En cuanto a la masa seca total a los 360 DDT (Tabla 6), los mayores valores se presentaron en los tratamientos a pleno sol y 25 % de sombra, con diferencias significativas con los demás tratamientos.

Tabla 6. Masa seca total de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.

Niveles de sombra	Media (gr)	Significancia
0 %	123,52	a
25 %	180,03	a
50 %	42,80	b
75 %	50,86	b
Error estándar	23,47	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=5)

4.15. Masa seca aérea

Dentro de la masa seca total la masa seca aérea a los 360 DDT se presentó en dos grupos, los tratamientos de 0 y 25 % presentaron los valores mayores, diferenciándose del segundo grupo conformado por los tratamientos de 50 y 75 % (Tabla 8).

Tabla 7. Masa seca aérea de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.

Niveles de sombra	Media (gr)	Significancia
0 %	101,66	a
25 %	143,40	a
50 %	30,34	b
75 %	35,28	b
Error estándar	18,85	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=5)

4.16. Masa seca radical

A los 360 DDT el tratamiento de 25 % presentó los valores mayores con diferencia significativa con el tratamiento de 50 %; los demás tratamientos no se diferenciaron entre sí (Tabla 8).

Tabla 8. Masa seca radical de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.

Niveles de sombra	Media (gr)	Significancia
0 %	21,86	ab
25 %	36,63	a
50 %	12,46	b
75 %	15,58	ab
Error estándar	7,74	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=5)

4.17. Porcentaje de masa seca en relación con la masa seca aérea y radical

En la Figura 11 se observa la acumulación de masa seca total con respecto a la masa seca aérea y radical, los porcentajes de masa seca aérea se presentaron en un rango de 71.58 a 83.71 % y la masa seca radical de 16.28 a 28.41 % de aporte; el tratamiento a pleno sol presentó los porcentajes mayores de masa seca aérea y el tratamiento de 75 % los porcentajes mayores de masa seca radical, no se presentaron diferencias significativas en los tratamientos.

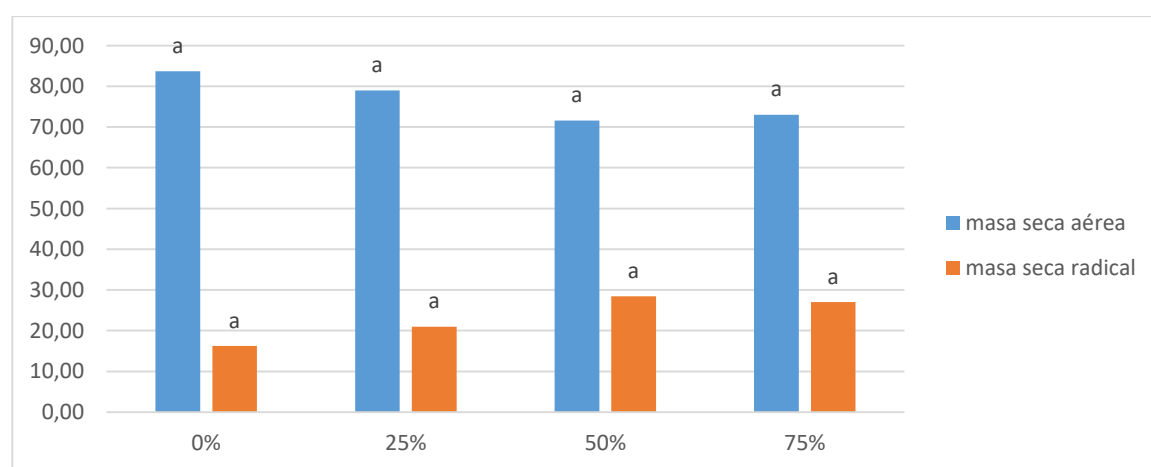


Figura 10. Aporte en porcentaje de masa seca aérea en relación a la masa seca total de las plantas de cafeto cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017- marzo 2018. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$.

4.18. Razón de área foliar (RAF)

En cuanto a la razón del área foliar (RAF) a los 360 DDT (Tabla 10), no presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 9. Razón del área foliar (RAF) de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	29.42	a
25 %	22.66	a
50 %	48.83	a
75 %	63.73	a
Error estándar	15.93	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=5)

4.19. Área foliar específica (AFE)

El área foliar específica a los 360 DDT (Tabla 11), no presentó diferencias significativas entre los tratamientos a pleno sol, 50 y 75 %; sin embargo, el tratamiento de 25 % presentó los valores menores, deduciendo que por cada unidad de superficie se produce una mayor cantidad de masa seca, lo cual es favorable como componente de rendimiento.

Tabla 10. Área foliar específica (AFE) de las plantas de cafeto a los 360 DDT, cultivadas bajo cuatro niveles de sombra, en la Hacienda Cristal del cantón Loja, 2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	57.33	ab
25 %	46.59	b
50 %	134.28	ab
75 %	149.69	a
Error estándar	35.00	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=5)

V. DISCUSIÓN

La sombra en general se mantuvo dentro de lo establecido por los tratamientos, por tanto, el microclima presentó variaciones en función de esos niveles. Al respecto, Araújo *et al.* (2016) señalan que el comportamiento de la temperatura está influenciado por los porcentajes de iluminación; así mismo, Encalada *et al.* (2016) señalan que de acuerdo con los niveles de sombra la temperatura y la humedad relativa se tornan más estables, favoreciendo el crecimiento.

Lisnawati *et al.* (2017) mencionan que los niveles de sombra están relacionados con la intensidad de la luz, mientras que la intensidad de la luz está relacionada con la fotosíntesis y la capacidad estomática de la planta. El tratamiento de 25 % de sombra tuvo mayor influencias sobre el crecimiento de plantas de cafeto similar a lo reportado por Charbonnier *et al.* (2013) quien menciona que la regulación de la luz en un sistema agroforestal de cafeto es beneficioso debido a que mejora la calidad del café, disminuye el estrés hídrico y aumenta la eficiencia de la luz debido a que ésta participa en la mayoría de los procesos fisiológicos de las plantas, como la fotosíntesis, transpiración y morfogénesis.

De Lima *et al.* (2017) mencionan que el exceso de luz provoca la foto inhibición; sin embargo, Charbonnier *et al.* (2017) y Zapata *et al.* (2017) mencionan que los cafetos con baja y media sombra presentan mayor tasa de transpiración que los cafetos con mayor cantidad de sombra. La radiación solar es necesaria para los procesos físicos y biológicos que ocurren en el cultivo del café y está determinada por el microclima de la región, por las condiciones de nubosidad, las propiedades del follaje y la densidad de siembra (Ocampo *et al.*, 2017), lo cual explicaría el mayor crecimiento en esas condiciones.

Los resultados de los elementos del micro clima indicaron que los valores de las variables ambientales, temperatura, humedad y sombra fueron diferentes en los tratamientos,

aunque presentaron la misma tendencia durante el periodo de evaluación. En los tratamientos de pleno sol y 25 % de sombra la temperatura se mantuvo en rangos de 17,16 a 25,35 °C lo cual se corresponde con lo encontrado por Montoya y Jaramillo (2016) y difiere con lo señalado por Teixeira *et al.* (2013) respecto a que la temperatura óptima de *Coffea arabica* oscilan entre 18 y 23 ° C. Por su parte Craparo *et al.* (2015) encontraron en condiciones de las tierras altas de Tanzania un desarrollo normal de plantas de café en un rango de 18 a 21 °C lo que evidencia la capacidad del café para adaptarse a diferentes condiciones de temperatura.

Según Bitá y Gerats (2013) las plantas de café expuestas a altas temperaturas alteran su metabolismo, reduciendo su capacidad fotosintética; además, la temperatura produce la modificación de la actividad respiratoria, estimulando la respiración y la fotorrespiración más que la fotosíntesis (Ortuño *et al.*, 2015; Partelli *et al.*, 2014).

Los tratamientos 50 y 75% de sombra presentaron temperaturas bajas como lo reportado por Abraham (2017), la temperatura media del aire por debajo de los 18 ° C, reduce el crecimiento. Rodrigues *et al.* (2015) encontraron que las temperaturas bajas dan como resultado una alta estabilidad funcional de las plantas; sin embargo, en este estudio se encontró que los tratamientos de mayor iluminación presentaron los rangos óptimos, similar a lo informado por Bunn *et al.* (2015); así mismo, Fahad *et al.* (2017), mencionan que el descenso de temperatura afecta al crecimiento, desarrollo y el rendimiento fotosintético debido a que afecta la absorción y el transporte de agua y nutrientes dentro de la planta.

En la variable de humedad relativa se encontró un comportamiento inverso a la temperatura, el tratamiento de 75 % de sombra presentó mayor estabilidad, lo cual coincide con lo señalado por Araújo *et al.* (2016); además, se alcanzó los niveles óptimos requeridos por el cultivo como lo indican Cisneros *et al.* (2015); así mismo, el

comportamiento a pleno sol presentó mayor fluctuación durante el periodo de evaluación, lo cual concuerda con Niglas *et al.* (2014).

El mayor número de estomas por superficie se encontró en el tratamiento a pleno sol. Investigaciones realizadas por Tian *et al.* (2016) y Muliastari, *et al.* (2015) mencionan que la densidad estomática es mayor en los tratamientos a pleno sol debido a que la planta en condiciones de alta intensidad de luz, modifica la anatomía de las hojas para mejorar la fijación de CO₂ en el proceso de fotosíntesis. Rodríguez *et al.* (2016) registraron mayor densidad estomática en los cafetos expuestos a pleno sol y disminuyó significativamente a medida que incrementó la sombra, la relación entre la frecuencia estomática y el grosor de la hoja demostró que la planta de sol presenta mayor proporción de estomas por área, lo cual presumiblemente le confiera mayor capacidad intercambio de CO₂. De igual manera Encalada *et al.* (2016) mencionan que las hojas expuestas a pleno sol presentó mayor número de estomas por área foliar en relación con los niveles de menor luz.

La regulación estomática es un proceso clave en la fisiología de *Coffea arabica* vinculado intrínsecamente a la fotosíntesis y las relaciones con el agua, proporciona información sobre la capacidad de adaptación, supervivencia y crecimiento de la planta (Craparo *et al.*, 2017). Lo encontrado en el estudio favorece al tratamiento de pleno sol ya que según Ye *et al.* (2017) los estomas regulan el intercambio gaseoso, la pérdida de agua, se abren a la luz y se cierran en la oscuridad encontrándose influenciado por factores ambientales como la luz, CO₂ y temperatura.

Al analizar el índice estomático los valores de densidad estomática incidieron sobre esta variable, siendo los tratamientos a pleno sol y 75 % quienes presentaron los valores mayores. Martins *et al.* (2014) mencionan que a un mayor índice estomático implica un aumento proporcional en el número de células epidérmicas; por lo tanto, la disponibilidad de luz debe influir directa y positivamente al índice estomático del café,

independientemente de los cambios pasivos ligados a las diferencias inducidas por la luz en la expansión de la lámina foliar.

Se encontró mayor índice estomático a mayor sombra, lo cual fue informado por Machado (2014). De igual manera Carins *et al.* (2016) y Segev *et al.* (2015) mencionan que las plantas pueden equilibrar la transpiración a través del aumento de las células estomáticas en relación con las células epidérmicas, reflejando el equilibrio entre la transpiración y la asimilación de CO₂, lo que resulta en una mayor eficiencia del uso del agua. Arve *et al.* (2013) mencionan que a mayor porcentaje de sombra y humedad relativa, los estomas tienden a ser de menor tamaño debido a que las células epidérmicas son más grandes.

En cuanto al ancho y largo de estomas los tratamientos de pleno sol y 75 % de sombra presentaron los valores mayores, lo cual representaría una mayor turgencia en las células oclusivas, siendo las encargadas de mantener el equilibrio en la planta regulando la fotosíntesis y transpiración (Jones, 2014; Suthar *et al.*, 2017). Datos similares a lo reportado por Brito *et al.* (2016) en donde se encontró cambios de turgencia en las células oclusivas obteniendo mayor expansión celular al incrementar los niveles de sombra en la lámina foliar. Kufa y Burkhardt, (2011) en plantas a pleno sol encontraron un rápido aumento en la transpiración lo que provocó como mecanismo de defensa la reducción de la apertura estomática

Bajo condiciones de mayor radiación solar, la frecuencia de estomas es mayor y sus dimensiones menores tal como lo encontrado en este estudio (Queiroz *et al.*, 2014). Giday *et al.* (2014) mencionan que la variación en las características anatómicas estomáticas o la regulación del ancho de poro estomático influyen en el intercambio de gases de diversas maneras y puede ser introducida por factores genéticos y condiciones de crecimiento.

El estado hídrico medido a través del Contenido Hídrico Relativo presentó los valores

mayores en los tratamientos de sombra debido a que existen mejores condiciones para la retención de agua en las plantas, el estado hídrico se regula a través de la conductancia estomática y los cambios en respuesta a las condiciones ambientales (Sade *et al.*, 2014; Melke y Fetene, 2014).

En el estudio realizado por Tounekti *et al.* (2018) se menciona que a 50 % de sombra los cultivares de cafeto fueron capaces de disminuir la aparición del estrés hídrico mediante el control de la transpiración. Mariño (2014) menciona que observó una reducción de la tasa de asimilación fotosintética en plantas de cafeto a pleno sol. Scheel *et al.* (2016) argumentan que el mayor contenido relativo de agua en las hojas requiere una mayor cantidad de pigmentos fotosintéticos para absorber la luz; sin embargo, un descenso del contenido relativo del agua en la hoja disminuye la apertura de los estomas para mantener el equilibrio hídrico disminuye la entrada del dióxido de carbono, limitando la fotosíntesis. El déficit hídrico reduce la absorción de nutrientes, causando efectos negativos en la fotosíntesis y las relaciones hídricas de las plantas (Frois de Andrade *et al.*, 2015). La investigación realizada por Righi *et al.* (2008) demostraron la eficiencia en el uso del agua en las plantas de café cultivadas a mayor sombra en comparación con las plantas en monocultivo. La alta irradiación en combinación con el déficit hídrico puede intensificar el estrés de las plantas reduciendo la tasa fotosintética (Costa *et al.*, 2015).

Al analizar la dinámica de crecimiento en altura de la planta se observó la influencia de la sombra sobre el crecimiento y desarrollo, manteniéndose un crecimiento progresivo durante el periodo de evaluación de las plantas. Al respecto, Bote *et al.* (2018), informó que la altura de la planta de café presenta menor crecimiento en ambientes de alta radiación en relación con ambientes de baja radiación; encontrándose cierta contradicción con este estudio en donde se obtuvo mayor altura de plantas en el tratamiento de 25 % de sombra y a pleno sol. Cardona *et al.* (2016) informan tasas de flujo de foto asimilados

más altos a plena luz en comparación a las plantas sometidas a déficit de luz, los cambios inducidos por baja intensidad lumínica pueden conllevar a un reducido flujo de carbohidratos hacia las raíces, interviniendo negativamente en la respiración y la actividad enzimática de este órgano y, así disturbando, por lo menos en parte, el metabolismo de toda la planta. Encalada *et al.* (2016) al analizar los valores de altura de plántulas en dos condiciones edafoclimáticas en sitios ubicados en la Amazonía y en las estribaciones occidentales de la Cordillera de los Andes, a 700 m s.n.m. y a diferentes niveles de sombra obtuvo que los tratamientos bajo sombra alcanzaron los valores mayores en cuanto a la altura, mencionando que los valores más bajos correspondieron al tratamiento de plena exposición solar.

Al analizar el comportamiento del diámetro del tallo de las plantas de cafeto, se observó que los tratamientos a pleno sol y 25 % presentaron los valores mayores similares a lo reportado por Saleh *et al.* (2013). De acuerdo con Bote *et al.* (2018) y Schnabel *et al.* (2017) la alta radiación estimula el incremento en el diámetro del tallo. En el estudio realizado Rodríguez *et al.* (2014) se concuerda con los datos obtenidos en esta investigación en donde la relación diámetro altura era mayor en planta de los tratamientos con menor porcentaje de sombra en las plantas de cafeto.

Respecto al número de ramas se observó que los tratamientos de 0 y 25 % presentaron un mayor número; estos resultados son similares a lo indicado por Bote *et al.* (2018) donde el número de ramas por planta y el número hojas por rama mostraron patrones cualitativamente similares con mayor radiación solar. Datos obtenidos por Partelli *et al.* (2014) mencionan que la longitud media de los entrenudos y ramas ortotrópicas aumentó en respuesta a mayores niveles de sombreado. Sin embargo, Oliosi *et al.* (2016) y Ricci *et al.* (2013) mencionan que en el desarrollo de las ramas se observa que los cafetos con sombra presentan mayor crecimiento en comparación con las cultivadas a pleno sol,

Ademas Alves *et al.* (2016) mencionan que el sombreado, aumenta el número de ramas primarias y secundarias, aumentando la capacidad reproductiva de los árboles de café tal como lo encontrado en esta investigación en los tratamientos bajo sombra

En cuanto al número de hojas, el tratamiento de 25 % mantuvo un crecimiento continuo en todo el periodo de evaluación al igual que a pleno sol, presentando siempre los valores mayores en el 25 % de sombra concordando con Rodríguez *et al.* (2016) quienes registraron un mayor crecimiento de hojas expuestos a menor sombra relacionado con la superficie foliar. Por otro lado, según Righi *et al.* (2007) las plantas de café bajo sombra más densa presento hojas más grandes y más separadas.

En cuanto al número de nudos se observó que el tratamiento de 25 % de sombra presentó los valores mayores debido a que el número de nudos depende de la fotosíntesis (Patiño y Jaimez, 2016), resultados similares muestra Hagggar *et al.* (2011) en donde encontró que el cafeto bajo menor nivel (30%) sombra tuvo un mayor número de nudos.

Bajo el tratamiento de 25% de sombra se obtuvo la mayor longitud de entrenudos, resultados similares a los presentados por Araújo *et al.* (2016) en donde el sombreado mínimo indujo un aumentó en la longitud media del entrenudo. De acuerdo con Sales *et al.* (2013) la baja irradiación provoca mayor longitud de entrenudo. Según lo determinado Nesper *et al.* (2017) la cobertura del dosel aumentó la longitud de entrenudos y el crecimiento vegetativo.

La mayor superficie foliar se presentó en tratamiento de 25 % evidenciando que la superficie foliar se relaciona con la tasa fotosintética, evapotranspiración, desarrollo vegetativo, absorción de agua y nutrientes (Montoya *et al.*, 2017; Marín *et al.*, 2018). Una mayor superficie foliar total implica mayor capacidad de intercepción de radiación solar y por ende una mayor productividad (Misgana *et al.*, 2018). El trabajo realizado por

Taugourdeau *et al.* (2014) y Martins *et al.* (2013) concuerdan con lo obtenido en esta investigación en donde mencionan que bajo sombra mínima las plantas de cafeto tienen una mayor superficie foliar debido a que las hojas de sombra maximizan la captura de la luz, mientras que las plantas a exposición solar puede producirse un desequilibrio energético, lo que lleva a la fotoinhibición por la alta irradiación de los rayos solares. Muliasari *et al.* (2015) afirma que las plantas se adaptan a la intensidad de sombra mediante el aumento de la eficiencia de captura de la luz por unidad de área de la fotosíntesis, es decir, al aumentar la cantidad luz se observa mayor superficie foliar por área.

En lo relacionado con la masa seca total se presentó una relación entre la masa seca con respecto al crecimiento en donde el tratamiento de 25 % de sombra produjo la mayor acumulación de masa seca total. Al respecto Rodríguez *et al.* (2014) mencionan que la masa seca total aumentó linealmente con el aumento del suministro de luz, estos resultados muestran la importancia de la luz en la producción de biomasa a través de la fotosíntesis y la posterior translocación de los fotoasimilados: lo cual en parte concuerda con este estudio; así mismo Bote *et al.* (2018) encontraron efectos positivos en la acumulación de biomasa en radiación moderada. De igual manera Encalada *et al.* (2016) al comparar los niveles de luz obtuvo mayor masa seca total en niveles de menor iluminación, demostrando una mayor eficiencia del follaje en la interceptación y utilización de la radiación solar durante el crecimiento.

Al analizar la masa seca aérea se observó que los tratamientos de 0 % y 25 % presentaron los valores mayores la masa seca foliar desempeña un papel fundamental en los procesos de fotosíntesis (Unigarro *et al.*, 2017). Kufa y Burkhardt (2015) mencionan que plántulas de café a plena luz del sol mostraron reducciones considerables en cuanto a la masa seca foliar en comparación con las plántulas sombreadas, lo que demuestra la mayor

asignación de biomasa a las hojas que a las otras partes de crecimiento. Sin embargo, en este estudio encontraron la acumulación de masa en relación con el crecimiento debido a que la producción de masa seca puede ser explicada a través de la cantidad de radiación interceptada y la eficiencia con la que dicha radiación es transformada en biomasa (Reyes *et al.*, 2018)

En cuanto la razón de área foliar todos los niveles de sombra se comportaron de manera similar Gommers *et al.*, (2013) informaron que tanto las especies con sombra como las que no lo son optimizan la captura y utilización de la luz al aumentar su razón de área foliar.

En cuanto al área foliar específica se observó que a mayor cantidad de sombreado mayor área foliar específica, lo cual se corresponde con lo encontrado por Martins *et al.*, (2013). En el estudio realizado por Negasso *et al.* (2015) muestra que plantas de café a pleno sol obtuvieron una área foliar específica menor en comparación con las cultivadas bajo sombra las cuales obtuvieron un área foliar específica mayor; sin embargo, Rodríguez *et al.* (2014) mencionan que al aumentar la cantidad de luz se observó el aumento del área foliar específica en donde se observó foto inhibición y daño por la alta irradiación. El área foliar específica a pleno sol muestra un aumento del grosor en las hojas en comparación con las de sombra, de ello se deduce que un alto nivel de sombra parece canalizar la energía desde el alargamiento y la fotosíntesis óptima hacia la supervivencia de la hoja (Gommers *et al.*, 2013).

VI. CONCLUSIONES

- Los niveles de sombra influyeron significativamente en el comportamiento de la temperatura y humedad relativa, a mayor sombra se presenta una disminución de la temperatura y un aumento de la humedad relativa.
- La densidad estomática se incrementó al disminuir la cantidad de sombra; sin embargo, al analizar el índice estomático el tratamiento de 0 % (pleno sol) y 75 % de sombra no presentaron diferencias significativas, a menor iluminación se observó estomas de mayor tamaño; así mismo, el estado hídrico se diferenció significativamente entre los niveles de sombra.
- Los niveles de 0 % (pleno sol) y el nivel de 25 % de sombra registró los valores mayores en el crecimiento de altura y diámetro del tallo favoreciendo la emisión de ramas, nudos, hojas, mayor superficie foliar y masa seca.
- En la razón del área foliar no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos y el tratamiento de 75 % de sombra presentó los valores mayores en área foliar específica.

VII. RECOMENDACIONES

- Continuar la investigación para lograr identificar la respuesta de los niveles de sombra en cuanto al rendimiento.
- Profundizar en el estudio del comportamiento fisiológico en los diferentes niveles de sombra relacionado con clorofila, actividad de la nitrato reductasa y fotosíntesis.
- Establecer parcelas permanentes con un diseño experimental que posibilite lograr mayor validez interna de la investigación.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, E. (2017). Climate Smart Coffee (*coffea arabica*) Production. American Journal of Data Mining and Knowledge Discovery, Vol. 2, no.2, pp. 62-68, DOI: 10.11648/j.ajdmkd.20170202.14 .
- Alarcó, A. (2011). Modelo de gestión productiva para el cultivo de café (*Coffea arábica* L.) en el sur de Ecuador. Maestría. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid.
- Alves, V., Goulart, F., Jacobson, T., Filho, R. y Cardoso, C. (2016). Shade's Benefit: Coffee Production under Shade and Full Sun. Journal of Agricultural Science, Vol. 8, no. 11, pp. 11-19 ISSN: 1916-9752.
- Andrade, H., Segura, M., Canal, D., Gómez, M., Marín, M., Sierra, E., Ortiz, I., Alvarado, J. y Feria, M. (2013). Estrategias de adaptación al cambio climático en sistemas de producción agrícola y forestal en el Departamento del Tolima. Ibagué: Universidad del Tolima Colombia, pp. 100, ISBN: 9789588747392.
- Andrade, E. (2013). Guía de buenas prácticas agrícolas para café. Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro AGROCALIDAD. Consultado: el 25 de marzo del 2018 en: <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/inocuidad/guia-cafe.pdf>.
- Aranda, I., Castro, L., Pardos, M., Gil, L., y Pardo, J. (2005). Effects of the interaction between drought and shade on water relations, gas exchange and morphological traits in cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings. Forest Ecology and Management, no. 210, pp. 117–129, ISSN: 0378-1127.
- Arcila, J. (2007). Crecimiento y Desarrollo de la planta de Café. En: J. Arcila, F. Farfán, A. Moreno, L. Salazar y E. Hincapié. Sistemas de producción de café en Colombia,

1 ed. Chinchiná: Cenicafe, pp. 22-60, ISBN: 9789589819302.

Araújo, A., Partelli, F., Oliosi, G. y Pezzopane, J. (2016). Microclimate, development and productivity of robusta coffee shaded by rubber trees and at full sun. *Revista Ciência Agronômica*, Vol. 47, no. 4, pp. 700-709, ISSN:1806-6690.

Argentel , L., González, L., Ávila, C. y Aguilera, R. (2006). Comportamiento del contenido relativo de agua y la concentración de pigmentos fotosintéticos de variedades de trigo cultivadas en condiciones de salinidad. *Cultivos Tropicales*, Vol. 27, no. 3, pp. 49-53, ISSN: 0258-5936.

Arve , L., Terfa, M., Gislerød , H., Olsen , J. y Torre, S. (2013). High relative air humidity and continuous light reduce stomata functionality by affecting the ABA regulation in rose leaves. *Plant Cell Environmet*, Vol. 36, no. 2, pp. 382-392, ISSN: 2281-2416.

Banco Central del Ecuador. (2014). Reporte de coyuntura sector agropecuario. Banco Central del Ecuador, Vol.2, no. 87, pp. 31-36, ISSN: 1390-0579.

Bandeira, F., Martorell, C., Meave, J. y Caballero, J., (2005). The role of rustic coffee agroecosystems in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. *Biodiversity and Conservation*, Vol. 14, no. 5, pp. 1225-1240, ISSN 1572-9710.

Bitá, C. y Gerats , T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 4, no. 1, pp. 1-273, ISSN: 2391-4193.

Brito, A., Blanco, H., Escala, M., Vargas, E. y García, E. (2016). Morfoanatomía foliar de dos Ecotipos de Ananas Comosus (L.) Merr. Del Amazonas Venezolano:

Amarilla y Yärä Känä. Acta Botanica Venezuelica, Vol. 39, no. 2, pp. 158-179, ISSN: 0084-5906.

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 1161-0301.

Bote, A., Zana, Z., Ocho, F. y Vos, J. (2018). Analysis of coffee (*Coffea arabica* L.) performance in relation to radiation level and rate of nitrogen supply II. Uptake and distribution of nitrogen, leaf photosynthesis and first bean yields. European Journal of Agronomy, Vol. 92, no. 1, pp. 107-114, ISSN: 1161-0301.

Bunn, C., Läderach, P., Ovalle, O. y Kirschke, D. (2015). A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. Climatic Change, Vol. 129, no. 1-2, pp. 89–101, ISSN: 1573-1480.

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. (2010). The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. Bragantia, Vol. 69, no.1, pp. 239-247, ISSN: 0006-8705.

Casanova, F., Ramírez, L., Parsons, D., Caamal, A., Piñeiro, A., y Díaz, V. (2016). Environmental services from tropical agroforestry systems. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, Vol. 22, no. 3, pp. 269-284. ISSN: 2007-3828.

- Castillo, G., Ávila, C., López, L. y De león, F. (2014). Structure and tree diversity in traditional popoluca coffee agroecosystems in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Mexico. *Interciencia*, Vol. 39, no. 9, pp. 608-619, ISSN: 0378-1844.
- Cardona, W., Bautista, L., Flóres, N. y Fisher, G. (2016). Desarrollo de la biomasa y raíz en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. septentrionale) en respuesta al sombrío y anegamiento. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, Vol. 10, no. 1, pp. 53-65, ISSN:2011-2173.
- Carins , M., Jordan, G. y Brodribb, T. (2016). Cell expansion not cell differentiation predominantly co-ordinates veins and stomata within and among herbs and woody angiosperms grown under sun and shade. *Annals of Botany*, Vol. 118, no. 6, pp. 1127–1138, ISSN: 2757-8763.
- Carrasco, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *Idesia*, Vol. 27, no. 3, pp 59-76, ISSN: 0718-3429.
- Cavatte, P., Oliveira, a., Morais, L., Martins, S., Sanglard, L. y DaMatta, F. (2012). Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis. *Physiologia Plantarum*, no. 144, pp. 111–122, ISSN: 0031-9317.
- Chaves, A., Ten, A., Pinheiro, H., Ribeiro, A. y DaMatta, F. (2008). Seasonal changes in photoprotective mechanisms of leaves from shaded and unshaded field-grown coffee (*Coffea arabica* L.) trees. *Trees*, Vol. 22, no. 1, pp. 351-361, ISSN: 1432-2285.
- Chaves, N. y Gutiérrez, V. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, Vol. 28, no.1, pp.255-271, ISSN: 2215-3608.

- Charbonnier, F., Le Maire, G., Dreyer, E., Casanoves, F., Christina, M., Dauzat, J., Eitel, J., Vaast, P., Vierling, L. y Rounsard, O. (2013). Competition for light in heterogeneous canopies: Application of MAESTRA to a coffee (*Coffea arabica* L.) agroforestry system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 181(1), 152-169, ISSN: 0168-1923.
- Charbonnier, F., Rounsard, O., Le Maire, G., Guillemot, J., Casanoves, F., Lacoïnte, A., Vaast, P., Allinne, C., Cambou, A., Clément, A., Defrenet, E., Duursma, R., Jarri, L., Jourdan, C., Khac, E., Leandro, P., Medlyn, B., Saint, L., Thaler, P., Van den Meersche, K., Barquero, A., Lehner, P. y Dreyer, E. (2017). Increased light-use efficiency sustains net primary productivity of shaded coffee plants in agroforestry system. *Plant, Cell Environment*, Vol. 40, no. 8, pp. 1592-1608, ISSN:2838-2683.
- Christiansen, J. (2004). *Café orgánico con diversificación*. 1ed. Tegucigalpa: Ideas Litográficas, pp. 346
- Cisneros, E., Rey, R., Martínez, R., López, T., y González, F. (2015). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia de Pinar del Río. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 24 no. 2, pp. 23-30, ISSN: 1010-2760.
- COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional). (2013). *Situación del sector cafetalero ecuatoriano: diagnóstico*. Portoviejo, Ecuador. pp.71.
- Coa, M., Silva, R., Méndez, J., y Mundarain, S. (2015). Fenología de la floración del cafeto var. Catuaí Rojo en el municipio Caripe del estado Monagas, Venezuela. *Idesia*, Vol. 33 no. 1, pp. 59-67, ISSN: 0718-3429.
- Costa, A., Rezende, S., Megguer, C., Moura, L., Rosa, M. y Silva, A. (2015). The effect of irradiance and water restriction on photosynthesis in young jatobá-do-cerrado

(*Hymenaea stigonocarpa*) plants. *Photosynthetica*, Vol. 53, no. 1, pp. 118-127, ISSN:1573-9058.

Craparo, A., Van Asten, P., Läderach, P., Jassogne, L. y Grab, S. (2015). *Coffea arabica* yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 207, no. 1, pp. 1-10, ISSN:0168-1923.

Craparo, A., Steppe, K., Van Asten, P., Läderach, P., Jassogne, L. y Grab, S. (2017). Application of thermography for monitoring stomatal conductance of *Coffea arabica* under different shading systems. *Science of the Total Environment*, Vol. 609, no.1, pp. 755–763, ISSN: 0048-9697.

Criollo, H., Lagos, T., Bacca, T., y Muñoz, J. (2016). Caracterización de los sistemas productivos de café en Nariño, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, Vol. 19, no. 1, pp. 105 - 113, ISSN: 0123-4226.

DaMatta, F. (2004). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, Vol. 86, no. 1, pp. 99–114, ISSN: 0378-4290.

DaMatta, F. y Cochicho, J. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Vol. 18, no. 1, pp. 55-81, ISSN: 1677-9452.

DaMatta, F. y Rodríguez, N. (2007). Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombiana*, Vol. 25, no. 1, pp. 113-123, ISSN: 0120-9965.

Davis, H., Rice, R., Rockwood, L., Wood, T., y Marra, P. (2017). The economic potential of fruit trees as shade in blue mountain coffee agroecosystems of the Yallahs River

watershed, Jamaica W.I. Agroforestry Systems, pp. 1-9, ISSN: 1572-9680.

De Lima, K., Gontijo, P., Furtini, A., Oliveira, H. y Lacerda, J. (2017). Effect of Magnesium on Gas Exchange and Photosynthetic Efficiency of Coffee Plants Grown under Different Light Levels. *Agriculture*, Vol. 7, no. 10, pp. 1-11, ISSN: 2077-0472.

Di Benedetto, A. y Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, Vol. 42, no. 3, pp. 258-282, ISSN: 1669-2314.

Duicela, L. (2016). Investigación y desarrollo cafetalero en el Ecuador: situación actual y perspectivas. En I. Pérez, A. Vegas. VII Congreso Latinoamericano de Agronomía: Artículos in extenso, 1 ed. Ecuador: Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE), pp. 8-18, ISBN: 978-9942-21-969-5

Duicela, L., Velásquez, S., y Farfán, D. (2017). Calidad organoléptica de cafés arábigos en relación a las variedades y altitudes de las zonas de cultivo, Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, Vol. 18, no. 1, pp. 67-77, ISSN: 1665-0204.

Dutta , S. y Jatoth, B. (2013). Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnology Reports*, Vol. 7, no. 3, pp. 211–220, ISSN: 1863-5466.

Encalada, M., Soto, F., Morales, D. y Álvarez, I. (2016). Influencia de la luz en algunas características fisiológicas del cafeto (*Coffea arabica* L. cv. CATURRA) en condiciones de vivero. *Cultivos Tropicales*, Vol. 37, no. 4, pp. 89-97, ISSN: 1819-4087.

- Encalada, M., Soto, F., 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*, Vol. 37, no. 2, pp. 72-78, ISSN: 1819-4087.
- Fahad, S., Bajwa , A., Nazir, U., Nazir, U., Anjum, S., Farooq, A., Zohaib , A., Sadia, S., Nasim , W., Adkins, S., Saud , S., Ihsan, M., Alharby , H., Wu , C., Wang, D. y Huang, J. (2017). Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 8, no. 1, pp. 1-16, ISSN: 2870-6531.
- Farfán, F. (2007a). Cafés especiales. En: J. Arcila, F. Farfán, A. Moreno, L. Salazar y E. Hincapié. *Sistemas de producción de café en Colombia*, 1 ed. Chinchiná: Cenicafe, pp. 234-254, ISBN: 9789589819302.
- Farfán, F. (2007b). Producción de café en sistemas agroforestales. En: J. Arcila, F. Farfán, A. Moreno, L. Salazar and E. Hincapié. *Sistemas de producción de café en Colombia*, 1 ed. Chinchiná: Cenicafe, pp. 162-200, ISBN: 9789589819302.
- Farfán, F. y Jaramillo, Á. (2009). Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la Región. *CENICAFE*, no. 379, pp. 1-9, ISSN: 0120 - 0178.
- Farfán, F. y Urrego, J. (2004). Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrío e influencia en la productividad del café. *Cenicafé*, Vol. 55, no. 4, pp. 317-329, ISSN: 0120-0275.
- Fisac, R. (2014). *El mundo del café*. Madrid: Composiciones RALI, S.A., pp. 351, ISBN 9788449114243.
- Franck, N. y Vaast, P. (2009). Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. *Trees*, Vol. 23, pp.

761–769, ISSN: 1432-2285.

Frois de Andrade, M., Ramos, P. y Santos, J. (2015). Water relations and photosynthesis of young coffee plants under two water regimes and different N and K doses. *Agrociencia*, Vol. 49, no. 2, pp. 153-161, ISSN: 1405-3195.

Gaitán , Á., González , M., Núñez , C., Saldaña, T. y Cotes, J. (2013). Análisis funcional de crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* subsp. andigena). *1900-4699*, 9(2), 172-185, ISSN: 1900-4699.

García, L., Valdez, J., Luna, M., y López, R. (2015). Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y Bosques*, Vol. 21 no. 3, pp. 69-82, ISSN: 1405-0471.

Garrett, G. (2009). *North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice*. Madison: American Society of Agronomy, Inc, pp. 369, ISBN: 9780891181637.

Giday, H., Fanourakis, D., Kjaer, K., Fomsgaard, I. y Ottosen, C. (2014). Threshold response of stomatal closing ability to leaf abscisic acid concentration during growth. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 65, no. 15, pp. 4361–4370, ISSN: 2486-3434.

Gil, A. y Díaz, L. (2016). Evaluación de tipos de contenedores sobre el crecimiento radical de café (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, Vol. 10, no. 1, pp. 125-136, ISSN 2011-2173.

Gomes, I., Mauro de Castro, E., Maria, A., Alves, J., Nogueira, M., Alves, E. y Deitos, D. (2008). Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. “Oeiras” sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. *Ciencia Rural*, Vol. 38, no. 1, pp. 109-115, ISSN: 0103-8478.

- Gómez, G. (2010). Cultivo y beneficio del café. *Revista de Geografía Agrícola*, Vol. 1, no. 45, pp. 103-193, ISSN 0186-4394.
- Gommers, C., Visser, E., Onge, K., Voeselek, L. y Pierik, R. (2013). Shade tolerance: when growing tall is not an option. *Trends in Plant Science*, Vol. 18, no. 2, pp. 65-71, ISSN: 2308-4466 .
- Guachisaca, S. (2015). Análisis Sectorial Producción y Comercialización de café en el cantón Puyango. Ingeniería. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Guhl, A. (2008). Café y cambio de paisaje en Colombia, 1970-2005. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT - Banco de la República, pp. 338, ISBN: 9789587200195
- Guhl, A. (2009). Café, bosques y certificación agrícola en Aratoca, Santander. *Revista de Estudios Sociales*, no. 32, pp. 114-125, ISSN: 0123-885X.
- Haggar, J., Barrios, M., Bolaños, M., Merlo , M., Moraga, P., Munguia , R., Ponce , A., Romero , S., Soto, G., Staver , C. y Virginio, E. (2011). Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America. *Agroforestry Systems*, Vol. 82, no. 3, pp. 285–301, ISSN: 0167-4366.
- Hernández, F., Licona, A., Pérez, E., Cisneros, V., y Díaz, S. (2012). Diversificación productiva café–plantas ornamentales en La Sidra, Atzacan, Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola*, no. 48-49, pp. 39-50, ISSN: 0186-4394.
- Holdridge, L. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. San José: Editorial IICA, pp. 216, ISBN: 9290391316.
- Isaza, C. y Cornejo, J. (2015). El café y el ciclo del carbono. *Norad*, pp. 1-40, ISBN: 978-

907-052-633-7.

Jaramillo, A. (2005). Clima andino y el café en Colombia. Chinchiná: Cenicafé, pp. 196, ISBN 9589772609

Jaramillo, A., Arcila, J., Montoya, E. y Quiroga, P. (2006). La radiación solar; consideraciones para su estudio en las plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). Meteorología Colombiana, no. 10, pp. 12-22, ISSN: 0124-6984.

Jiménez, A. y Massa, P. (2015). Producción de café y variables climáticas: El caso de Espíndola, Ecuador. Economía, Vol. 40, no. 40, pp. 117-137, ISSN 1315-2467.

Jones, H. (2014). Plants and Microclimate A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology Third Edition. United Kingdom: Cambridge Cambridge University Press, pp. 423, ISBN: 978-052-127-959-8.

Jurgen, H. y Janssens, M. (2010). Growth and production of coffee. Oxford: Eolss Publishers, Vol. 3, pp. 492, ISBN: 978-1-84826-819-7

Kin, A. y Ledent, J. (2011). Efectos del viento sobre las plantas. En: A. Golberg y A. Kin. Viento, suelo y plantas. Santa Rosa: INTA, pp. 45-72, ISBN: 9875211044.

Koppen, W. (1936). Das geographische system der klimate. Berlin: Handbuch der Klimatologie, pp. 1-44.

Kufa , T. y Burkhardt, J. (2011). Stomatal Characteristics in Arabica Coffee Germplasm Accessions under Contrasting Environments at Jimma, Southwestern Ethiopia. International Journal of Botany, Vol. 7, no. 1, pp. 63-72, ISSN: 1811-9700.

Kufa , T. y Burkhardt, J. (2015). Physiological Growth Response in Seedlings of Arabica Coffee Genotypes Under Contrasting Nursery Microenvironments. Plant, Vol.3, no.5, pp. 47-56, ISSN: 2331-0677 .

- Kumar, D. y Tieszen, L. (1980). Photosynthesis in *coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. *Experimental agriculture*, Vol. 16 no. 1, pp. 13-19, ISSN: 0014-4797.
- Lima, V., Pacheco, F., Avelar, R., Alvarenga, I., Pinto, J. y Alvarenga, A. (2017). Growth, photosynthetic pigments and production of essential oil of long-pepper under different light conditions. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Vol. 89, no. 2, pp. 1678-2690, ISSN: 1678-2690.
- Lisnawati, A., Lahijie, A., Simarangkir, B., Yusuf, S. y Ruslim, Y. (2017). Agroforestry system biodiversity of Arabica coffee cultivation in North Toraja District, South Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*, Vol. 18, no. 2, pp. 741-751, ISSN: 1412-033X.
- López, J. (2004). Comportamiento del intercambio gaseoso de *Coffea arábica* L. En tres altitudes de la zona cafetera central Colombiana. *Cenicafé*, Vol. 55, no. 3, pp. 202-212, ISSN: 0120-0275.
- Mariño, Y. (2014). Respuesta fotosintética de *Coffea arabica* L. a diferentes niveles de luz y disponibilidad hídrica. *Acta Agronómica*, Vol. 63, no. 2, pp.128-135, ISSN: 0120-2812.
- Machado, M. (2014). Células vegetales en el contexto del cambio climático. *Archivos brasileños de biología y tecnología*, Vol. 57, no. 1, pp. 126-137, ISSN: 1516-8913.
- Machado, M. y Ríos, L. (2016). Sostenibilidad en agroecosistemas de café de pequeños agricultores: revisión sistemática. *Idesia (Arica)*, Vol. 34, no.2, pp.15-23, ISSN: 0718-3429.
- Machado, M., Nicholls, C., Márquez, S. y Turbay, S. (2015). Caracterización de nueve agroecosistemas de café de la cuenca del río Porce, Colombia, con un enfoque agroecológico. *Idesia (Arica)*, 33(1), 69-83, ISSN: 0718-3429.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2014. Boletín situacional café. Consultado: 17 de agosto del 2018, en: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2014/eboletin-situacional-de-cafe-2014-actualizado.pdf>

Manson, R., Contreras, A., y López, F. (2008). Estudios de la biodiversidad en cafetales. En R. Manson, V. Hernández, S. Gallina, y K. Mehltreter. 2008. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. México: Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), pp. 1-14, ISBN: 9707091126.

Marín, T., Gómez, F., Aguilar, N., Murguía, J., Trejo, L., Pastelín, M. y Castañeda, O. (2018). Variaciones en área foliar y concentraciones de clorofilas y nutrimentos esenciales en hojas de café robusta (*coffea canephora* p.) Durante un ciclo anual. *Agroproductividad*, Vol. 11, no. 4, pp. 36-41, ISSN : 2594-0252.

Martins, S., Galmes, J., Cavatte, P., Pereira, L., Ventrella, M. y DaMatta, F. (2014). Understanding the Low Photosynthetic Rates of Sun and Shade Coffee Leaves: Bridging the Gap on the Relative Roles of Hydraulic, Diffusive and Biochemical Constraints to Photosynthesis. *PLoS ONE*, Vol. 9, no. 4, pp. 95571, ISSN: 2474-509.

Martins, S., Detmann, K., Reis, J., Pereira, L., Sanglard, L., Rogalski, M. y DaMatta, F. (2013). Photosynthetic induction and activity of enzymes related to carbon metabolism: insights into the varying net photosynthesis rates of coffee sun and shade leaves. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, Vol. 25, no.1, pp. 62-69, ISSN 2197-0025.

Medina, J., Ruiz, R., Gómez, J., Sánchez, J., Gómez, G. y Pinto, O. (2016). Estudio del

sistema de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Frailesca, Chiapas. Ciencia UAT, Vol. 10, no. 2, pp. 33-43, ISSN: 2007-7521.

Melke , A. y Fetene, M. (2014). Eco-physiological basis of drought stress in coffee (*Coffea arabica*, L.) in Ethiopia. Theoretical and Experimental Plant Physiology, Vol. 26, no. 3-4, pp. 225–239, ISSN: 2197-0025.

Misgana, Z., Daba, G. y Debela, A. (2018). Modeling Leaf Area Estimation for Arabica Coffee (*Coffea arabica* L.) Grown at Different Altitudes of Mana District, Jimma Zone. American Journal of Plant Sciences, Vol. 9, no.6, pp. 1292-1307, ISSN: 2158-2742.

Monteros, A., Sumba, E. y Salvador, S. (2017). Productividad agrícola en el Ecuador. Sistema de información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. Consultado: el 22 de marzo del 2018 en: http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/indice_productividad.pdf.

Montes, O., Armando, O. y Amilcar, R. (2012). Infestación e incidencia de broca, roya y mancha de hierro en cultivo de café del departamento del Cauca. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 10, no. 1, pp. 98-108, ISSN: 1692-3561

Montoya, E. y Jaramillo, Á. (2016). Efecto de la temperatura en la producción de café. Cenicafé, Vol. 67, no. 2, pp.58-65, ISSN: 0120-0275.

Montoya, E., Hernández, J., Unigarro, C. y Flórez, C. (2017). Estimación del área foliar en café variedad castillo® a libre exposición y su relación con la producción. Cenicafé, 68(1), 55-61, ISSN: 0120-0275.

- Muliasari, A., Wachjar, A. y Supijatno. (2015). The Growth of Arabica Coffee (*Coffea arabica* L.) Seedling on Combination of Inorganic-organic Fertilizers and Shading Level. *Asian Journal of Applied Sciences*, Vol. 3, no. 6, pp. 739-746, ISSN: 2321–0893.
- Muschler, R., Yépez, C., Rodríguez, A., Peters, W. y Jurgen, H. (2006). Valoración económica de los impactos ecológicos de zonas cafetaleras. En: H. Jurgen, L. Soto and J. Barrera, *El cafetal del futuro Realidades y Visiones*, 1 ed. Aachen: Shaker Verlag, pp. 333-419, ISBN: 9783832250522.
- Negasso, I., Mulatu, W. y Tamrat, G. (2015). A study of the effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea Arabica*) in Ethiopia. *International Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 5, no. 5, pp. 748-752, ISSN: 2167-0447.
- Nesper, M., Kueffer, C., Krishnan, S., Kushalappa, C. y Ghazoul, J. (2017). Shade tree diversity enhances coffee production and quality in agroforestry systems in the Western Ghats. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 247, no.1, pp. 172–181, ISSN: 0167-8809.
- Niglas, A., Kupper, P., Tullus, A. y Sellin, A. (2014). Special Issue: Scaling Effects Regulating Plant Response to Global Change. *AoB Plants*, Vol. 6, no.1, pp. 1-14, ISSN: 2488-7000.
- Nguy, A., Suyker, A. y Xiao, X. (2015). Modeling gross primary production of maize and soybean croplands using light quality, temperature, water stress, and phenology. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 1, no. 213, pp. 160–172, DOI: 10.1016/j.agrformet.2015.04.008.
- Ocampo, O., Castañeda, K. y Vélez, J. (2017). Caracterización de los ecotipos cafeteros colombianos en el Triángulo del Café. *Perspectiva Geográfica*, Vol. 22, no. 1, pp.

89-108, ISSN: 0123-3769.

Olios, G., Dutra, J., Pereira, W., Ramalho, J. y Partelli, F. (2016). Microclimate and development of *Coffea canephora* cv. Conilon under different shading levels promoted by Australian cedar (*Toona ciliata* M. Roem. var. *Australis*). *Australian Journal of Crop Science*, Vol. 10, no. 4, pp. 528-538, ISSN:1835-2707.

Orozco, A., Cardona, C., y Araméndiz, H. (2012). Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, Vol. 15, no. 1, pp. 63-76, ISSN:0123-4226.

Ortuño, A., Díaz, L. y Conesa, J. (2015). Evolución de la Fisiología Vegetal en los últimos 100 años. *Revista Eubacteria*, Vol. 1, no. 34, pp. 74-82, ISSN: 1697-0071.

Partelli, F., Araújo, A., Vieira, H., Dias, J., Tavares, L. y Ramalho, J. (2014). Microclimate and development of 'Conilon' coffee intercropped with rubber trees. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Vol. 19, no. 11, pp. 872-881, ISSN: 1678-3921.

Patiño, A., y Jaimez, R. (2016). Relación fuente-fuerza de la demanda en el aborto de estructuras reproductivas, tasa fotosintética y rendimiento en *Capsicum annuum*. *Agrociencia*, Vol. 50, no. 5, pp. 649-664, ISSN: 1405-3195.

Pérez, E. y Carril, U. (2009). Fotosíntesis: Aspectos Básicos. *Reduca*, Vol. 2 no. 3, pp. 1-47, ISSN: 1989-3620.

Pérez, E. y Geissert, D. (2006). Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.) - Palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). *Interciencia*, Vol. 31, no. 8, pp. 556-562, ISSN: 0378-1844.

Pompelli, M., Martins., S. C., Antunes, W., Chaves, A. R., y DaMatta, F. M. (2010). Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and

light availabilities in winter conditions. *Journal Plant Physiology*, Vol. 167, no. 13, pp. 1052 – 1060, ISSN: 0176-1617.

Poltronieri, P., y Rossi, F. 2016. Challenges in Specialty Coffee Processing and Quality Assurance. *Challenges*, Vol. 7, no. 19, pp. 1-22, ISSN: 2078-1547.

Ponce, L., Orellana, K. y Acuña, I. (2016). Diagnóstico y propuesta de un sistema de innovación tecnológica cafetalera en Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, Vol. 4, no. 2, pp. 120-129, ISSN: 2310-3469.

Ponce, L., Acuña, I., Proaño, W., y Orellana, K. (2018). El sistema agroforestal cafetalero. Su importancia para la seguridad agroalimentaria y nutricional en Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, Vol. 6, no.1, pp. 116-129, ISSN:1996–2452.

Pro Ecuador. (2013). ANÁLISIS SECTORIAL DE CAFÉ. Consultado: el 03 de julio del 2018 en: http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/05/PROEC_AS2013_CAFE.pdf.

Queiroz, R., Nardin, C., Fazuoli, L. y Braghini, M. (2014). Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. *Biotemas*, Vol. 27, no. 4, pp. 1-10, ISSN: 2175-7925.

Ramírez, J. (2017). Importancia de los árboles de sombra para la caficultura sostenible. Costa Rica: Ramírez Caficultura desde Costa Rica.

Reyes, D., Mercado, G., Escamilla, E. y Robledo, J. (2018). Innovaciones tecnológicas en la producción de planta de café (*Coffea arabica* L.). *Agroproductividad*, Vol. 11, no. 4, pp. 74-79, ISSN: 2594-0252.

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.

Ricci, M., Cochetto, D. y Delgado, F. (2013). Condições microclimáticas, fenologia e morfologia externa de cafeeiros em sistemas arborizados e a pleno sol. *Coffee Science*, Vol. 8, no. 3, pp. 379-388, ISSN: 1809 6875.

Rivera , M., Nikolskii, I., Castillo, M., Ordaz, V., Díaz, G. y Guajardo, R. (2013). Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global. *Terra Latinoamericana*, Vol. 31, no. 4, pp. 305-313, ISSN: 2395-8030.

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.

Righi, C., Bernardes, M., Pereira, A., Rodrigues, C., Neto, D., y Favarin, J. (2007). Measurement and simulation of solar radiation availability in relation to the growth of coffee plants in an agroforestry system with rubber trees. *Revista Árvore*, Vol. 31, no.2, pp. 195-207, ISSN: 0100-6762.

Rodrigues, W., Martins, M., Fortunato, A., Rodrigues, A., Semedo, J., Simões, M., Pais, I., Leitão, A., Colwell, F., Goulao, L., Máguas, C., Maia , R., Partelli, F., Campostrini, E., Scotti, P., Ribeiro, A., Lidon, F., DaMatta, Fábio., y Ramalho, J. (2015). Long-term elevated air [CO₂] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. *Global Change Biology*, Vol. 22, no. 1, pp. 415–431, ISSN:1365-2486.

Rodríguez, N., Martins, S., Cavatte, P., Silva, P., Morais, L., Pereira, L., Reis, J., Ávila, R., Godoy, A., Lavinski, A. y DaMatta, F. (2014). Morphological and physiological acclimations of coffee seedlings to growth over a range of fixed or changing light

supplies. *Environmental and Experimental Botany*, Vol.102, no. 1, pp. 1-10, ISSN: 0098-8472.

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*, Vol. 65, no.3, pp. 248 - 254, ISSN: 2323-0118.

Rojas, A., Hartman, K. y Almonacid, R. (2012). El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. *Ambiente y Desarrollo*, VOL. 16, no. 30, pp. 93-104, ISSN: 0121-7607.

Rojas, T., Soto, C., y Montero, W. (2012). Análisis del crecimiento de cinco híbridos de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante la metodología del análisis funcional. *Agronomía Costarricense*, Vol. 36, no. 2, pp. 29-46, ISSN: 2215-2202.

Rosabal, L., Martínez, L., Reyes, Y., Dell'Amico, J. y Núñez, M. (2014). Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. *Cultivos Tropicales*, Vol. 35, no. 3, pp. 24-35 ISSN: 0258-5936.

Sade, D., Sade, N., Shriki, O., Lerner, S., Gebremedhin, A., Karavani, A., Brotman, Y., Osorio, S., Fernie, A., Willmitzer, L., Czosnek, H. y Moshelion, M. (2014). Water Balance, Hormone Homeostasis, and Sugar Signaling Are All Involved in Tomato Resistance to Tomato Yellow Leaf Curl Virus. *Plant Physiology*, Vol. 165, no. 4, pp.1684-1697, ISSN: 2498-9233.

Saleh, M., Hafez, O., N., Zaiid, N., El-Shamma, M. y Maksoud, M. (2013). Performance of Arabica Coffee Grown in Two Locations in Egypt. *World Applied Sciences*

Journal, Vol. 25, no. 7, pp. 988-992, ISSN: 1818-4952.

Sales, E., Méndez, E., Caporal, F. y Faria, J. (2013). Agroecological Transition of Conilon Coffee (*Coffea canephora*) Agroforestry Systems in the State of Espírito Santo, Brazil. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, Vol.37, no. 1, pp. 405–429, ISSN: 2168-3565.

Salinas, A. y Ávila, C. (2016). Traditional coffee agroecosystems in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz (Mexico): a refuge for ecologically important Coleoptera. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*, Vol. 5, no. 6, pp. 224-234, ISSN: 2315-5094.

Santistevan, M., Julca, A., Borjas, R. y Tuesta, O. (2014). Caracterización de Fincas Cafetaleras en la Localidad de Jipijapa (Manabí, Ecuador). *Ecología Aplicada*, Vol. 13, no. 2, pp. 187-192, ISSN 1726-2216.

Sánchez, M. y Aguirreolea, J. (2008). El agua en la planta. En J. Azcon, y M. Talón, *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2 Ed. España: Macgraw-Hill, pp. 25-41, ISBN: 978-844-815-168-3

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.

Scheel, G., Pauli, E., Rakocevic, M., Bruns, R. y Scarminio, L. (2016). Environmental stress evaluation of *Coffea arabica* L. leaves from spectrophotometric fingerprints by PCA and OSC–PLS–DA. *Arabian Journal of Chemistry*, Vol. 30, no. 30-30, pp. 1-7, ISSN: 1878-5352.

Segev, R., Nannapaneni, R., Sindurakar, P., Kim, H., Read, H. y Lijek, S. (2015). The

Effect of the Stomatal Index on the Net Rate of Photosynthesis in the Leaves of *Spinacia oleracea*, *Vinca minor*, *Rhododendron* spp, *Epipremnum aureum*, and *Hedera* spp. *Journal of Emerging Investigator*, Vol. 1, no. 1, pp. 1-5.

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

Soto, L., Villalvazo, V., Jiménez, G., Ramírez, N., Montoya, G. y Sinclair, F. (2007). The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, México. *Biodiversity and Conservation*, Vol. 16, no. 2, pp. 419-436, ISSN: 1572-9710.

Soto, F., Vantour, A., Hernández, A., Planas, A., Figueroa, A., Fuentes, P., Tejada, T., Morales, M., Vázquez, R., Alfonso, H., Vázquez, L. y Caro, P. (2001). La zonificación agroecológica del *Coffea arabica* L. en Cuba. Macizo Montañoso Sagua-Nipe-Baracoa. *Cultivos Tropicales*, Vol. 22, no. 3, pp. 27-51, ISSN: 0258-5936.

Suthar, K., Yadav, P., Sutariya, K. y Menon, S. (2017). Counting of Stomata from Different Types of Leaves. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, Vol. 1, no. 6, pp. 1068-1075, ISSN: 2456-6470.

Suyker, A. y Verma, S. (2012). Gross primary production and ecosystem respiration of irrigated and rainfed maize–soybean cropping systems over 8 years. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 1, no. 16), pp. 12–24, DOI: 10.1016/j.agrformet.2012.05.021.

Tadesse , G., Zavaleta , E. y Shennan, C. (2013). Coffee landscapes as refugia for native woody biodiversity as forest loss continues in southwest Ethiopia. *Biological Conservation*, Vol. 169, no. 1, pp. 384–391, ISSN: 0006-3207.

- Taiz, L. y Zeiger, E. (2002). Plant physiology. 3rd edn. Annals of Botany, Vol. 91, no. 6, pp. 675, ISBN: 0878938230.
- Taugourdeau, S., Maire, G., Avelino, J., Jones, J., Ramirez, L., Jara, M., Charbonnier, F., Gómez, F., Harmanda, J., Rapidel, B., Vaast, P. y Rousard, O. (2014). Leaf area index as an indicator of ecosystem services and management practices: An application for coffee agroforestry. Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 192, no. 1, pp. 19-37, ISSN: 0167-8809.
- Teixeira, A., Pereira, A., Baião, A., Oliveira, A. y Rocha, R. (2013). Performance of arabica coffee cultivars under high temperature conditions. African Journal of Agricultural Research, Vol. 8, no.33, pp. 4402-4407, ISSN: 1991-637X.
- Tian, M., Yu, G., He, N. y Hou, J. (2016). Leaf morphological and anatomical traits from tropical to temperate coniferous forests: Mechanisms and influencing factors. Scientific Reports, Vol. 6, no.19703, pp. 1-10, ISSN: 2045-2322.
- Toledo, V. y Moguel, P. (2013). Coffee and Sustainability: The Multiple Values of Traditional Shaded Coffee. Journal of Sustainable Agriculture, Vol. 36, no. 3, pp. 353-377, ISSN 1540-7578.
- Tounekti, T., Mahdhi, M., Al-Turki, T. y Khemira, H. (2018). Water relations and photo-protection 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.
- Tukey, J. (1958). Bias and confidence in not quite large samples. The Annals of Mathematical Statistics, Vol. 29, no. 2, pp. 614-623, ISSN: 0003-4851.
- Turbay, S., Nates, B., Jaramillo, F., Vélez, J. y Ocampo, O. (2014). Adaptación a la

variabilidad climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, no. 85, pp. 95-112, ISSN: 0188-4611.

Unigarro, C., Jaramillo, Á. y Flórez, C. (2017). Evaluation of six leaf angle distribution functions in the Castillo coffee variety. *Agronomía Colombiana*, Vol. 35, no. 1, pp. 23-28, ISSN: 0120-9965.

Villers, L., Arizpe, N., Orellana, R., y Hernández, J. (2009). Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*, Vol. 34, no. 5, pp. 322-329, ISSN: 0378-1844.

Villavicencio, L. (2013). Caracterización agroforestal en sistemas de café tradicional y rústico, en San Miguel, Veracruz, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, Vol. 19, no. 1, pp. 67-80, ISSN: 2007-4018.

Webster, R., Driever, S., Kromdijk, J., McGrath, J., Leakey, A., Siebke, K., Tanvir, B., Peloe, T., Lawson, T. y Long, S. (2016). High C3 photosynthetic capacity and high intrinsic water use efficiency underlies the high productivity of the bioenergy grass *Arundo donax*. *Scientific Reports*, Vol. 6, no. 20694, pp. 1-10, Doi: 10.1038/srep20694.

Ye, S., Shao, Q., Xu, M., Li, S., Wu, M., Tan, X. y Su, L. (2017). Effects of Light Quality on Morphology, Enzyme Activities, and Bioactive Compound Contents in *Anoectochilus roxburghii*. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 8, no. 1, pp. 857, ISSN: 2858-8604.

Yin, X. y Struik, P. 2009. C3 and C4 photosynthesis models: An overview from the perspective of crop modelling. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, Vol. 57, no. 1, pp. 27-38, ISSN 1573-5214.

Zapata, P., Andrade, H. y Nieto, Z. (2017). Comportamiento Ecofisiológico Del Cafeto (*Coffea Arabica* L.) Cv. Castillo en Sistemas Agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca. Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica, Vol. 20, no. 1, pp. 61-70, ISSN: 0123-4226.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Porcentajes de sombra en tratamientos

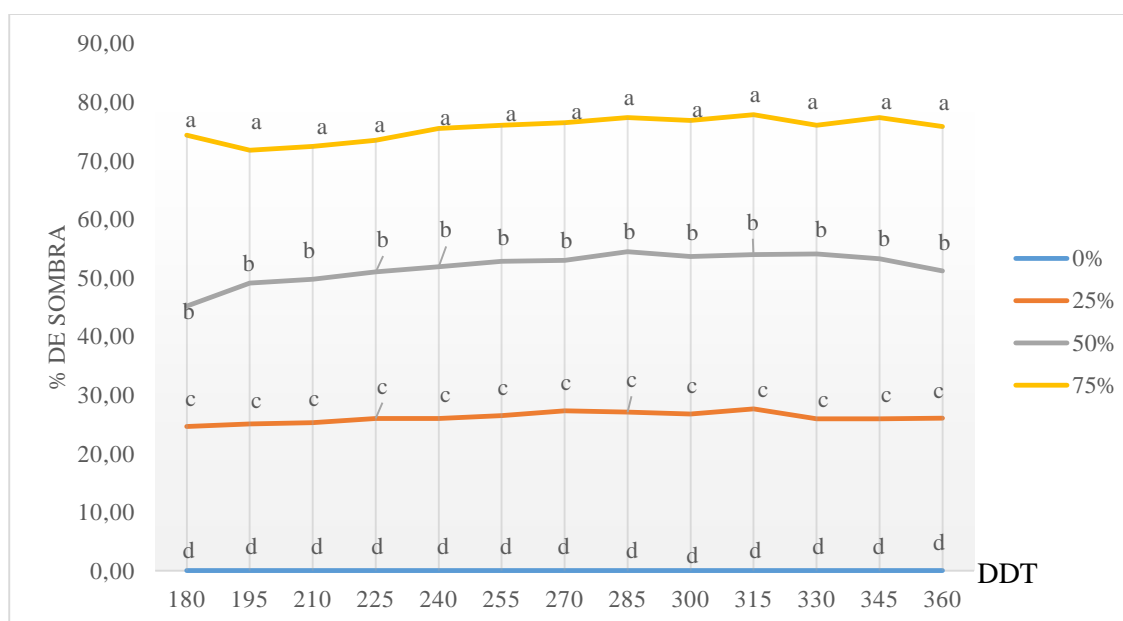


Figura 1. Comportamiento de los niveles de sombra sobre las plantas de cafeto cultivadas en la Hacienda Cristal del cantón Loja, durante el periodo septiembre 2017-marzo 2018.

Anexo 2. Tablas de los análisis de varianza y test de Tukey de los diferentes indicadores evaluados.

Tabla 1. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 180 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	20,43	a
25 %	19,64	a
50 %	16,03	b
75 %	16,36	b
Error estándar	0,39	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 2. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 195 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	21,20	a
25 %	20,15	b
50 %	19,64	c
75 %	19,70	c
Error estándar	0,13	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 3. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 210 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	24,34	a
25 %	22,13	b
50 %	21,78	c
75 %	21,73	c
Error estándar	0,10	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 4. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 225 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	23,34	a
25 %	22,31	a
50 %	22,14	a
75 %	20,42	a
Error estándar	1,42	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 5. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 240 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	24,02	a
25 %	23,23	a
50 %	21,14	b
75 %	21,79	b
Error estándar	0,42	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 6. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 255 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	25,28	a
25 %	24,32	a
50 %	21,15	b
75 %	21,54	b
Error estándar	0,66	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 7. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 270 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	18,62	a
25 %	18,13	a
50 %	15,56	b
75 %	15,58	b
Error estándar	0,27	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 8. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 285 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	17,98	a
25 %	17,25	b
50 %	16,06	c
75 %	15,85	c
Error estándar	0,21	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 9. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 300 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	20,75	a
25 %	20,44	a
50 %	19,70	b
75 %	18,50	c
Error estándar	0,18	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 10. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 315 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	20,57	a
25 %	20,47	a
50 %	18,92	b
75 %	18,39	b
Error estándar	0,28	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 11. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 330 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	23,30	a
25 %	22,75	a
50 %	18,81	b
75 %	18,31	b
Error estándar	0,37	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 12. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 345 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	17,86	a
25 %	17,16	a
50 %	16,14	b
75 %	15,78	b

Error estándar	0,36
-----------------------	------

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 13. Test de Tukey Temperatura del aire las plantas de cafeto, a los 360 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	21,03	a
25 %	19,90	b
50 %	19,38	c
75 %	19,64	bc
Error estándar	0,13	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 14. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de cafeto, a los 180 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	57,70	a
25%	58,50	a
50%	59,40	a
75%	59,60	a
Error estándar	1,2	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 15. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de cafeto, a los 195 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	56,90	b
25%	57,50	b
50%	57,60	b
75%	61,60	a
Error estándar	0,13	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 16. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de cafeto, a los 210 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	56,70	c
25%	58,90	c
50%	62,20	b
75%	64,90	a
Error estándar	0,97	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 17. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de cafeto, a los 225 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	58,30	b
25%	58,40	b
50%	60,10	ab
75%	62,20	a
Error estándar	1,05	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 18. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de café, a los 240 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	45,40	c
25%	53,50	b
50%	63,60	a
75%	66,50	a
Error estándar	1,50	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 19. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de café, a los 255 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	37,50	d
25%	46,70	c
50%	55,60	b
75%	75,00	a
Error estándar	2,53	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 20. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de café, a los 270 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	73,80	b
25%	75,80	b
50%	77,50	ab
75%	83,00	a
Error estándar	2,26	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 21. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de café, a los 285 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	78,80	b
25%	78,90	b
50%	82,50	ab
75%	86,50	a
Error estándar	2,25	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 22. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de café, a los 300 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	76,70	b
25%	77,60	b
50%	83,70	a
75%	84,70	a
Error estándar	1,05	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 23. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de cafeto, a los 315 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	69,60	b
25%	72,40	b
50%	79,70	a
75%	80,20	a
Error estándar	1,70	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 24. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de cafeto, a los 330 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	53,80	c
25%	68,90	b
50%	71,80	b
75%	80,80	a
Error estándar	1,62	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 25. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de cafeto, a los 345 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	81,70	c
25%	85,40	b
50%	87,00	b
75%	91,00	a
Error estándar	1,36	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 26. Test de Tukey de la Humedad Relativa de las plantas de cafeto, a los 360 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	63,80	b
25%	65,70	b
50%	66,10	ab
75%	70,90	a
Error estándar	1,90	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 27. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 180 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	0,00	d
25 %	24,61	c
50 %	50,98	b
75 %	74,33	a
Error estándar	0,99	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 28. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 195 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	0,00	d
25 %	22.99	c
50 %	43.81	b
75 %	71.75	a
Error estándar	1.68	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 29. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 210 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	0,00	d
25 %	25.25	c
50 %	45.11	b
75 %	72.38	a
Error estándar	1.95	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 30. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 225 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	0,00	d
25 %	25.97	c
50 %	49.08	b
75 %	73.45	a
Error estándar	1.38	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 31. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 240 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	0,00	d
25 %	25.97	c
50 %	51.88	b
75 %	75.46	a
Error estándar	0.40	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 32. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 255 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	0,00	d
25 %	26.44	c
50 %	52.79	b
75 %	76.01	a
Error estándar	1.31	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 33. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 270 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	0,00	d
25 %	27.24	c
50 %	52.94	b
75 %	76.43	a
Error estándar	0.63	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 34. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 285 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	0,00	d
25 %	27.05	c
50 %	54.45	b
75 %	77.30	a
Error estándar	1.19	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 35. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 300 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	0,00	d
25 %	26.71	c
50 %	53.61	b
75 %	76.80	a
Error estándar	0.83	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 36. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 315 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	0,00	d
25 %	27.60	c
50 %	53.91	b
75 %	77.82	a
Error estándar	0.53	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 37. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 330 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	0,00	d
25 %	25.89	c
50 %	54.04	b
75 %	76.00	a
Error estándar	0.47	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 38. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 345 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
-------------------	-------	---------------

0%	0,00	d
25 %	25.89	c
50 %	53.22	b
75 %	77.32	a
Error estándar	0.62	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 39. Test de Tukey del porcentaje de sombra de las plantas de cafeto, a los 360 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0%	0,00	d
25 %	26.00	c
50 %	51.12	b
75 %	75.77	a
Error estándar	0.48	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 40. Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 180 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (cm)	Significancia
0 %	38,51	b
25 %	42,36	a
50 %	34,63	c
75 %	37,25	bc
Error estándar	1.27	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 41. Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 210 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (cm)	Significancia
0 %	41.60	ab
25 %	44.52	a
50 %	37.24	c
75 %	38.60	bc
Error estándar	1.56	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 42. Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 240 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (cm)	Significancia
0 %	44,38	ab
25 %	46,69	a
50 %	40,64	b
75 %	40,62	b
Error estándar	1.85	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 43. Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 270 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (cm)	Significancia
0 %	46,94	ab
25 %	49,23	a
50 %	42,31	b
75 %	43,21	b
Error estándar	1.87	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 44. Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 300 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (cm)	Significancia
0 %	48,77	ab
25 %	51,55	a
50 %	43,74	b
75 %	44,18	b
Error estándar	2.05	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 45. Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 330 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (cm)	Significancia
0 %	50,73	ab
25 %	53,9000	a
50 %	45,24	b
75 %	45,70	b
Error estándar	2.17	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 46. Test de Tukey de la altura de la planta de café, a los 360 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (cm)	Significancia
0 %	53,88	ab
25 %	56,45	a
50 %	46,88	c
75 %	47,66	bc
Error estándar	2.38	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 47. Test de Tukey del diámetro de la planta de café, a los 180 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (mm)	Significancia
0 %	7,1240	a
25 %	6,1980	a
50 %	5,8940	b
75 %	6,9500	ab
Error estándar	0.34	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 48. Test de Tukey del diámetro de la planta de café, a los 210 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (mm)	Significancia
0 %	8,1250	a
25 %	7,0920	a
50 %	6,8150	a
75 %	7,5340	a
Error estándar	0.49	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 49. Test de Tukey del diámetro de la planta de café, a los 240 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (mm)	Significancia
0 %	9,2130	a
25 %	8,1080	ab
50 %	7,3910	b
75 %	7,9250	ab
Error estándar	0.50	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 50. Test de Tukey del diámetro de la planta de café, a los 270 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (mm)	Significancia
0 %	9,9170	a
25 %	8,7530	ab
50 %	7,9030	b
75 %	8,8430	ab
Error estándar	0.49	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 51. Test de Tukey del diámetro de la planta de café, a los 300 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (mm)	Significancia
0 %	10,93	a
25 %	9,75	ab
50 %	8,67	b
75 %	9,17	b
Error estándar	0.54	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 52. Test de Tukey del diámetro de la planta de café, a los 330 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (mm)	Significancia
0 %	11.89	a
25 %	10.88	ab
50 %	9.31	b
75 %	9.90	b
Error estándar	0.62	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 53. Test de Tukey del diámetro de la planta de café, a los 360 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media (mm)	Significancia
0 %	12.70	a
25 %	12.30	ab
50 %	10.55	b
75 %	10.55	b
Error estándar	0.67	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 54. Test de Tukey del número de ramas de café, a los 180 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	4.7	a
25 %	5.2	a
50 %	3.5	a
75 %	4.7	a
Error estándar	0.78	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 55. Test de Tukey del número de ramas de café, a los 210 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	5.4	a
25 %	6	a
50 %	4.1	a
75 %	4.9	a
Error estándar	0.78	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 56. Test de Tukey del número de ramas de café, a los 240 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	8.00	a
25 %	7.50	a
50 %	6.20	a
75 %	5.90	a
Error estándar	0.99	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 57. Test de Tukey del número de ramas de café, a los 270 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	8.7	a
25 %	8.9	a
50 %	6.60	a
75 %	7.00	a
Error estándar	1.10	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 58. Test de Tukey del número de ramas de café, a los 300 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	9.40	a
25 %	9.80	a
50 %	6.90	a
75 %	7.20	a
Error estándar	1.17	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 59. Test de Tukey del número de ramas de café, a los 330 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	9.40	a
25 %	9.80	a
50 %	6.90	a
75 %	7.20	a
Error estándar	1.17	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 60. Test de Tukey del número de ramas de café, a los 360 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	10.40	ab
25 %	11.70	a
50 %	7.70	b
75 %	7.80	b
Error estándar	1.26	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 61. Test de Tukey del número de hojas del café, a los 180 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	30.70	ab
25 %	35.40	a
50 %	22.40	ab
75 %	26.00	b
Error estándar	3.71	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 62. Test de Tukey del número de hojas del café, a los 210 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	35.30	ab
25 %	38.70	a
50 %	26	b
75 %	26.80	b

Error estándar	3.95
-----------------------	------

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 63. Test de Tukey del número de hojas del café, a los 240 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	50.80	ab
25 %	52.00	a
50 %	33.10	c
75 %	35.20	bc
Error estándar	5.82	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 64. Test de Tukey del número de hojas del café, a los 270 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	59.40	ab
25 %	63.60	a
50 %	39.80	b
75 %	39.10	b
Error estándar	7.99	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 65. Test de Tukey del número de hojas del café, a los 300 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	63.70	ab
25 %	74.40	a
50 %	42.70	b
75 %	44.00	b
Error estándar	9.21	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 66. Test de Tukey del número de hojas del café, a los 330 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	69.30	ab
25 %	82.90	a
50 %	48.60	b
75 %	45.5.	b
Error estándar	9.96	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 67. Test de Tukey del número de hojas del café, a los 360 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	80.40	ab
25 %	95.50	a

50 %	54.10	b
75 %	50.40	b
Error estándar	11.34	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 67. Test de Tukey del número de hojas del café, a los 360 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	80.40	ab
25 %	95.50	a
50 %	54.10	b
75 %	50.40	b
Error estándar	11.34	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 68. Test de Tukey del número de nudos por ramas de las plantas de café, a los 180 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	2,29	a
25 %	2,40	a
50 %	1,73	ab
75 %	1,40	b
Error estándar	0,28	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 69. Test de Tukey del número de nudos por ramas de las plantas de café, a los 210 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	2.42	ab
25 %	3.02	a
50 %	2.24	ab
75 %	1.70	b
Error estándar	0.33	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 70. Test de Tukey del número de nudos por ramas de las plantas de café, a los 240 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	2.74	a
25 %	3.37	a
50 %	2.66	a
75 %	1.71	b
0.29172	0.29	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 71. Test de Tukey del número de nudos por ramas de las plantas de café, a los 270 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	3.00	ab

25 %	3.63	a
50 %	2.71	b
75 %	2.23	b
Error estándar	0.31	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 72. Test de Tukey del número de nudos por ramas de las plantas de café, a los 300 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	3.39	a
25 %	3.97	a
50 %	3.30	a
75 %	2.43	b
Error estándar	0.30	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 73. Test de Tukey del número de nudos por ramas de las plantas de café, a los 330 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	3.54	a
25 %	4.21	a
50 %	3.41	ab
75 %	2.55	b
Error estándar	0.35	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 74. Test de Tukey del número de nudos por ramas de las plantas de café, a los 360 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	3,86	ab
25 %	4,47	a
50 %	3,44	bc
75 %	2.79	c
Error estándar	0,30	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 75. Test de Tukey de la longitud de nudos por ramas de las plantas de café, a los 180 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	2,7	a
25 %	3,09	a
50 %	2,33	a
75 %	2,84	a
Error estándar	0,41	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 76. Test de Tukey de la longitud de nudos por ramas de las plantas de café, a los 210 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	3,04	a
25 %	3,18	a
50 %	2,50	a
75 %	2,92	a
Error estándar	0,34	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 77. Test de Tukey de la longitud de nudos por ramas de las plantas de café a los 240 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	3,31	ab
25 %	3,46	a
50 %	2,64	b
75 %	3,26	ab
Error estándar	0,33	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 78. Test de Tukey de la longitud de nudos por ramas de las plantas de café, a los 270 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	3,52	ab
25 %	3,93	a
50 %	2,78	c
75 %	3,32	b
Error estándar	0,20	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 79. Test de Tukey de la longitud de nudos por ramas de las plantas de café, a los 300 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	3,45	b
25 %	3,97	a
50 %	2,83	c
75 %	3,34	b
Error estándar	0,18	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 80. Test de Tukey de la longitud de nudos por ramas de las plantas de café, a los 330 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	3,54	b
25 %	4,14	a
50 %	2,91	c
75 %	3,52	b
Error estándar	0,15	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Tabla 81. Test de Tukey de la longitud de nudos por ramas de las plantas de café, a los 360 DDT, Hacienda Cristal, 2017-2018.

Niveles de sombra	Media	Significancia
0 %	3,61	b
25 %	4,80	a
50 %	3,25	b
75 %	3,65	b
Error estándar	0,25	

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$ (n=10)

Anexo 3. Evidencias fotográficas



Figura 2. Identificación de los tratamientos en estudio



Figura 3. Identificación y selección de las plantas en cada tratamiento

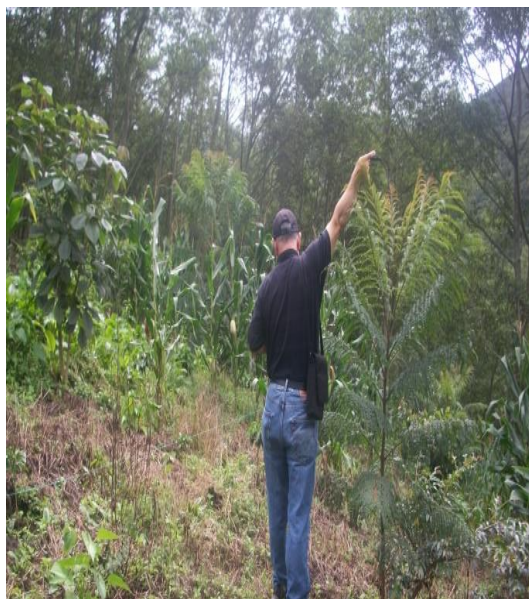


Figura 4. Medición de datos de luz externa e interna.



Figura 5. Toma de la altura de la planta



Figura 6. Toma de diámetro del tallo



Figura 7. Largo y ancho de la hoja de cafeto para la obtención de la superficie foliar





Figura 8. Colocación de la capa de esmalten



Figura 9. Obtención de lámina grabada para ser observada



Figura 10. Extracción de plantas para masa seca y estado hídrico



Figura 11. Obtenido hídrico relativo de las hojas de cafeto





Figura 12. Pesaje de masa seca radical y aérea de ls plantas de café.

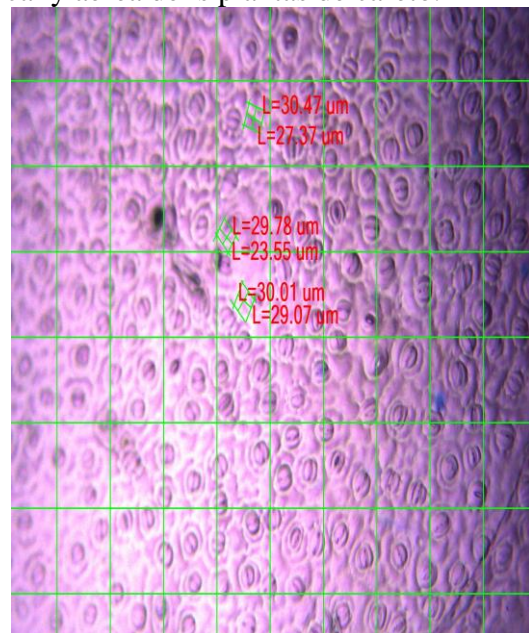
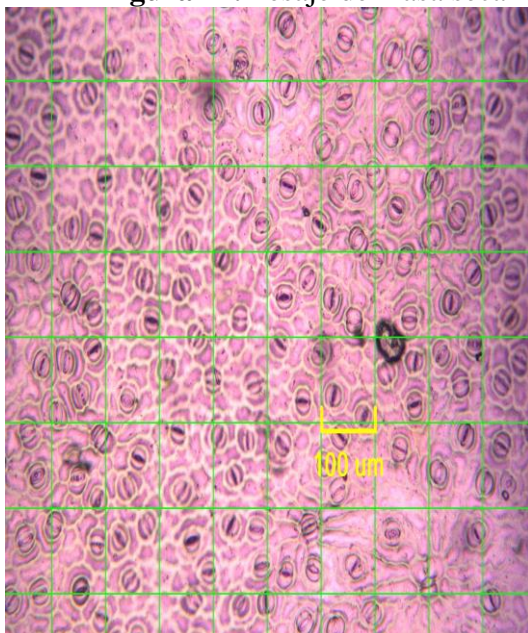


Figura 13. Densidad e índice, largo y ancho de estomas



Figura 14. Socialización de resultados

Anexo 4. Hojas de registro de datos.

Proyecto de tesis										
Efecto de la sombra en el desarrollo vegetativo del caféto (<i>Coffea arabica</i> L.) En sistemas agroforestales de la hacienda Cristal del cantón Loja.										
Sitio										
Variable										
Fecha de muestreo	Unidad experimental	Hora de muestreo	Tratamiento 25 % de sombra						Humedad	
			Lux		Temperatura		Humedad			
			Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
	Planta 2									
	Planta 3									
	Planta 4									
	Planta 5									
	Planta 6									
	Planta 7									
	Planta 9									
	Planta 11									
	Planta 14									
	Planta 15									

Tabla 82. Hoja de registro de variables climáticas

Proyecto de tesis													
Efecto de la sombra en el desarrollo vegetativo del café (<i>Coffea arabica</i> L.) En sistemas agroforestales de la hacienda Cristal del cantón Loja.													
Sitio													
Variable													
Fecha de muestreo													
Tratamiento 0% de sombra													
	Planta 1	Planta 2	Planta 4	Planta 6	Planta 7	Planta 9	Planta 10	Planta 11	Planta 13	Planta 14			
30/09/2017													
14/10/2017													
28/10/2017													
11/11/2017													
25/11/2017													
09/12/2017													
23/12/2017													
06/01/2018													
20/01/2018													
03/02/2018													
17/02/2018													
03/03/2018													
17/03/2018													
31/03/2018													
14/04/2018													
28/04/2018													

Tabla 83. Hoja de registro de variables de crecimiento