UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA Y ARBUSTIVA DE SOMBRA EN EL MICROCLIMA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN LA PARTE ALTA Y BAJA DE LA HACIENDA CRISTAL, EN EL CANTÓN LOJA.

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniera Agrónomo.

Autora

Cynthia Katherine Ortiz Valdez.

Director:

Ing. Klever Aníbal Chamba Caillagua.

Loja, Ecuador
2019

Universidad Nacional de Loja

CERTIFICACIÓN

Ing. Klever Aníbal Chamba Caillagua.
DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director de la tesis titulada **"Influencia de la Vegetación Arbórea y Arbustiva de Sombra en el Microclima de los Sistemas Agroforestales con Café (*Coffea arabica* L.) en la parte Alta y Baja de la Hacienda Cristal, en el cantón Loja"** de autoría de la señorita Egresada de la Carrera de Ingeniería Agronómica Cynthia Katherine Ortiz Valdez, certifico que dicha tesis ha sido dirigida, revisada y aprobada en su integridad y se ha realizado dentro del cronograma aprobado por las instancias correspondientes, por lo que autorizo su presentación pública y privada.

Loja, 30 de mayo del 2019

Atentamente,

Ing. Klever Chamba Caillagua
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN

Una vez cumplida la reunión del Tribunal de calificación del Trabajo Final de Tesis **"Influencia de la Vegetación Arbórea y Arbustiva de Sombra en el Microclima de los Sistemas Agroforestales con Café (*Coffea arabica* L.) en la parte Alta y Baja de la Hacienda Cristal, en el cantón Loja"** de autoría de la señorita Cynthia Katherine Ortiz Valdez, egresada de la Carrera de Ingeniería Agronómica, se le propuso realizar algunas correcciones, mismas que han sido incluidas en el documento final.

En tal virtud nos permite 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,09 de julio del 2019.

PhD. Max Encalada Córdova
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Mg.Sc. Paulina Fernández Guarnizo
VOCAL DE TRIBUNAL

Mg.Sc. Nohemí del Carmen Jumbo
VOCAL DE TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo, Cynthia Katherine Ortiz Valdez declaro ser autora del presente trabajo de investigación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

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

Autora: Cynthia Katherine Ortiz Valdez.

Firma: .....

Cédula: 1105919086.

Fecha: 12/07/2019.

CARTA DE AUTOTIZACIÓN

Yo, Cynthia Katherine Ortiz Valdez declaro ser autora de la tesis titulada "**Influencia de la Vegetación Arbórea y Arbustiva de Sombra en el Microclima de los Sistemas Agroforestales con Café (*Coffea arabica* L.) en la parte Alta y Baja de la Hacienda Cristal, en el cantón Loja**", como requisito para optar al grado de: **Ingeniera Agrónomo,** autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

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

Para constancia de esta autorización, en la cuidad de Loja, a los 12 días del mes de julio del dos mil diecinueve, firma el autor.

Firma: .....

Autora: Cynthia Katherine Ortiz Valdez.

Número de cédula: 1105919086.

Dirección: Malacatos-La Granja. **Correo electrónico:** kathyta_1996@oulook.com

Teléfono: 3105626. **Celular:** 0960130126

DATOS COMPLEMENTARIO:

Director de Tesis: Ing. Klever Chamba Caillagua.

Tribunal de Grado: PhD. Max Encalada Córdova.

Mg.Sc. Paulina Fernández Guarnizo.

Mg.Sc. Nohemí del Carmen Jumbo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por ser quien en toda mi vida me he encomendado para no desmayar en todas mis acciones.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por día a día confiar y creer en mí y en mis expectativas.

Así mismo, expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, quién me dio la bienvenida al mundo profesional, las oportunidades que me ha brindado son incomparables.

Al Ingeniero Klever Chamba por acompañarme y ser mi guía durante la elaboración de mi investigación, al Dr. Max Encalada por haber confiado en mí y haberme permitido ser participe del proyecto de investigación que estaba bajo su tutoría.

Al Dr. Gustavo Samaniego y a su familia por permitirme realizar el trabajo de investigación en su hacienda.

A mis amigos Kervin Elizalde, Leidy Gallegos, Jhoanna Silva, José González y a mis hermanos por ayudarme en el trabajo de campo.

Cynthia Katherine Ortiz Valdez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación, primeramente, a Dios, por ser el soporte y guía durante toda mi vida.

A mis padres Janet Valdez y Ángel Ortiz por su sacrificio diario y apoyo incondicional.

A mis hermanos, Marlon, Ángel y Keily, en especial a Fredy por inspirarme a seguir adelante.

A mi abuelo Jacinto Valdez y a la memoria de mi abuela Enma Piedra, por sus consejos y motivación.

A mis tíos José Salvador Piedra y Elena Galarza por su acogida y por brindarme darme ánimos cuando más lo necesitaba.

A mis amigos, en especial a Rebeca Herrera y Leydi Guerrero, compañeros, y a todas aquellas personas que han contribuido para el logro de mis objetivos.

Cynthia Katherine Ortiz Valdez

ÍNDICE GENERAL

		Pág.
CERTIFICACIÓN…….....		ii
APROBACIÓN…….....		iii
AUTORÍA…….		iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN……		v
AGRADECIMIENTO…….....		vi
DEDICATORIA…….....		vii
ÍNDICE GENERAL…….		viii
ÍNDICE DE CUADROS…….		xi
ÍNDICE DE FIGURAS……		xiii
ÍNDICE DE ANEXOS…….		xvi
RESUMEN……		xvii
ABSTRAT…….		xviii
1.	**INTRODUCCIÓN**……..	1
2.	**REVISIÓN DE LITERATURA**……..	4
2.1.	Condiciones edafoclimáticas para los cafetales……..	4
2.2.	Sistemas agroforestales (SAFs) con café (bajo sombra) ……..	5
2.3.	Algunas prácticas de manejo sistemas agroforestales en café.	5
2.4.	Estructuras arbóreas en cafetales……..	6
2.5.	Tipos de sombra en sistemas agroforestales con café……..	7
2.6.	Especies asociadas a los sistemas agroforestales con café….	7
2.7.	Efectos del exceso de sombra sobre la planta de café……..	8
2.8.	Ventajas y desventajas de los sistemas agroforestales en el suelo……	8
2.9.	Influencia de la sombra en la fisiología y crecimiento del cafeto……...	9
2.10.	Otras investigaciones similares……...	10
3.	**MATERIALES Y MÉTODOS**…….....	13
3.1.	Ubicación del lugar de estudio……	13

3.2. Materiales y equipos……. 14
3.2.1. Materiales y equipos de campo…… 14
3.2.2. Materiales y equipos de oficina……. 14
3.3. Metodología…….. 14
3.3.1. Caracterización de la composición y distribución de la vegetación arbórea y arbustiva de sombra en los SAF con café en la parte alta y baja de la hacienda Cristal…… 15
3.3.2. Determinación de las condiciones microclimáticas, en la parte alta y baja de la hacienda Cristal…… 17
4. **RESULTADOS**…….. 19
4.1. Composición y distribución de la vegetación arbórea y arbustivas…… 19
4.1.1. Sitio 1. Hacienda Cristal, parte alta…… 19
4.1.2. Sitio 2. Hacienda Cristal, parte baja……... 22
4.2. Condiciones y variaciones microclimáticas: Sombra, temperatura del aire, humedad relativa y vientos dentro de los SAFs con café en la parte alta, y baja de la hacienda Cristal……... 29
4.2.1. Sitio 1. Hacienda Cristal, parte alta…… 29
4.2.2. Sitio 2. Hacienda Cristal, parte baja……. 33
4.3. Comportamiento de la temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento de la estación “La Argelia” durante el periodo de evaluación, noviembre 2018-marzo 2019……... 39
5. **DISCUSIÓN**……... 42
5.1. Composición y distribución de la vegetación arbórea y arbustiva de sombra en SAF con café…….. 42
5.1.1. Especies arbóreas y arbustivas…….. 42
5.1.2. Altura de los árboles y arbustos……. 43
5.1.3. Diámetro de copa…….. 43
5.1.4. Índice de valor de importancia……. 44

5.2. Condiciones microclimáticas en los sistemas agroforestales con café…….. 44
5.2.1. Sombra……..... 44
5.2.2. Temperatura del aire…… 45
5.2.3. Humedad relativa…….. 46
5.2.4. Velocidad del viento……. 47
5.2.5. Precipitación……... 48
6. **CONCLUSIONES**…….. 50
7. **RECOMENDACIONES**……. 52
8. **REFERENCIAS**……. 53
9. **ANEXOS**……. 62

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Biotipo de la vegetación existente en el sistema agroforestal con café de la hacienda Cristal, parte alta……... 19

Cuadro 2. Especies arbóreas y arbustivas presentes en la parte alta de la hacienda Cristal, del cantón Loja……. 19

Cuadro 3. Coeficiente de variación de altura y diámetro de copa de especies con mayor número de individuos del SAF de la parte alta de la hacienda Cristal, del cantón Loja, evaluado en noviembre 2018 y marzo 2019…… 20

Cuadro 4. Biotipo de la vegetación existente en el sistema agroforestal con café de la hacienda Cristal, parte baja… 23

Cuadro 5. Especies arbóreas y arbustivas presentes en la parte baja de la hacienda Cristal, del cantón Loja, evaluado en noviembre 2018……. 24

Cuadro 6. Coeficiente de variación de altura y diámetro de copa de especies con mayor número de individuos del SAF de la parte baja de la hacienda Cristal, del cantón Loja, evaluado en noviembre 2018……. 25

Cuadro 7. Índice de valor de importancia de las especies presentes en la parte baja de la hacienda Cristal, del cantón Loja, noviembre 2018……..... 26

Cuadro 8. Medias de la diferencia de temperatura dentro y fuera del sistema agroforestal por parcelas en las seis evaluaciones efectuadas en la parte alta, en el periodo noviembre 2018-marzo 2019…… 30

Cuadro 9. Medias de diferencia de viento en el sistema agroforestal con café de la parte alta en el periodo noviembre-marzo, 2019……. 33

Cuadro 10. Medias de diferencia de viento en el sistema agroforestal con café de la parte baja en el periodo noviembre- marzo, 2019……... 35
Cuadro 11. Medias de diferencia de viento en el sistema agroforestal con café de la parte baja en el periodo noviembre- marzo, 2019……... 37
Cuadro 12. Correlaciones de las variables climáticas de la parte alta de la hacienda Cristal…….. 38
Cuadro 13. Correlaciones de las variables climáticas de la parte baja de la hacienda Cristal…….. 39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la hacienda Cristal en la parroquia San Sebastián del cantón y Provincia de Loja……. 13

Figura 2. Distribución vertical de la vegetación arbórea y arbustiva en la parte alta de la hacienda Cristal, obtenido en noviembre 2018……. 21

Figura 3. Distribución horizontal de la vegetación arbórea y arbustiva en la parte alta de la hacienda Cristal, obtenido en noviembre 2018……. 21

Figura 4. Distribución vertical de la vegetación arbórea y arbustiva en la parte alta de la hacienda Cristal, obtenido en marzo 2019……. 21

Figura 5. Distribución vertical de la vegetación arbórea y arbustiva en la parte alta de la hacienda Cristal, obtenido en marzo 2019……. 21

Figura 6. Distribución vertical de la vegetación arbórea y arbustiva en la parte baja de la hacienda Cristal…… 28

Figura 7. Distribución horizontal de la vegetación arbórea y arbustiva en la parte baja de la hacienda Cristal……. 28

Figura 8. Medias del porcentaje de sombra en las tres parcelas de la parte alta de la hacienda Cristal……. 29

Figura 9. Medias de la temperatura interna y externa en la parte alta de la hacienda Cristal, periodo noviembre 2018-marzo 2019……... 30

Figura 10. Medias de la humedad relativa interna y externa en la parte alta durante el periodo noviembre 2018- marzo 2019……. 31

Figura 11. Medias de la diferencia de humedad relativa en las tres parcelas de la parte alta de la hacienda Cristal, en las seis evaluaciones realizadas……. 31

Figura 12. Medias de la diferencia de humedad relativa en las tres parcelas de la parte alta en el periodo noviembre 2018-marzo, 2019……. 32
Figura 13. Medias del viento interno y externo de la parte alta en el periodo noviembre-marzo, 2019……. 32
Figura 14. Medias del porcentaje de sombra en las tres parcelas de la parte baja de la hacienda Cristal, durante el periodo noviembre 2018 a marzo 2019……. 33
Figura 15. Medias de la temperatura interna y externa en la parte alta de la hacienda Cristal durante el periodo de evaluación noviembre 2018 a marzo 2019…… 34
Figura 16. Medias de la humedad relativa interna y externa en la parte baja, durante el periodo noviembre-marzo 2019……. 35
Figura 17. Medias de la diferencia de humedad relativa en las tres parcelas de la parte baja de la hacienda Cristal, en las seis evaluaciones realizadas……. 36
Figura 18. Medias de la diferencia de humedad relativa en las tres parcelas de la parte baja, en el periodo noviembre 2018-marzo, 2019…….. 36
Figura 19. Medias del viento interno y externo de la parte baja en el periodo noviembre 2018-marzo, 2019…… 37
Figura 20. Temperatura calculada de noviembre 2018 a marzo 2019, obtenidos de la estación meteorológica la “La Argelia”…… 39
Figura 21. Precipitación total de noviembre 2018 a marzo 2019, obtenidos de la estación meteorológica la “La Argelia”… 40
Figura 22. Humedad relativa de noviembre 2018 a marzo 2019, obtenidos de la estación meteorológica la “La Argelia”… 40

Figura 23. Velocidad del viento media mensual de noviembre 2018 a marzo 2019, obtenidos de la estación meteorológica la “La Argelia”…… 41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Registro de datos para caracterización arbórea y arbustiva de sombra de los SAF con café…….	62
Anexo 2.	Modelo de la encuesta realizada al Dr. Gustavo Samaniego, dueño de la hacienda Cristal…….	63
Anexo 3.	Tabla de registro de datos externos e internos en el SAF con café en la hacienda Cristal…….....	65
Anexo 4.	Fotografías de la recolección de datos climatológicos y de características vegetales……	67
Anexo 5.	Características de las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas de la parte baja de la hacienda Cristal……...	69
Anexo 6.	Características de las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas de la parte alta de la hacienda Cristal……	70
Anexo 7.	Cuadro resumen de las medias de las variables climáticas en SAF con café……..	70
Anexo 8.	Coeficientes de correlación……..	70
Anexo 9.	Escala de Beaufort……	71

INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA Y ARBUSTIVA DE SOMBRA EN EL MICROCLIMA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ (*Coffea arabica* L.*)* EN LA PARTE ALTA Y BAJA DE LA HACIENDA CRISTAL, EN EL CANTÓN LOJA

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en dos sitios de la hacienda Cristal, en el cantón Loja, ubicados a 1 969 y a 2 069 m s.n.m. caracterizados por presentar plantaciones de cafeto arborizados.

Esta investigación se realizó con el propósito de caracterizar la composición arbórea y arbustiva, así como determinar las condiciones y variaciones microclimáticas del SAF con café en la parte alta y baja de la hacienda. Para la recolección de datos tanto vegetativos como microclimáticos se delimitó en cada sitio 3 parcelas de 400 m^2 cada una; en cada parcela se midió variables de altura, perímetro y diámetro de copa de las especies existentes, datos que sirvieron para calcular el índice de valor de importancia. Además, mediante una encuesta se recopiló información primaria del manejo y material genético, información proporcionada por el propietario.

Aleatoriamente en las parcelas de los dos sitios, cada 25 días se registraron datos momentáneos de intensidad lumínica, temperatura del aire, humedad relativa (HR) y velocidad de viento, tanto en el interior de los SAF como a pleno sol. Como resultado se obtuvo un registro de 24 especies forestales tanto nativas como introducidas con alto valor comercial, dentro de las cuales el 87,5 % correspondieron a árboles; 8,3 % a arbustos y 4,2 % a herbáceas. Las especies con mayor índice de valor de importancia fueron: *Alnus acuminata* H.B.K, *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. y *Triplaris cumingiana* Fish y Meyer. En general, el porcentaje de sombra varió de 53,83 a 64,46 %, la temperatura estuvo comprendida entre 17,71 y 24,24 ºC, HR de 57,20 a 79,86 % y la velocidad del viento de 0,00 a 0,77 m s^{-1}. Además, se mostraron correlaciones tanto positivas como negativas entre la sombra con las variables microclimáticas evaluadas. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango óptimo para el desarrollo y producción del cafeto, recomendado por diferentes autores, a excepción de la humedad relativa que se encontraron valores inferiores y superiores del rango óptimo recomendado.

Palabras clave: Café, sistemas agroforestales, especies vegetales, microclima.

ABSTRACT

The current work was carried out in two places of the Cristal farm, in Loja, located at 1 969 and at 2 069 m.a.s.l, characterized by the presence of plantations of arborized coffee trees.

This research was carried out with the purpose of characterizing the arboreal and shrubby composition, as well as to determine the conditions and microclimatic variations of the agroforestry system (AFS) with coffee in the upper and lower part of the farm. For the collection of both vegetative and microclimatic data, 3 plots of 400 m^2 each were delimited in each site; in each delimited plot variables of height, perimeter and crown diameter of the existing species were measured, data that helped to calculate the importance value index. In addition, through a survey, primary information was collected, which corresponds to the information provided by the owner.

Randomly in the plots of the two sites, every 25 days, momentary data of light intensity, air temperature, relative humidity and wind speed were recorded, both inside the AFS with coffee and in full sun. As a result, a registry of 24 forest species was obtained, both native and introduced, with high commercial value, among which, the 87.5 % corresponded to trees; 8.3 % shrubs and 4.2 % herbaceous. The species with the highest importance value index were: *Alnus acuminata* H.B.K, *Cedrela montana* Moritz ex Turcz and *Triplaris cumingiana* Fish. and Meyer. In general, the shade percentage ranged from 53.83 to 64.46%, the temperature was between 17.71 and 24.24 ºC, relative humidity from 57.20 to 79.86 % and the wind speed from 0.00 to 0.77 m s^{-1}; which partially agrees with what is recommended by some authors. In addition, both positive and negative correlations were shown between the shadow and the microclimatic variables evaluated.

Keywords: Coffee, agroforestry systems, plant species, microclimate

1. INTRODUCCIÓN.

El café pertenece al género *Coffea*, tiene alrededor de 500 géneros y más de 6 000 especies en el mundo, entre ellas, existen dos especies de importancia comercial: *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* P. (Alvarado y Rojas, 1994 y CENICAFE, 2010). *Coffea arabica* L. posee hojas pequeñas, ovaladas o elípticas y frutos ovales con dos semillas, en comparación con *Coffea canephora* P. que posee hojas largas y corrugadas, con semilla alargada y pequeña (FEC, 2015).

Por otra parte, es importante mencionar que según la OIC (2018) la producción mundial en el período 2017-2018 aumentaría en un 1,2 % alcanzando 9,57 millones de toneladas contribuyendo de esta forma a la economía de muchos países en desarrollo al ser generador de empleo, ingresos y divisas.

En el Ecuador, 700 000 familias se encuentran vinculadas a los procesos de comercialización, industrialización, transporte y exportación que genera este cultivo (CONEFAC, 2011).

En nuestro país, el café arábigo representa el 65 % de la producción nacional, con un rendimiento de 0,23 t ha^{-1}, las provincias con mayor rendimiento son: Carchi, Zamora Chinchipe y Pichicha, ubicándose Loja en el octavo lugar. Así mismo, el café robusta constituye el 35 % del total producido a nivel nacional, con un rendimiento de 0,49 t ha^{-1}, dentro de las provincias con mayor rendimiento se encuentran: Sucumbíos y Orellana (MAG, 2017).

PROECUADOR (2014) señala que en Ecuador, el cultivo de café a pesar de ser reconocido a nivel mundial por su calidad presenta según MAGAP (2014) y OIC (2015) una tendencia a la baja en cuanto a la producción y rendimiento de 4,6 t ha^{-1}, debido a prácticas inadecuadas de manejo, específicamente en lo relacionado con falta de renovación de las plantaciones, siembra en zonas

subóptimas, mal manejo de sombra y podas, afectación por plagas y enfermedades (broca y roya) y deficiente proceso postcosecha.

La mayoría de los cultivos de café en el Ecuador se realizan en sistemas agroforestales (SAFs), presentando múltiples beneficios frente a otros sistemas (pleno sol) que requieren de una mayor inversión (Pinta, 2015). Los sistemas agroforestales presentan interacciones entre los árboles de sombra y el cafeto que dependen de las condiciones edafoclimáticas, la selección del genotipo (especie, variedad y procedencia), las características bajo y sobre el suelo de los árboles y los cultivos, así como de las prácticas de manejo del cultivo principal (Farfán, 2014).

Sisalima (2011) señala que el cantón Puyango de la provincia de Loja se destaca, como uno de los principales cantones productores, ya que el café de altura contribuye con el 40 % de la producción provincial. En el cantón Loja el café presenta un rendimiento de 0,12 t ha^{-1} debido a prácticas inadecuadas de manejo del cultivo (MAG, 2017).

El estudio se inserta dentro del macroproyecto institucional denominado: Efecto de la sombra y la densidad poblacional en el desarrollo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales de la provincia de Loja.

Para el desarrollo de la presente investigación se planteó como objetivo general: Determinar las condiciones microclimáticas dentro de los sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica* L.) y las variaciones en función de los niveles de sombra de árboles y arbustos en la parte alta y baja de la Hacienda Cristal, en el cantón Loja.

A partir de este objetivo se planteó los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar la composición y distribución de la vegetación arbórea y arbustiva de sombra en los sistemas agroforestales (SAFs) con café en la parte alta y baja de la Hacienda Cristal.

- Determinar las condiciones y variaciones microclimáticas: sombra, temperatura del aire, humedad relativa y vientos dentro de los SAFs con café en la parte alta, y baja de la Hacienda Cristal.

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Condiciones edafoclimáticas para los cafetales.

Varese y Rojas (2012) señalan que los cafetales requieren una temperatura óptima de 18 a 22 ºC, con extremos de 16 a 24 ºC (máximo 32 ºC durante el día y un mínimo de 7 ºC). Temperaturas altas y prolongadas durante el día aumentan el contenido de azúcares en el café; mientras que temperaturas inferiores a 10 °C, provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes. Por otra parte, CICAFE (2011) indica que los cafetales arábicos de altura que se desarrollan en temperaturas más bajas que las robustas, maduran en forma lenta, favoreciendo a la calidad en taza.

Además, los cafetos necesitan de 1 500 a 2 100 mm anuales bien distribuidas durante el período de producción, para satisfacer las necesidades de agua en las etapas de floración, llenado de grano y cosecha (Varese y Rojas, 2012). Con precipitaciones mayores de 3 000 mm, la calidad física del café oro y la calidad de taza se ven afectadas (CICAFE, 2011).

En cuanto a la HR y la luz requerida para garantizar un buen desarrollo varía entre 70 % a 95 % y de 1 600 a 2 000 horas de sol por año (Varese y Rojas, 2012). La inducción es favorecida por fotoperíodos cortos; esto significa, que la duración del día no debe ser mayor a 13,5 horas (Arcila *et al*., 2007).

Con respecto al relieve y fisiografía, las zonas cafetaleras presentan características muy particulares, con pendientes que van desde 30 % a más de 80 %. Los mejores cafés se producen entre los 1 200 a 1 800 m s.n.m. (zona media y alta), dependiendo de la región (trópico o subtrópico). A mayor altura, menor temperatura y menor luminosidad, se obtiene mejor calidad (Varese y Rojas, 2012).

Por otra parte, los suelos profundos de color oscuro derivados de ceniza volcánica con buena estructura y textura, pH de 4,5 a 6,5 son los más adecuados para los cafetales (Varese y Rojas, 2012)**;** así mimo, AGROCALIDAD (2013) menciona que el café requiere suelos tipo franco (franco arcilloso, franco arenoso, franco limoso), ricos en materia orgánica, con buen drenaje y topografía regular.

2.2. Sistemas agroforestales (SAFs) con café (bajo sombra).

Este tipo de sistema se caracteriza por la utilización de árboles que proporcionan diferentes niveles de sombrío dependiendo de la especie y el arreglo espacial. Se emplean principalmente en zonas con limitaciones para un adecuado desarrollo del cultivo, por condiciones climáticas o de suelos, ya sea por la presencia de períodos secos prolongados o de suelos con limitaciones físicas y de fertilidad. En estos sistemas la densidad de siembra óptima (2 000 a 3 000 plantas ha^{-1}) y la productividad (0,5-1 t ha^{-1} de café pergamino seco por ha) son menores que en cafetales a libre exposición (Jezeer y Verweij, 2015).

Pese, a que los SAFs con café no producen en gran proporción como los de a pleno sol, permiten una mejor conservación de los recursos naturales y menor aplicación de insumos, lo que se traduce en menores costos de producción. Además, la explotación de los productos adicionales de los árboles utilizados para el sombrío resulta en ingresos adicionales para el agricultor (DaMatta y Rodríguez, 2007).

2.3. Algunas prácticas de manejo en sistemas agroforestales café.

El raleo, es una práctica común cuando existen árboles leguminosos a una alta densidad, para usarlos como sombra temporal y después como sombra permanente (Musalen, 2001).

Por otra parte, la poda es una de las prácticas que se deben realizar en sistemas agroforestales. Existen diferentes tipos de poda aplicados a los árboles de sombra de acuerdo a su edad; así, a los árboles menores de 5 años se les ejecuta la poda de formación, que es importante para una buena estructura conforme van creciendo; a los árboles adultos se efectúa una poda de regulación. Además, cabe señalar que se debe dejar como mínimo un espacio libre de 2 m entre el techo del cafetal y el de la sombra (ANACAFE, 2012).

2.4. Estructuras arbóreas en cafetales.

Moguel y Toledo (1999), consideran cinco estructuras arbóreas en los cafetales:

Tradicional o rústico: El café está sembrado bajo el dosel del bosque con poca intervención.

Policultivo tradicional: Está bajo sombrío de especies de uso medicinal, materiales de construcción y especies alimenticias.

Policultivo comercial: Donde la sombra es dada por árboles no nativos, las especies más usadas son leguminosas y árboles para madera en el estrato superior y banano, cítricos y otros cultivos en el estrato intermedio.

Monocultivo con sombra: La sombra es suministrada por una sola especie arbórea en este caso en especial por leguminosas como por ejemplo *Inga* spp.

Monocultivo pleno sol: Donde no existe cobertura arbórea.

2.5. Tipos de sombra en sistemas agroforestales con café.

Según ANACAFE, sf, existen tres tipos de sombra en sistemas agroforestales con café:

Sombra provisional: Se utilizan plantas que protegen al café en el primer año de establecido; es así, que se recomienda sembrarlas inmediatamente después de la siembra del café. Las especies utilizadas, además de proporcionar sombra, fijan nitrógeno atmosférico.

Sombra temporal o semipermanente: Se seleccionan plantas que, por su duración y rápido crecimiento, dan la sombra necesaria al café, mientras se desarrolla la sombra permanente. La siembra debe hacerse con un año de anticipación a la siembra del cafeto o simultáneamente.

Sombra definitiva o permanente: Son plantas que, por sus hábitos de crecimiento y longevidad, conviven con los cafetales, proporcionándoles sombra durante todo el ciclo productivo.

2.6. Especies asociadas a los sistemas agroforestales con café.

Las principales especies utilizadas en SAFs con café son especialmente del género *Inga y Erytrina y Grevillea* (roble). Se puede mejorarse la diversidad de sombra dejando algunos árboles que crecen naturalmente en las plantaciones, siempre que estas no sean especies invasivas o dañinas para el cultivo por ser altamente competitivas (ANACAFE, 2012).

Algunos ejemplos de las especies en SAFs con café son: *Theobroma cacao* (cacao), *Annona muricata* (guanábana), *Citrus sp*. (cítricos), *Inga spp*. (guaba), *Mangifera indica* (mango) (PROMETEO, 2017). *Eucalyptus globulus* (eucalipto), *Eugenia spp*. (arrayán), *Inga spp*. (guaba), *Prunus serotina* (capulí) y *Spartium junceum* (retama) (Checa *et al*., 2010), *Cedrela odorata*

(cedro), *Laurus nobilis* (laurel), *Carica* papaya (papaya), *Psidium guajava* (guayaba), *Musa paradisiaca* (guineo) (INIAP, 2012), *Grevillea robusta* (roble australiano), *Alnus sp.* (aliso), *Gliricidia sp* (mata ratón), *Persea sp.* (aguacate) (ANACAFE, 2012), *Erytrina edulis* (guato), *Leucaena leucocephala* (leucaena), *Iriartea deltoidea* (pambil), *Bactris gasipaes* (chontaduro), *Calycophyllum spruceanum* (capirona), *Jacaranda mimosifolia* (arabisco), *Borojoa patinoi* (borojó) (Ramírez, 2005).

2.7. Efectos del exceso de sombra sobre la planta de café.

Tres factores pueden ser considerados teóricamente para explicar que la producción se reduzca en la medida en que se incrementa el número de árboles o el sombrío en las plantaciones de café:

a) Menor asimilación de carbono por la planta entera bajo condiciones de sombra excesiva; b) mayor estímulo de la emisión de yemas vegetativas y reducción de la formación de yemas florales; y c) reducción del número de nudos producidos en las ramas (DaMatta y Rodríguez, 2007).

2.8. Ventajas y desventajas de los sistemas agroforestales en el suelo.

Ventajas: Los SAFs participan en el reciclaje de nutrientes, contribuyendo a almacenar carbono a largo plazo (Nair, 2004); además, los árboles en los SAFs influyen en la cantidad y disponibilidad de nutrientes; así como a reducir las pérdidas por lixiviación y erosión. De esa manera, el reciclaje de nutrientes minerales, en términos de sostenibilidad, es mayor en los SAFs (Ribaski, 2009).

Desventajas: En áreas totalmente deforestadas, la recuperación y reforestación para estos fines es lenta y costosa (Ribaski, 2009).

2.9. Influencia de la sombra en la fisiología y crecimiento del cafeto.

El efecto más directo de la sombra se da sobre la intensidad y calidad de luz solar, ya que, al actuar como filtro, estos factores son modificados, influyendo directamente sobre la fisiología de las plantas, especialmente regulando la fotosíntesis y la respiración. Además, la sombra protege las raíces del efecto directo de los rayos solares, reduce la transpiración del cultivo, protege a los cafetos de la acción directa del viento y en ciertas regiones puede protegerlos del efecto de las heladas (ANACAFE, 2012).

La sombra puede provocar cambios en la morfología foliar, como el aumento del área individual de las hojas, reducción del espesor de las hojas, menor número de estomas por cm^2, la relación parte aérea $raíz^{-1}$ tiende a ser mayor, reducción en el área basal de las plantas y la velocidad a la que las hojas se renuevan tiende a ser menor en comparación con pleno sol (López *et al.,* 2012 y Siles *et al.,* 2010).

La tasa de fotosíntesis es mayor en sistemas de café bajo sombra, lo que no ocurre en cafetales a pleno sol debido a factores como la fotoinhibición y a fotorespiración, lo cual no permite fotosíntesis e incluso puede provocar daños permanentes en el aparato fotosintético (Chaves *et al.,* 2008).

La tasa de fotosíntesis de las hojas de café es relativamente baja (máximo alrededor de 10 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), la cual puede estar relacionada con una baja conductancia estomática de las hojas, las radiaciones saturantes varían entre 300 y 700 µmol fotones m^{-2} s^{-1} según las condiciones climáticas en particular. Sin embargo, una limitante a lo anterior es que se ha encontrado casi siempre que la fotosíntesis no se reduce en condiciones de sombra menores al 55 % (Franck y Vaast 2009).

Por otra parte, Encalada *et al.* (2016) menciona que el comportamiento de los cafetales, con un nivel del 80 y 50 % de sombra mostraron un mayor

crecimiento debido a la eficiencia fotosintética de las plantas bajo estas condiciones; además, en otro estudio realizado por el mismo autor, las posturas expuestas a 20 % de luz, tuvieron valores mayores en cuanto a masa seca, dada por las hojas, la raíz y área foliar fue menor en el nivel de 100 % de luz, seguido del 50 %; la densidad estomática fue mayor con el 100 % de luz, el contenido de clorofila fue alto en las posturas con menor iluminación, siendo el más alto en el nivel de 50 %.

Estos resultados indican que se produjeron cambios morfológicos y fisiológicos como respuesta a la restricción de luz, que evidencian la capacidad de adaptación del cafeto para aprovechar eficientemente la luz disponible.

2.10. Otras investigaciones similares.

Los cultivos de café a menudo están sujetos a altas temperaturas en el verano, a veces excediendo los 38 ºC durante la etapa crítica de llenado de grano. Estas condiciones, combinadas con la ocurrencia de fuertes vientos y altas tasas de evapotranspiración, causan estrés ambiental para el cultivo, requiriendo diferentes técnicas para mitigar estos problemas. Por lo tanto, el microclima proporcionado por los árboles en un agroecosistema y su impacto en los árboles de café es importante para el manejo y la viabilidad de este cultivo (Partelli *et al.,* 2013).

En cafetales con árboles, las copas de los árboles reducen la radiación y la temperatura; al mismo tiempo, aumenta la humedad dentro del cafetal lo cual puede ser beneficioso en tiempos de sequía (Muschler, 2000).

En estudios realizados en México y Colombia se ha encontrado mayor humedad del suelo en las áreas bajo sombra (Verdecia *et al*., 2001).
La interceptación de la lluvia en un cafetal bajo sombra podría alcanzar los 60 mm, en tanto que a pleno sol solo alcanza 45 mm (Jaramillo y Chávez, 1999).

Además, al presentarse mayor precipitación reduciría el impacto de las gotas de agua sobre el suelo y estas llegarían más fácilmente a la parte baja del cafeto para ser aprovechada por este; por otro lado, la temperatura del aire disminuye tanto debajo las copas de los árboles y en la parte baja de los cafetos; y, la velocidad de viento se disminuye dentro de la plantación (Verdecia *et al*., 2001).

Nieto (2016) en su investigación en cafeto con sombra encontró que la temperatura ambiente y temperatura de la hoja en promedio fue mayor en sistemas de sombra baja, mientras que fincas con sombrío medio y bajo presentaron mayor humedad relativa que fincas de sombrío alto. Con valores promedios de 29,1 °C en cuanto a temperatura ambiente y una humedad relativa de 64,5 % con sombra alta; en cambio con sombra media muestra valores de 29,2 °C y una humedad relativa de 69,4 %, y finalmente con sombra baja presenta 29,7 °C y una humedad relativa de 69,0 %.

En un estudio realizado en Brasil, se evaluó el microclima, desarrollo y rendimiento de *Coffea canephora* cultivado a pleno sol y sombrío con árboles de caucho, se obtuvo que el sombreado influyó directamente en el microclima al reducir la temperatura del aire en verano e invierno, así como al aumentar la humedad relativa. La luminosidad en el verano tuvo una disminución promedio de 905 lúmenes ft $^{-2}$ a lo largo del día, que fue equivalente a 72,49 %, y la luminosidad en el invierno tuvo una disminución promedio de 1 665 lúmenes ft $^{-2}$, que fue equivalente a 88,04 % (Vasconcellos *et al.,* 2016).

En un trabajo peruano en la Región de Pasco en el que se compara las condiciones microclimáticas de una parcela de *Coffea arabica* L. bajo sombra con *Inga* spp., con una parcela de monocultivo de *C. arabica* sin sombra durante tres años, se efectuaron mediciones de la temperatura del aire, la humedad del aire y la temperatura del suelo. Los resultados indican que la sombra de los árboles reduce la temperatura media del aire de 0,4 ± 0,04 °C

y la temperatura del suelo de 1,7 ± 0,3 °C, y aumenta la humedad del aire de 3,9 ± 0,4 % con respecto a la zona no sombreada. Sin embargo, la media mensual de las temperaturas del aire en la zona sin sombra, e incluso la temperatura máxima, no superan excesivamente el límite que posibilita la fotosíntesis (34 °C); además, las temperaturas mínimas mensuales varían poco entre zonas con sombra y sin sombra; mientras que, la fluctuación de las temperaturas del suelo fue más acusada en la zona sin sombra (Ehrenbergerová *et al.,* 2017).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Ubicación del lugar de estudio.

La hacienda Cristal se encuentra ubicada entre el barrio Pueblo Nuevo y Tres Leguas en la parroquia San Sebastián del cantón y provincia de Loja (Figura 1). Para el estudio se seleccionaron dos sitios con diferente altitud: la parte baja está a una altura de 1 969 m s.n.m., en las coordenadas 699 903 y 9 544 343; mientras que, la parte alta se encuentra a 2 069 m s.n.m., en las coordenadas 700 169 y 9 544 147.

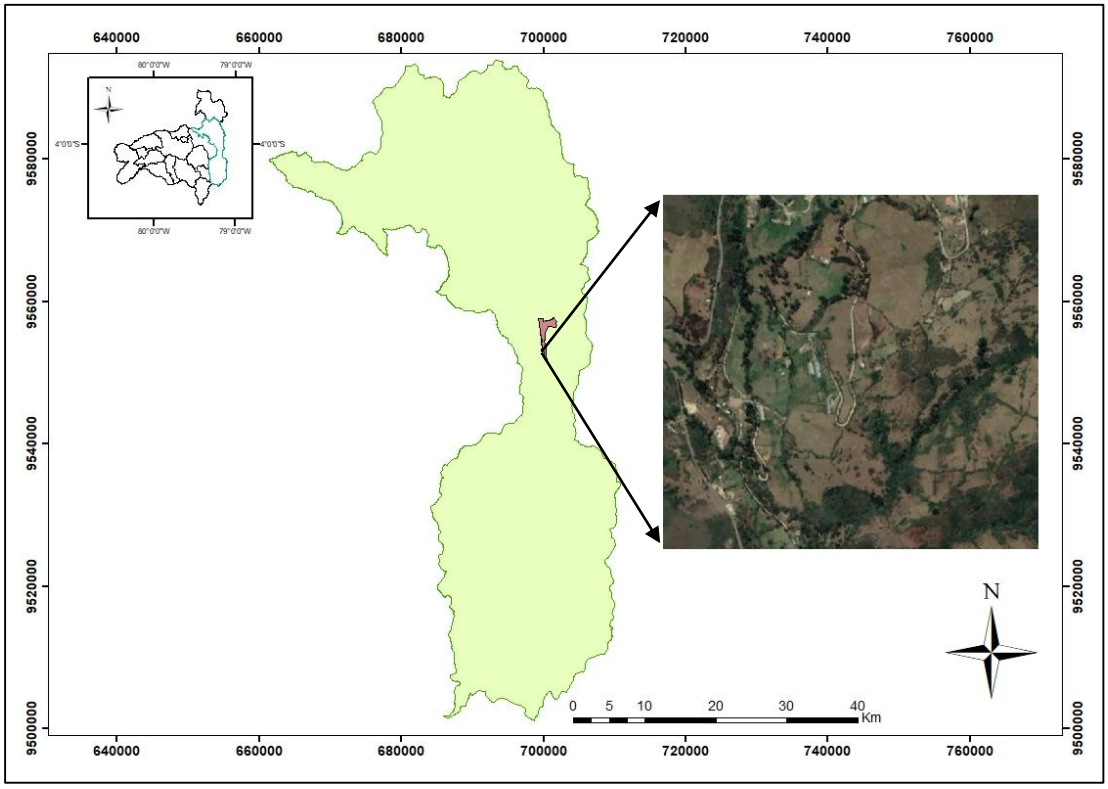


Figura 1. Ubicación de la hacienda Cristal en la parroquia San Sebastián del cantón y provincia de Loja.

La hacienda Cristal posee una temperatura media de 17,1 °C y una precipitación media anual de 1 415,45 mm. En cuanto al suelo, es tipo franco arcilloso (Córdova, 2016).

Según Cañadas (1983) en esta hacienda existen tres zonas ecológicas: en la zona alta se encuentra el páramo arbustivo y páramo herbáceo; en la zona media se encuentran el bosque nativo, bosque de regeneración natural y matorral y, en la zona baja se encuentran: arboretum, plantaciones de eucalipto, plantaciones de pino, sistemas silvopastoriles y sistemas agroforestales; ocupando una superficie total de 602,38 ha; el trabajo se realizó en la zona baja, que se la dividió en parte alta y baja.

3.2. Materiales y equipos:

3.2.1. Materiales y equipos de campo:

Materiales: Claves taxonómicas de especies arbóreas y arbustivas, cámara fotográfica, spray color rojo, cinta métrica de 100 m, cintas plásticas de color amarillo, regla, lápiz, hojas de registro y calculadora.

Equipos: Hipsómetro Vertex IV HAGLOF, termohigrómetros digitales, marca AIMO modelo MS6252B, dos luxómetros SPER SCIENTIFIC modelo 84002 y un GPS marca Magellan.

3.2.2. Materiales y equipos de oficina:

Materiales: Hojas de papel bond, lápiz y borrador.

Equipos: Calculadora, computadora con programas estadísticos.

3.3. Metodología.

El estudio tuvo un alcance investigativo descriptivo y correlacional. Se aplicó un diseño no experimental (probabilístico) longitudinal de tendencia en tres parcelas de la parte alta y baja de la zona baja de la hacienda, donde cada parcela fue una población; se realizó un muestreo aleatorio.

Las variables medidas fueron:

- Variables independientes: Pisos altitudinales de la parte alta y baja de la hacienda “Cristal”.

- Variables dependientes: Vegetación: especies arbóreas y arbustivas y microclima: Sombra (%), temperatura del aire (°C), humedad relativa HR (%) y velocidad del viento (m s^{-1}).

3.3.1. Caracterización de la composición y distribución de la vegetación arbórea y arbustiva de sombra en los SAF con café en la parte alta y baja de la hacienda Cristal.

Se delimitó con una cinta tres parcelas de 20 m x 20 m, en los sitios, a excepción de la parcela uno de la parte baja cuyas medidas fueron de 10 m x 40 m.

Con la ayuda de un GPS se georreferenció las seis parcelas en estudio.

Posteriormente se registraron datos de árboles y arbustos con un diámetro igual o mayor a 5 cm.

En una matriz (Anexo 1), se registró las diferentes variables a medir: Nombre común de la especie, altura (m), diámetro a la altura al pecho (cm) (DAP), diámetro de copa (m).

El procedimiento para caracterizar las especies arbóreas y arbustivas presentes en los SAFs, se detalla a continuación:

Para determinar las especies arbóreas y arbustivas presentes, se registró aquellos individuos cuyo DAP fueron mayor o igual a cinco cm, procediendo a

su identificación y aquellas que no se pudieron reconocer en campo, se tomaron muestras de ramas y fotografías para su posterior identificación en el Herbario Reinaldo Espinoza de la Universidad Nacional de Loja; cada especie registrada se marcó con un spray rojo, evitando así la repetición.

Para medir el DAP (1,30 m de altura), con la ayuda de una cinta métrica se procedió a registrar su perímetro y con la fórmula $DAP= \frac{Perímetro}{\pi}$ se calculó el diámetro.

Para determinar la altura (m), se utilizó el hipsómetro, instrumento que mide directamente la altura.

Para medir el diámetro de copa (m), con una cinta métrica se midió de norte a sur y luego de este a oeste, tomando como referencia la proyección de los extremos de las ramas sobre el suelo, procediendo a registrar en la matriz el promedio de estas dos mediciones.

A partir de estas variables, se determinó los siguientes indicadores:

El índice de valor de importancia (IVI) se obtuvo mediante la fórmula de Aguirre (2013):

Índice de valor de importancia (IVI)= FR+DR+DmR

FR= Frecuencia relativa.

DR= Densidad relativa

DmR=Dominancia relativa

Para determinar la frecuencia relativa, dominancia relativa y densidad relativa se utilizó las fórmulas de Chablé *et al.* (2015):

$$\text{FR (\%)} = \frac{\text{Fa por cada especie}}{\text{Fa de todas las especies}} * 100$$

Fa= Frecuencia absoluta

$$\text{Fa} = \frac{\text{Número de cuadros en los que se presenta cada especie}}{\text{Número total de cuadros muestreados}}$$

$$\text{DR (\%)} = \frac{\text{Número de individuos por especie}}{\text{Número total de individuos}} * 100$$

$$\text{DmR (\%)} = \frac{\text{Área basal de la especie}}{\text{Área basal de todas las especies}} * 100$$

Para calcular el área basal (AB), se aplicó la fórmula de Zarco *et al.* (2010):

$$\text{AB} = \frac{\pi}{4} * \text{DAP}^2 * 100$$

π= 3,1416

DAP= Diámetro a la altura del pecho

Para conocer la edad, variedades sembradas y manejo del cultivo, se aplicó una encuesta (Anexo 2) al propietario de la hacienda Cristal, Dr. Gustavo Samaniego, contrastando con las observaciones directas en el campo.

Para el procesamiento de datos se utilizó programas de software Excel 2010 e Infostat versión 2008 y se calculó porcentajes.

3.3.2. Determinación de las condiciones microclimáticas, en la parte alta y baja de la hacienda Cristal.

En las parcelas previamente establecidas para la caracterización arbórea y arbustiva se determinó las condiciones microclimáticas. Se realizó un muestreo aleatorio simple; que consistió en la recolección de 10 datos (por cada muestreo) de intensidad de luz, temperatura del aire, humedad relativa

y velocidad del viento, en diferentes horas del día, con una frecuencia de 25 días, por 4 meses, dando un total de 6 registros de datos climáticos, con un total de 1 440 datos.

Los datos obtenidos se los registró en una matriz de Excel (Anexo 3).

Para la toma de datos microclimáticos se siguió el siguiente proceso:

Intensidad de luz (lux): Se midió con un luxómetro, colocando en la copa de las plantas de cafeto dentro del sistema (Anexo 4A y 4B) en las seis parcelas y de igual forma se realizó en condiciones de cielo abierto a una altura de 1,50 m y al mismo instante. Posteriormente se calculó el porcentaje de sombra mediante una regla de tres simple.

Temperatura del aire (ºC), humedad relativa (%) y velocidad del viento ($m\,s^{-1}$): Se colocó el termohigrómetro digital a una altura de 1,50 m en condiciones de cielo abierto; mientras que, en el SAFs a nivel de la copa de las plantas de cafeto y al mismo instante. Para la velocidad del viento se usó la escala de Beaufort (Anexo 9).

Para el procesamiento y análisis de los datos se calculó porcentajes, correlaciones con software Excel 2010 e Infostat versión 2008.

Se caracterizó el sitio mediante datos mensuales correspondientes a los meses evaluados de la estación metodológica “La Argelia” de temperatura, precipitación, HR y velocidad del viento.

4. RESULTADOS.

4.1. Composición y distribución de la vegetación arbórea y arbustiva.

4.1.1. Sitio 1. Hacienda Cristal, parte alta.

En la parte alta la vegetación existente correspondió a árboles de la especie *Alnus acuminata* H.B.K., el cual es producto de la regeneración natural (Cuadro 1).

Cuadro 1. Biotipo de la vegetación existente en el sistema agroforestal con café de la hacienda Cristal, parte alta.

Nombre científico	Nombre común	Biotipo
Alnus acuminata H.B.K.	Aliso	Árbol

4.1.1.1. Especies arbóreas y arbustivas presentes.

La cantidad de especies arbóreas y arbustivas determinan el porcentaje de sombra para el cultivo de cafeto; en el presente caso, se encontró una sola especie que correspondió a *Alnus acuminata* H.B.K. en las tres parcelas muestreadas, en una cantidad de 992 en la primera evaluación; mientras que en el segundo registro de datos se obtuvo 450 plantas ha^{-1}(Cuadro 2), debido a prácticas de manejo de sombra realizado en el SAFs con cafeto por parte del productor.

Cuadro 2. Especies arbóreas y arbustivas presentes en la parte alta de la hacienda Cristal, del cantón Loja.

Fecha	Familia	Nombre científico	Nombre común	*ni	*P ha^{-1}
08 -11-2018	Betulaceae	*Alnus acuminata* H.B.K.	Aliso	119	992
19-03-2019				54	450

***ni=** Número de individuos
***P ha^{-1}=** Plantas ha^{-1}

4.1.1.2. Altura de especies y diámetro de copa.

Al determinar el coeficiente de variación (C.V.) en las dos fechas de muestreo se obtuvo que existe variabilidad en las alturas entre los individuos presentes, con un valor de 9,96 %; mientras que, en cuanto al diámetro de copa existió una variación del 26,29 % en la última evaluación realizada (Cuadro 3).

Cuadro 3. Coeficiente de variación de altura y diámetro de copa de especies con mayor número de individuos del SAF de la parte alta de la hacienda Cristal, del cantón Loja, evaluado en noviembre 2018 y marzo 2019.

Fecha	Nombre científico	Altura		Diámetro de copa	
		*P (m)	*C.V. (%)	*P (m)	*C.V. (%)
08-11-2018	*Alnus acuminata* H.B.K.	9,46	9,98	3,19	14,00
19-03-2019		12,23	9,96	2,81	26,29

***P=**Promedio
***C.V.=** Coeficiente de variación

4.1.1.3. Frecuencia relativa, densidad relativa, dominancia relativa e índice de valor de importancia.

Es fundamental conocer la importancia que tienen las especies arbóreas y arbustivas en una comunidad, para determinar este valor es necesario la obtención de la frecuencia relativa, densidad relativa y la dominancia relativa. En este caso, la especie representativa fue *Alnus acuminata* H.B.K. con una frecuencia relativa, densidad relativa y dominancia del 100 %, obteniendo un índice de valor de importancia de 300 en las dos evaluaciones registradas, esto se produce debido a la única especie forestal.

4.1.1.4. Distribución horizontal y vertical.

En la parte alta de la zona de estudio, la vegetación existente correspondió a un estrato simple *Alnus acuminata* H.B.K. con una altura promedio de 9,46 m

y un DC promedio de 3,19 m en la primera evaluación; en tanto que, en la segunda evaluación los datos presentaron un promedio de altura de 12,23 m y un DC promedio de 2,81 m.

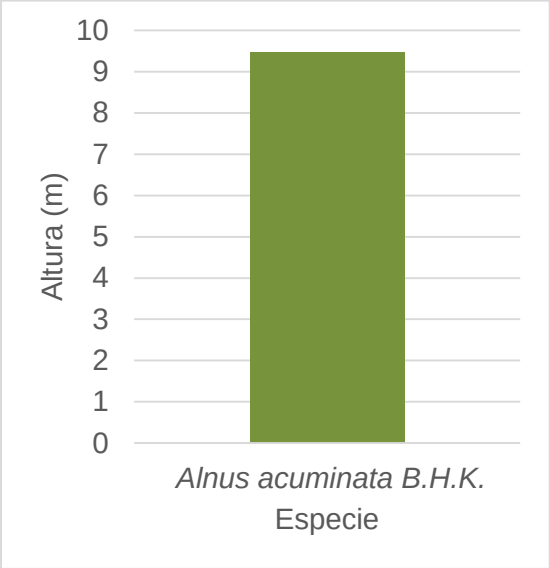


Figura 2. Distribución vertical de la vegetación arbórea y arbustiva en la parte alta de la hacienda Cristal, obtenido en noviembre 2018.

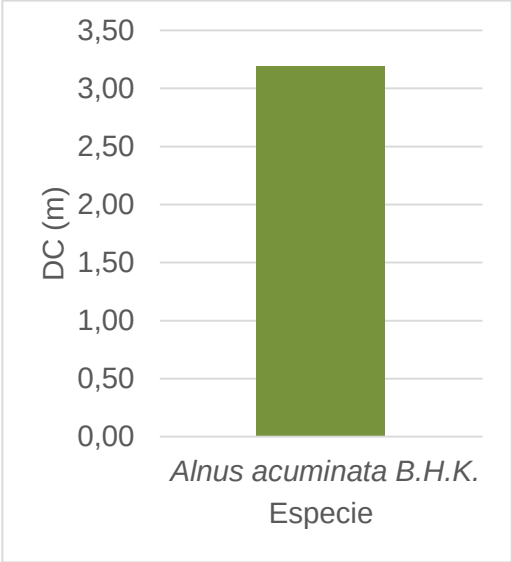


Figura 3. Distribución horizontal de la vegetación arbórea y arbustiva en la parte alta de la hacienda Cristal, obtenido en noviembre 2018.

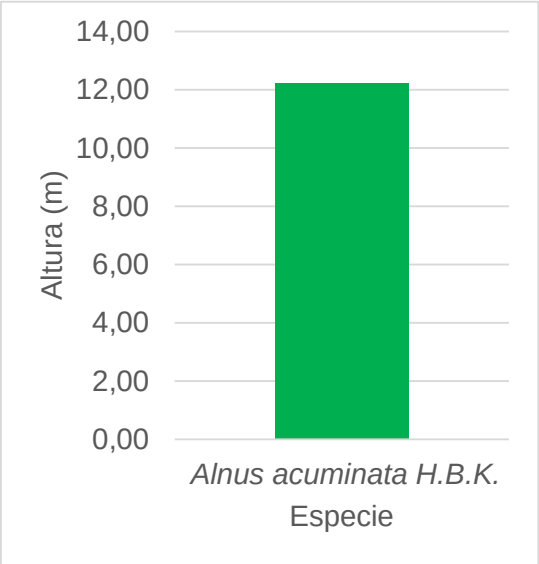


Figura 4. Distribución vertical de la vegetación arbórea y arbustiva en la parte alta de la hacienda Cristal, obtenido en marzo 2019.

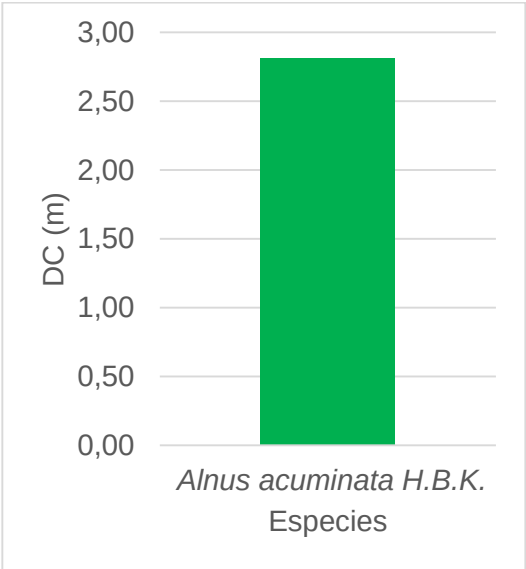


Figura 5. Distribución vertical de la vegetación arbórea y arbustiva en la parte alta de la hacienda Cristal, obtenido en marzo 2019.

4.1.1.5. Edad del cultivo, cultivares y manejo.

Según la encuesta elaborada en marzo del 2 019 al propietario de la hacienda, el café en la parte alta presentó un año de edad y ha sido sembrada a una distancia de 2 m x 1,5 m.

Las especies cultivadas correspondieron al typica amarillo (mejorado), al cual, no se le ha realizado: Controles fitosanitarios, ni riego, ni fertilización, debido a que los recursos que antes eran destinados a esta última actividad fueron utilizados en la construcción de casas para crear un centro turístico.

Por otra parte, cabe señalar que se ejecutaba podas anuales a los árboles que sirven de sombra al cafeto y la limpieza de maleza con la ayuda de un machete y motoguadaña. Las especies que acompañaban al cafetal como sombra son producto de la regeneración natural.

4.1.2. Sitio 2. Hacienda Cristal, parte baja.

En el cuadro 4, se observa que existen vegetación arbórea, arbustiva y herbácea; siendo, las arbóreas las más representativas con un 87,5 % del total de las especies, seguido de las arbustivas con un 8,3 % y en menor cantidad las herbáceas que corresponde a *Musa acuminata* Colla con un 4,2 %.

Cuadro 4. Biotipo de la vegetación existente en el sistema agroforestal con café de la hacienda Cristal, parte baja.

Nombre científico	Nombre común	Biotipo
Alnus acuminata H.B.K.	Aliso	Árbol
Jacaranda mimosifolia D. Don.	Arabisco	Árbol
Lafoensia acuminata (Ruiz & Pav.) DC.	Guararo	Árbol
*Prumnopitys montana (*H.&B.& Willd.) Laubendf.	Romerillo	Árbol
Persea americana Mill.	Aguacate	Árbol
Prunus serotina Ehrh. subsp. capuli (Cav.) Mc Vaugh.	Capulí	Árbol
Cedrela montana Moritz ex Turcz.	Cedro	Árbol
Tabebuia chrysantha (Jacq.) Nicholson.	Guayacán	Árbol
Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken.	Laurel	Árbol
Citrus x sinensis (L.) Osbeck	Naranjo	Árbol
Triplaris cumingiana Fish y Meyer.	Fernán Sánchez	Árbol
Ficus sp.	Higuerón	Árbol
Citrus x paradisi Macfad.	Toronja	Árbol
Myrcianthes rhopaloides (H.B.K) Mc Vaugh.	Arrayán	Árbol
Styrax subargentea Sleumer.	Sanguilamo	Árbol
Musa acuminata Colla.	Banano	Hierba
Hesperomeles obtusifolia	Huakramanzana o quike	Arbusto
Citrus x latifolia Tanaka ex Q. Jiménez.	Limón injerto	Árbol
Citrus reticulata Blanco.	Mandarino	Árbol
Annona cherimola Mill.	Chirimoyo	Árbol
Faxinus chinensis Roxb.	Fresno	Árbol
Inga edulis Mart.	Guabo	Árbol
Pouteria lucuma (Ruiz & Pav.) Kuntze.	Lumo	Árbol
Tecoma stans (L.) Juss. ex Kunth.	Gualpe o lame	Arbusto

4.1.2.1. Especies arbóreas y arbustivas presentes.

Se encontró 24 especies en las tres parcelas evaluadas de la parte baja de la hacienda Cristal, de las cuales las especies más representativas fueron: *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., *Prumnopitys montana (*H.&B.& Willd.) Laubendf., *Lafoensia acuminata* (Ruiz & Pav.) DC., *Cordia alliodora* (Ruiz &Pav.) Oken., *Triplaris cumingiana* Fish y Meyer y *Jacaranda mimosifolia* D. Don. con 217, 100, 83, 58 y 58 plantas ha^{-1} en su respectivo orden (Cuadro 5).

Cuadro 5. Especies arbóreas y arbustivas presentes en la parte baja de la hacienda Cristal, del cantón Loja, evaluado en noviembre 2018.

N°	Familia	Nombre científico	Nombre común	*ni	*P ha^{-1}
1	Meliaceae	*Cedrela montana* Moritz ex Turcz.	Cedro	26	217
2	Podocarpaceae	*Prumnopitys montana (*H.&B.& Willd.) Laubendf.	Romerillo	12	100
3	Lythraceae	*Lafoensia acuminata* (Ruiz & Pav.) DC.	Guararo	10	83
4	Bignoniaceae	*Jacaranda mimosifolia* D. Don.	Arabisco	7	58
5	Boraginaceae	*Cordia alliodora* (Ruiz &Pav.) Oken.	Laurel	7	58
6	Polygonaceae	*Triplaris cumingiana* Fish y Meyer.	Fernán Sánchez	7	58
7	Moraceae	*Ficus* sp.	Higuerón	3	25
8	Musaceae	*Musa acuminata* Colla.	Banano	3	25
9	Annonaceae	*Annona cherimola* Mill.	Chirimoyo	3	25
10	Lauraceae	*Persea americana* Mill.	Aguacate	2	17
11	Rosaceae	*Prunus serotina Ehrh. subsp.capuli (*Cav.) Mc Vaugh.	Capulí	2	17
12	Rutacea	*Citrus x sinensis* (L.) Osbeck.	Naranjo	2	17
13	Myrtaceae	*Myrcianthes rhopaloides* (H.B.K) Mc Vaugh.	Arrayán	2	17
14	Fabaceas	*Inga edulis* Mart.	Guabo	2	17
15	Bignoniaceae	*Tecoma stans (L.)* Juss. ex Kunth.	Gualpe o lame	2	17
16	Betulaceae	*Alnus acuminata* H.B.K.	Aliso	1	8
17	Bignoniaceae	*Tabebuia chrysantha* (Jacq.) Nicholson.	Guayacán	1	8
18	Rutácea	*Citrus x paradisi* Macfad.	Toronja	1	8
19	Styracaceae	*Styrax subargentea* Sleumer.	Sanguilamo	1	8
20	Rosaceae	*Hesperomedes obtusifolia*	Huakramanzana o quike	1	8
21	Rutacea	*Citrus x latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez.	Limón injerto	1	8
22	Rutacea	*Citrus reticulata* Blanco.	Mandarino	1	8
23	Oleaceae	*Faxinus chinensis* Roxb.	Fresno	1	8
24	Sapotaceae	*Pouteria lucuma* (Ruiz & Pav.) Kuntze.	Lumo	1	8
		Total			**825**

***ni=** Número de individuos
***P ha^{-1}=** Plantas ha $^{-1}$

4.2.1.2. Altura de especies y diámetro de copa.

Existió variación respecto de la variable altura de las especies, siendo: *Triplaris cumingiana* Fish y Meyer, *Cedrela montana* Moritz ex Turcz, *Cordia alliodora* (Ruiz &Pav.) Oken, las que alcanzaron un mayor coeficiente de variación, con valores de 36,87; 33,48 y 21,16 %, respectivamente; mientras que, en cuanto al diámetro de copa, los mayores valores de variación presentaron las especies: *Cedrela montana* Moritz ex *Triplaris cumingiana* Fish.y Meyer y *Jacaranda mimosifolia* D. Don, con valores de 69,59; 55,78 y 32,47 %, en su orden (Cuadro 6).

Cuadro 6. Coeficiente de variación de altura y diámetro de copa de especies con mayor número de individuos del SAF de la parte baja de la hacienda Cristal, del cantón Loja, evaluado en noviembre 2018.

Nombre científico	Altura		Diámetro de copa	
	*P(m)	C.V. (%)	P (m)	C.V. (%)
Cedrela montana Moritz ex Turcz.	7,38	33,48	2,85	69,59
*Prumnopitys montana (*H.&B.& Willd.) Laubendf.	8,42	10,06	1,70	13,44
Lafoensia acuminata (Ruiz & Pav.) DC.	5,76	19,15	2,80	28,66
Cordia alliodora (Ruiz &Pav.) Oken	5,91	21,16	3,03	24,08
Triplaris cumingiana Fish.y Meyer	8,20	36,87	3,49	55,78
Jacaranda mimosifolia D. Don	6,67	14,80	1,19	32,47

***P=**Promedio
***C.V.=**Coeficiente de variación

4.2.1.3. Frecuencia relativa, densidad relativa, dominancia relativa y índice del valor de importancia.

En el cuadro 7, se puede observar que las especies *Jacaranda mimosifolia D. Don.*, *Lafoensia acuminata* (Ruiz & Pav.) DC., *Cedrela montana* Moritz ex Turcz, *Cordia alliodora* (Ruiz &Pav.) Oken., *Triplaris cumingiana* Fish y Meyer., *Ficus* sp. presentaron frecuencias relativas de: 7,50 % cada una de ellas. Por otra parte, las especies con mayor densidad relativa correspondieron a: *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. con 26,06 %;

*Prumnopitys montana (*H.&B.& Willd.) Laubendf. con 12,12 % y *Lafoensia acuminata* (Ruiz & Pav.) DC. con 10,10 %. Así mismo, las especies arbóreas y arbustivas más representativas en cuanto a dominancia relativa fueron: *Tabebuia chrysantha* (Jacq) Nicholson. con 15,20 %, *Inga edulis* Mart. con 12,60 % y *Triplaris cumingiana* Fish y Meyer con 9,93 %. Además, las especies con valores mayores de IVI correspondieron a: *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., con 41,64; *Triplaris cumingiana* Fish y Meyer con 24,50 y *Prumnopitys montana* (H.&B.& Willd.) Laubendf. con 18,79.

Cuadro 7. Índice de valor de importancia de las especies presentes en la parte baja de la hacienda Cristal, del cantón Loja, noviembre 2018.

Nombre científico	FR (%)	DR (%)	DmR (%)	IVI
Cedrela montana Moritz ex Turcz.	**7,50**	**26,26**	7,87	**41,64**
Triplaris cumingiana Fish.y Meyer.	**7,50**	7,07	**9,93**	**24,50**
Lafoensia acuminata (Ruiz & Pav.) DC.	**7,50**	**10,10**	3,07	**20,68**
*Prumnopitys montana (*H.&B.& Willd.) Laubendf.	5,00	**12,12**	1,67	**18,79**
Tabebuia chrysantha (Jacq.) Nicholson	2,50	1,01	**15,20**	18,71
Cordia alliodora (Ruiz &Pav.) Oken.	**7,50**	7,07	2,74	17,31
Inga edulis Mart.	2,50	2,02	**12,60**	17,12
Jacaranda mimosifolia D. Don.	**7,50**	7,07	2,07	16,64
Ficus sp.	**7,50**	3,03	5,88	16,41
Pouteria lucuma (Ruiz & Pav.) Kuntze.	2,50	1,01	7,11	10,62
Annona cherimola Mill.	2,50	3,03	3,92	9,45
Musa acuminata Colla.	2,50	3,03	3,60	9,13
Hesperomeles obtusifolia	2,50	1,01	4,87	8,38
Persea americana Mill.	5,00	2,02	1,35	8,37
Styrax subargentea Sleumer.	2,50	1,01	4,75	8,26
Citrus x sinensis (L.) Osbeck.	5,00	2,02	1,22	8,24
Myrcianthes rhopaloides (H.B.K) Mc Vaugh.	5,00	2,02	0,89	7,92
Alnus acuminata H.B.K.	2,50	1,01	3,80	7,31
Tecoma stans (L.) Juss. ex Kunth.	2,50	2,02	1,42	5,94
Prunus serotina Ehrh. subsp.capuli (Cav.) Mc Vaugh.	2,50	2,02	1,40	5,92
Citrus reticulata Blanco.	2,50	1,01	2,05	5,56
Citrus x latifolia Tanaka ex Q. Jiménez.	2,50	1,01	1,19	4,70
Faxinus muelles	2,50	1,01	0,84	4,35
Citrus x paradisi Macfad.	2,50	1,01	0,56	4,07
Total	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**300,00**

4.2.1.4. Edad del cultivo, cultivares y manejo.

Según las encuestas aplicadas en marzo del presente año, al propietario de la hacienda, el café en la parte alta tuvo una edad de 4 a 5 años y ha sido sembrado a 1,10 m x 1,70 m.

Dentro de las especies cultivadas se encontraron: Bourbon amarillo y rojo.

Para el control de ojo de pollo utilizaba bioles (tres veces al año), pero no se realizó esta práctica por las razones antes ya mencionadas en cuanto a los recursos económicos; además, se realizaba podas anuales para regular la sombra y la limpieza de maleza la realizaba con machete y motoguadaña. Los árboles que sirvieron de sombra al cafeto son especies nativas de importancia comercial e introducidas.

4.2.1.5. Distribución horizontal y vertical.

La vegetación existente en la parte baja de la zona de estudio presentó diversidad de estratos, en el estrato medio se encontraron especies como *Musa acuminata* Colla., *Inga edulis* Mart., *Persea americana* Mill., *Prunus serotina Ehrh. subsp. capuli (Cav.)* Mc Vaugh., entre otras; mientras que en el estrato alto las especies más representativas fueron: *Lafoensia acuminata* (Ruiz & Pav.) DC., *Prumnopitys montana* (H.&B.& Willd.) Laubendf., *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., *Cordia alliodora* (Ruiz &Pav.) Oken. y *Triplaris cumingiana* Fish y Meyer.; por otra parte, las especies que presentaron una mayor altura promedio pertenece a *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) Nicholson.; mientras que una menor altura presentó *Musa acuminata* Colla. Las especies con una mayor área de copa correspondieron a especies como: *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) Nicholson., seguido de *Inga edulis* Mart. y *Pouteria lucuma* (Ruiz & Pav.) Kuntze.

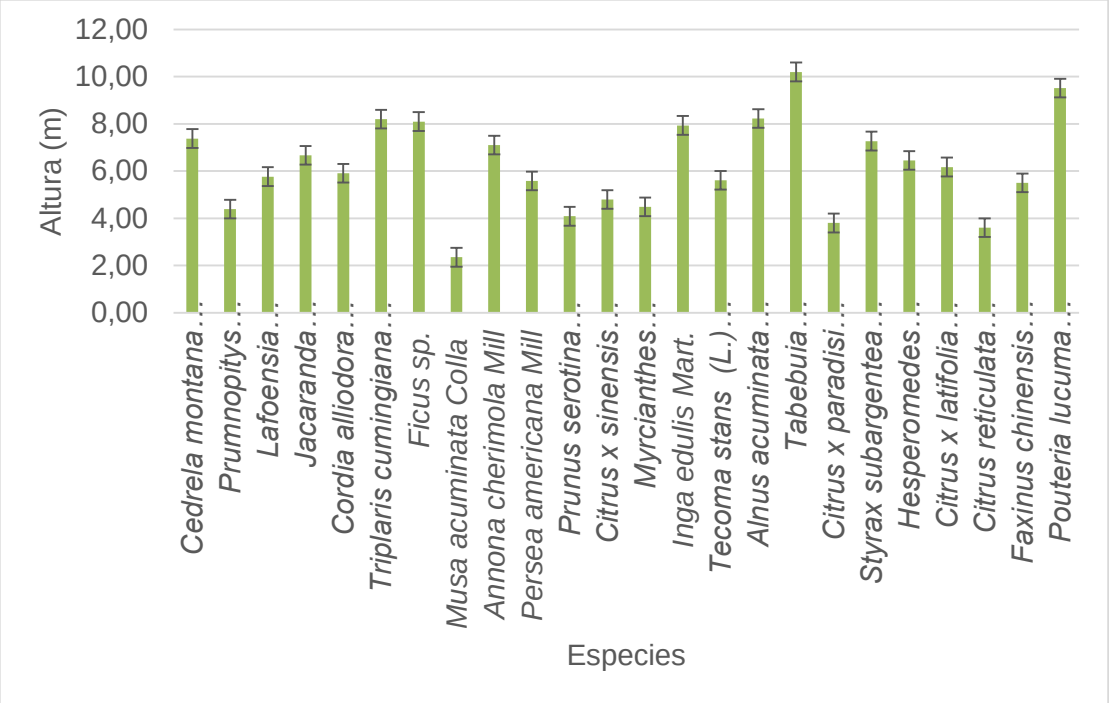


Figura 6. Distribución vertical de la vegetación arbórea y arbustiva en la parte baja de la hacienda Cristal.

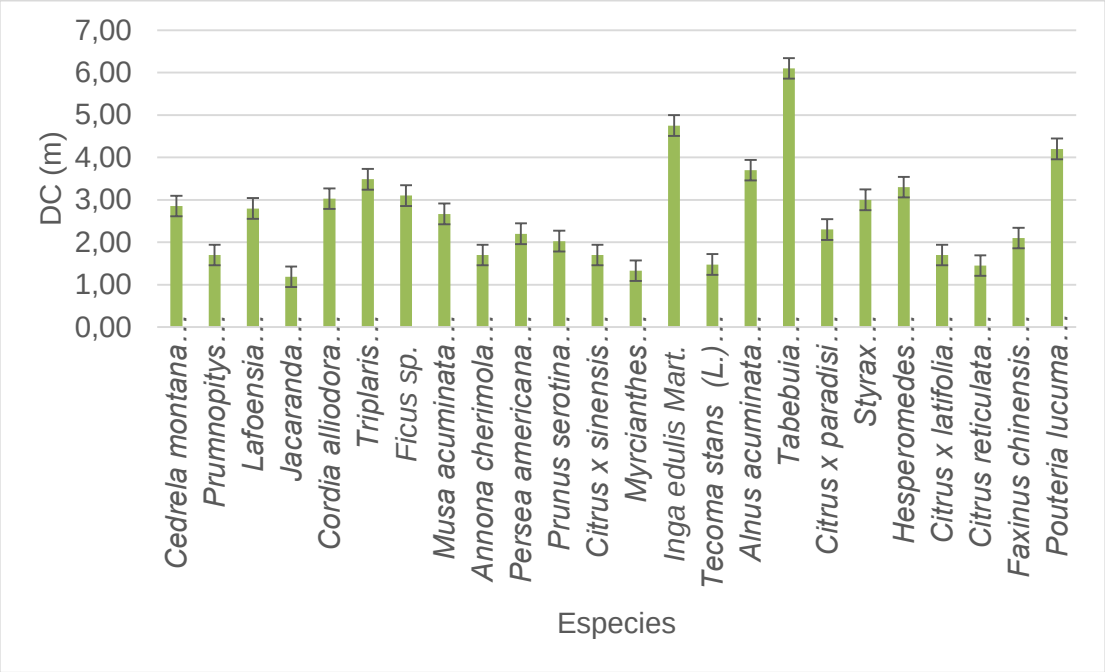
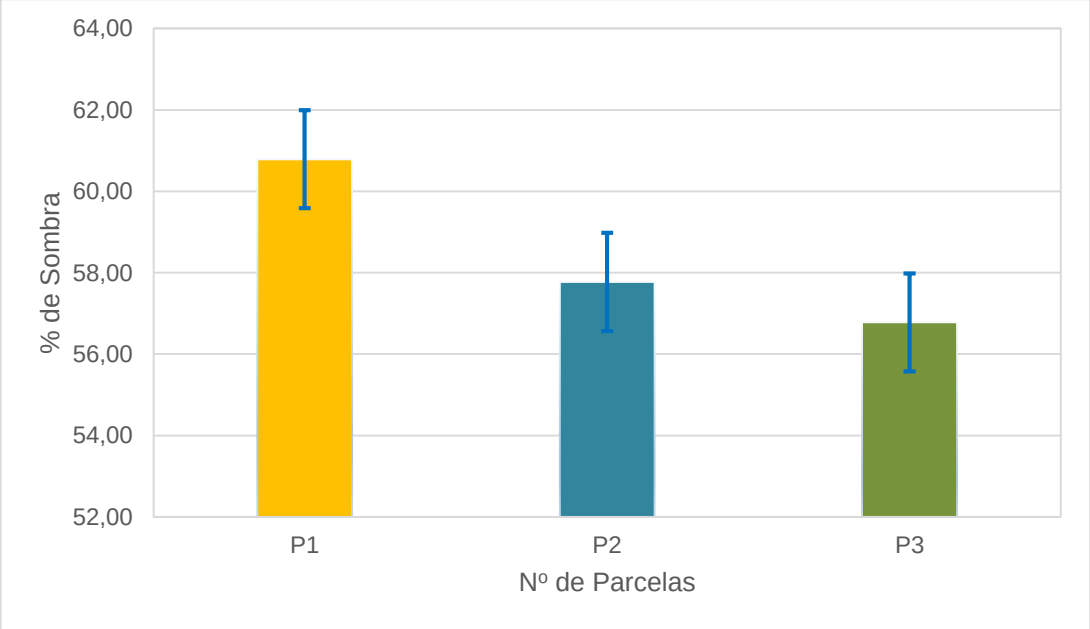


Figura 7. Distribución horizontal de la vegetación arbórea y arbustiva en la parte baja de la hacienda Cristal.

4.2. Condiciones y variaciones microclimáticas: Sombra, temperatura del aire, humedad relativa y vientos dentro de los SAFs con café en la parte alta, y baja de la hacienda Cristal.

4.2.1. Sitio 1. Hacienda Cristal, parte alta

El porcentaje de sombra en las tres parcelas fueron 60,79; 57,77 y 56,78 % en su orden, con diferencia de la primera respecto a los demás (Figura 8), dando un promedio para este sitio de 58,55 %.



P1: Parcela 1; **P2:** Parcela 2; **P3:** Parcela 3.

Figura 8. Medias del porcentaje de sombra en las tres parcelas de la parte alta de la hacienda Cristal.

La temperatura media en el interior del sistema agroforestal con café tuvo una variación entre 19,67 a 22,66 ºC y una media de 21,22 ºC durante el periodo de evaluación; mientras que, externamente al sistema la temperatura osciló entre 20,32 a 24,89 ºC y una media de 22,42 ºC (Figura 9 y Anexo 7).

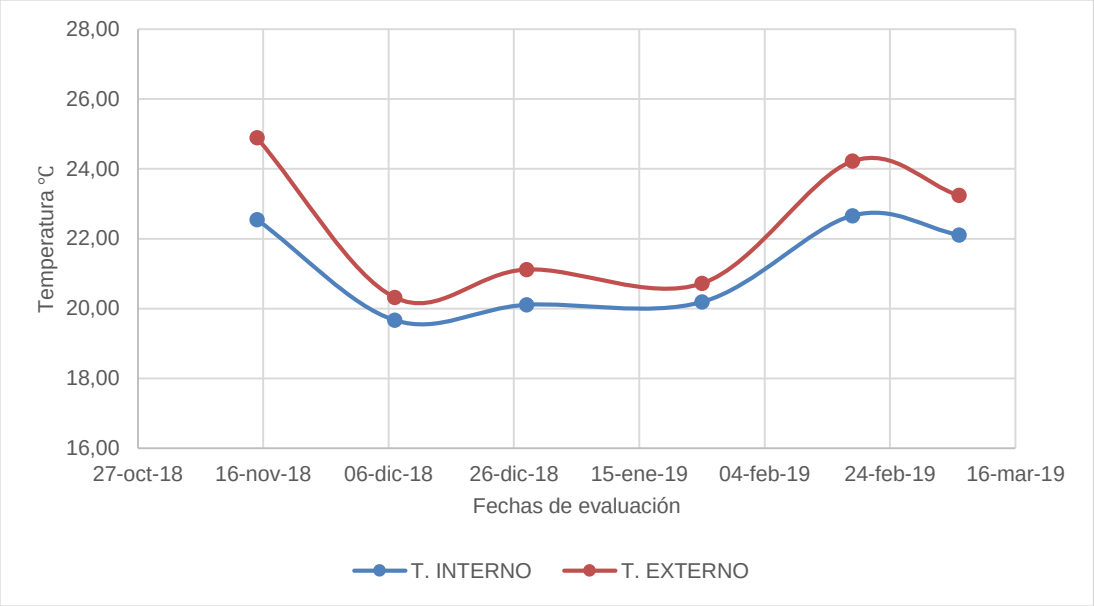


Figura 9. Medias de la temperatura interna y externa en la parte alta de la hacienda Cristal, periodo noviembre 2018-marzo 2019.

Las medias de la diferencia de temperatura variaron en rangos de -3,24 a 0,19 °C; con una media general de -1,20 ºC (Cuadro 8 y Anexo 7).

Cuadro 8. Medias de la diferencia de temperatura dentro y fuera del sistema agroforestal por parcelas en las seis evaluaciones efectuadas en la parte alta, en el periodo noviembre 2018-marzo 2019.

N°	Fecha de evaluación	Parcelas		
		1	2	3
1	nov-18	-1,31	**-3,24**	-2,47
2	dic-18	-1,59	-0,55	**0,19**
3	dic-18	-1,22	-1,07	-0,73
4	ene-19	-0,67	-0,17	-0,26
5	feb-19	-0,90	-0,98	-2,79
6	mar-19	-2,17	-0,36	-0,85
	Media de parcelas	-1,31	-1,14	-1,15
	Media del sitio		**-1,20**	

La HR a nivel interno del SAF varió entre 58,39 hasta el 79,86 %; con una media de 65,16 %; mientras que, a nivel externo la variación estuvo entre 57,63 a 78,35 %; con una media de 63,50 % (Figura 10 y Anexo 7).

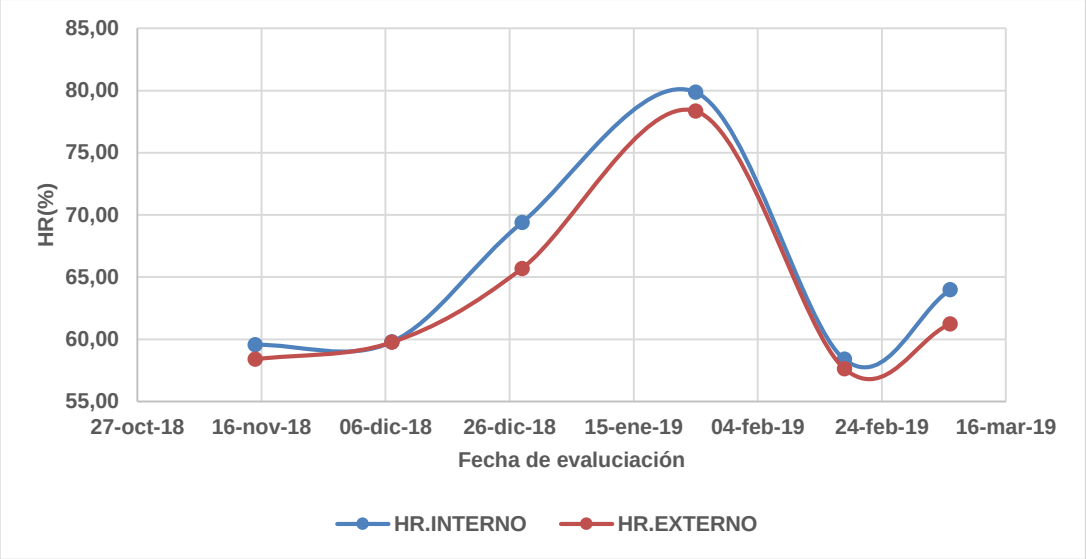
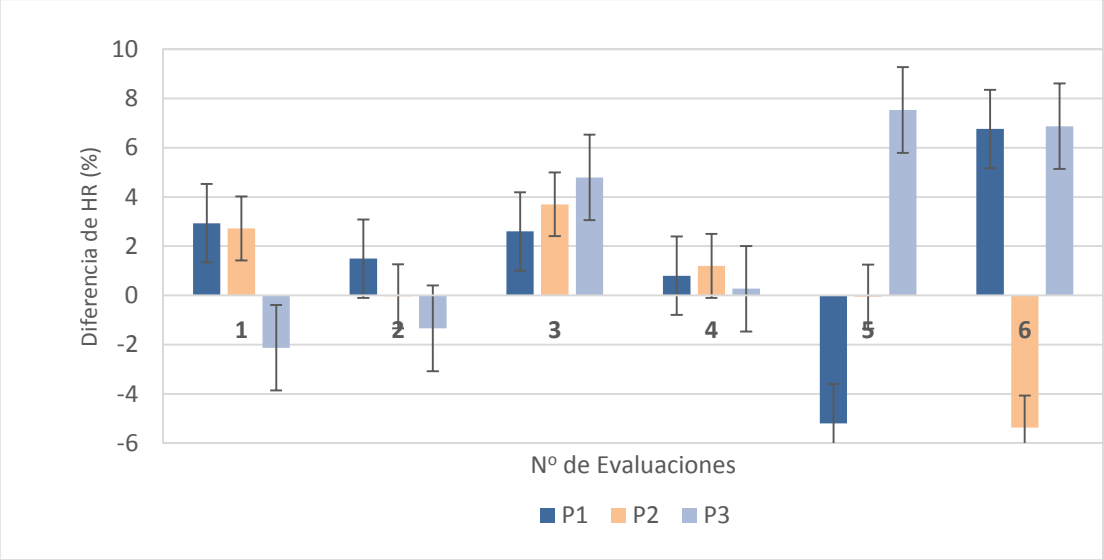


Figura 10. Medias de la humedad relativa interna y externa en la parte alta durante el periodo noviembre 2018- marzo 2019.

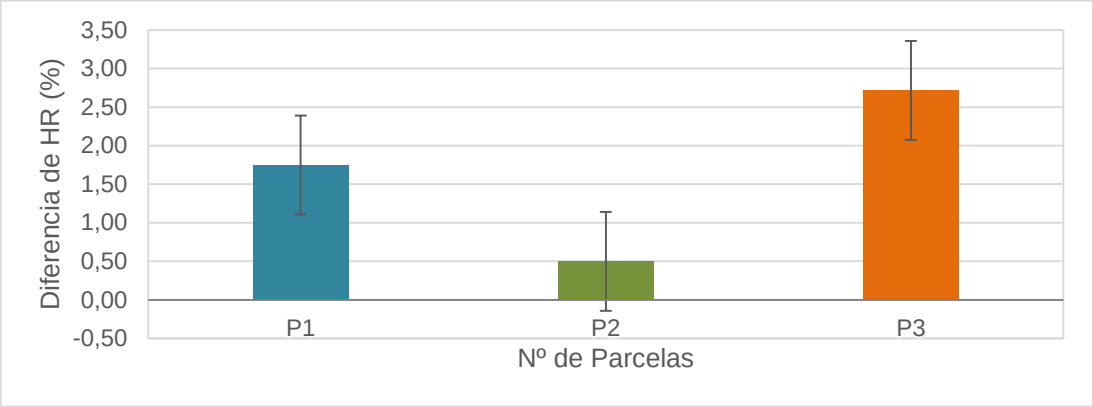
La diferencia de HR de las seis evaluaciones entre la parte interna y externa del SAF varió entre -5,37 en la sexta evaluación (marzo) a 7,53 en la quinta evaluación (febrero); indicándonos que la humedad relativa a nivel interno fue mayor que a nivel externo (Figura 11 y Anexo 7).



P1: Parcela 1; **P2:** Parcela 2; **P3:** Parcela 3.

Figura 11. Medias de la diferencia de humedad relativa en las tres parcelas de la parte alta de la hacienda Cristal, en las seis evaluaciones realizadas.

La diferencia de HR entre la parte interna y externa del SAF fue de 1,75 para la parcela 1; 0,50 para la parcela 2 y 2,72 % para la parcela 3; existiendo una diferencia media de HR en la parte baja de 1,53 % (Figura 12 y Anexo 7).



P1: Parcela 1; **P2:** Parcela 2; **P3:** Parcela 3.

Figura 12. Medias de la diferencia de humedad relativa en las tres parcelas de la parte alta en el periodo noviembre 2018-marzo, 2019.

En cuanto a la velocidad del viento, en las seis evaluaciones realizadas se registró valores promedios que fluctúan entre 0,00 a 0,68 m s^{-1}; mientras que, a nivel externo, la velocidad del viento varió 0,08 a 0,73 m s^{-1} (Figura 13 y Anexo 7). El promedio general de todas las evaluaciones fue de 0,28 m s^{-1} a nivel interno; en cambio a nivel externo alcanzó el valor de 0,43 m s^{-1}.

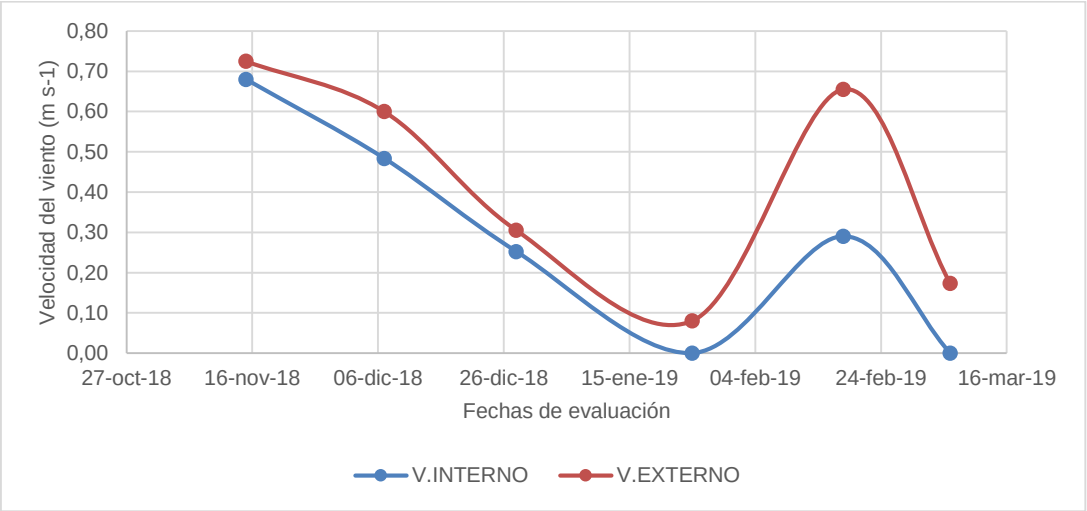


Figura 13. Medias del viento interno y externo de la parte alta en el periodo noviembre-marzo, 2019.

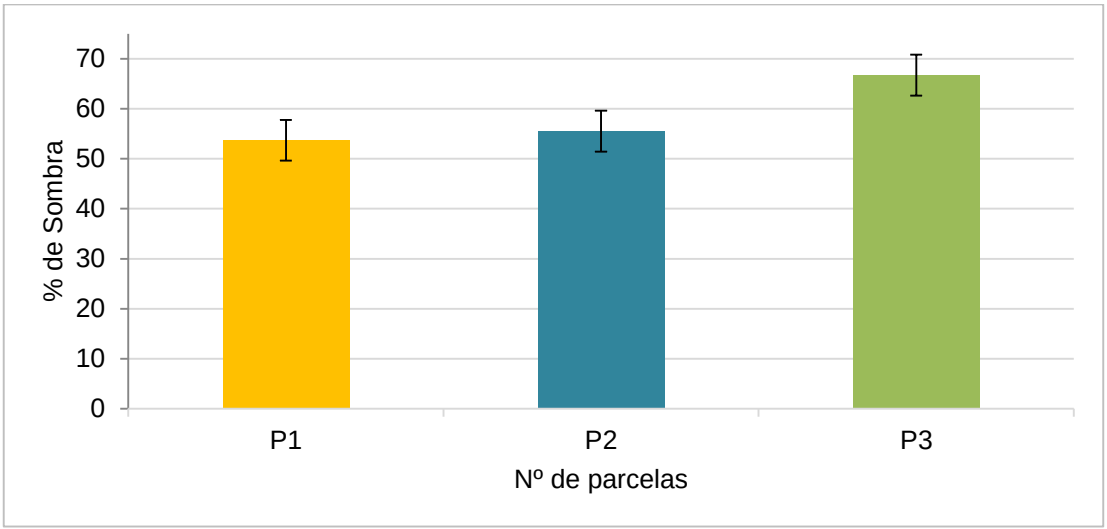
La diferencia de viento presentó valores que varían de -0,63 a 0,19 m s^{-1} (Cuadro 9); con una media general de -0,42 m s^{-1}.

Cuadro 9. Medias de diferencia de viento en el sistema agroforestal con café de la parte alta en el periodo noviembre- marzo, 2019.

N°	Fechas de evaluación	Parcelas		
		1	2	3
1	nov-18	0,18	-0,11	-0,19
2	dic-18	0,56	-0,54	-0,37
3	dic-18	-0,22	-0,13	**0,19**
4	ene-19	-0,13	-0,13	0,00
5	feb-19	**-0,63**	-0,24	-0,23
6	mar-19	-0,16	-0,09	-0,27
	Media de parcela	-0,06	-0,21	-0,15
	Media del sitio		**-0,42**	

4.2.2. Sitio 2. Hacienda Cristal, parte baja.

El porcentaje de sombra en las tres parcelas fueron 53,71; 55,53 y 66,75 % en su orden (Figura 14), con diferencia de la tercera respecto a los demás, dando un promedio para este sitio de 58,66 %.



P1: Parcela 1; **P2:** Parcela 2; **P3:** Parcela 3.

Figura 14. Medias del porcentaje de sombra en las tres parcelas de la parte baja de la hacienda Cristal, durante el periodo noviembre 2018 a marzo 2019.

La temperatura dentro del sistema agroforestal presentó una media 21,11 ºC; con un rango que de fluctúa de 17,71 ℃ a 24,24 ºC; en cambio, la temperatura externa del sistema varió de 17,95 a 26,85 ºC; con una media de 22,19 ºC (Figura 15 y Anexo 7).

Por otra parte, cabe señalar que en la primera y cuarta evaluación la temperatura externa fue menor que la interna debido a la presencia de lluvias durante el periodo de evaluación; por lo que la temperatura interna disminuyó lentamente dentro del SAF.

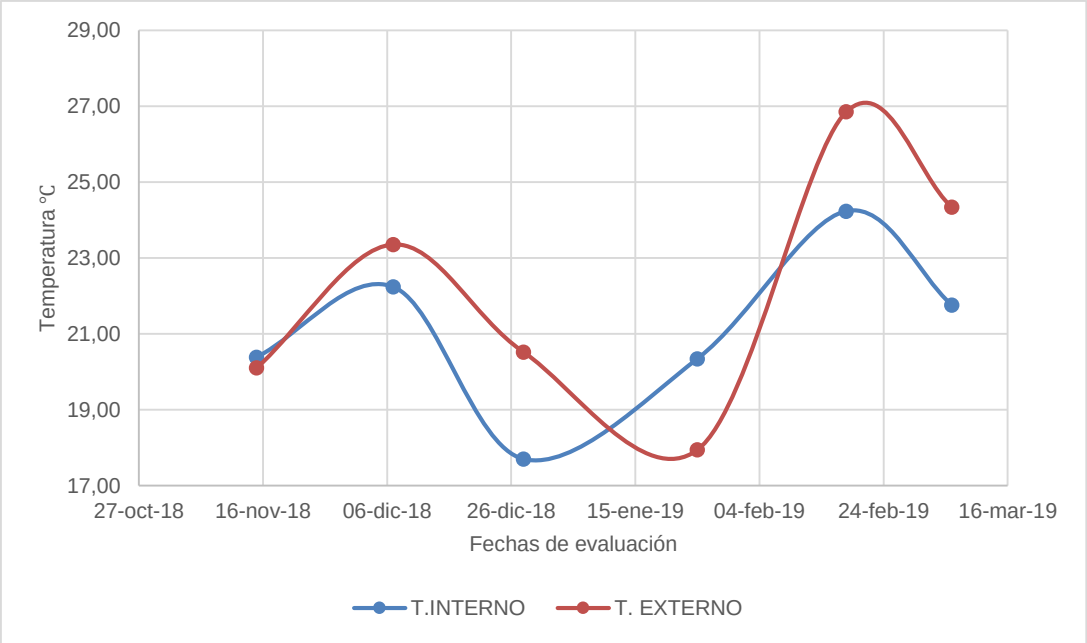


Figura 15. Medias de la temperatura interna y externa en la parte alta de la hacienda Cristal durante el periodo de evaluación noviembre 2018 a marzo 2019.

La diferencia de temperatura osciló de -4,28 a 4,18 ºC; con una media general de 1,07 ºC. Se muestran estos resultados debido a factores como: Hora de recolección de datos y repentinos cambios en el tiempo (periodos cortos de lluvia) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Medias de la diferencia de temperatura dentro y fuera del sistema agroforestal por parcelas en las seis evaluaciones efectuadas en la parte baja, en el periodo noviembre 2018-marzo 2019.

N°	Fecha de evaluación	Parcelas		
		1	2	3
1	nov-18	2,11	-0,25	-1,01
2	dic-18	-0,59	1,09	-3,86
3	dic-18	-2,24	-3,31	-2,9
4	ene-19	0,7	2,32	**4,18**
5	feb-19	-2,73	-2,59	-2,53
6	mar-19	-0,87	-2,59	**-4,28**
	Media de parcelas	-0,60	-0,89	-1,73
	Media del sitio		**-1,07**	

La HR en el interior del sistema agroforestal tuvo una variación de 57,20 a 75,92 %; con una media de 67,08 %; por el contrario, a pleno sol la HR fue de 52,93 a 74,43 %; con una media de 64,81 % (Figura 16 y Anexo 7).

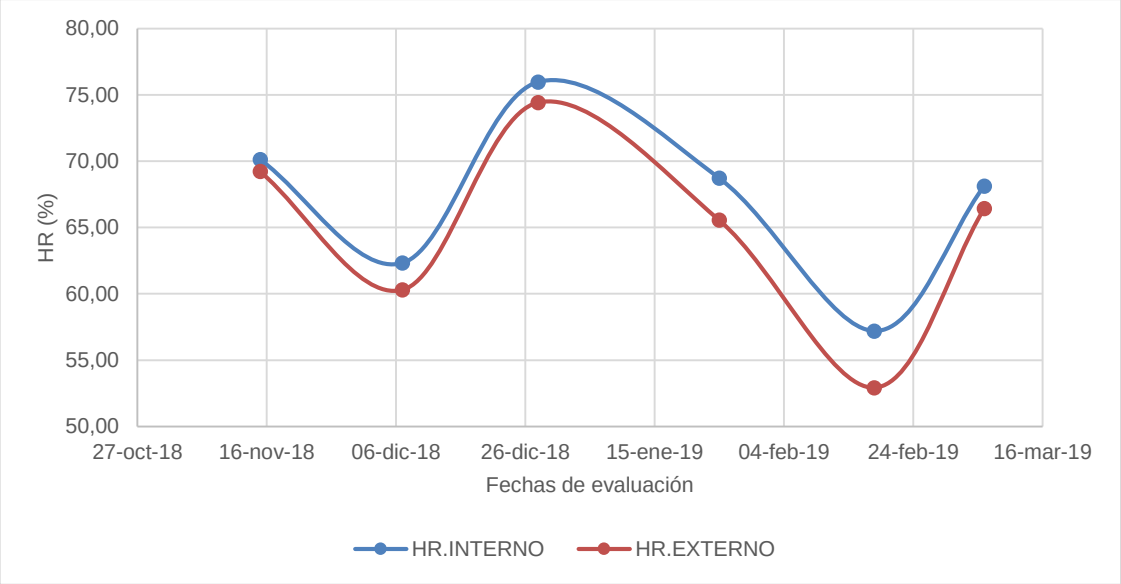
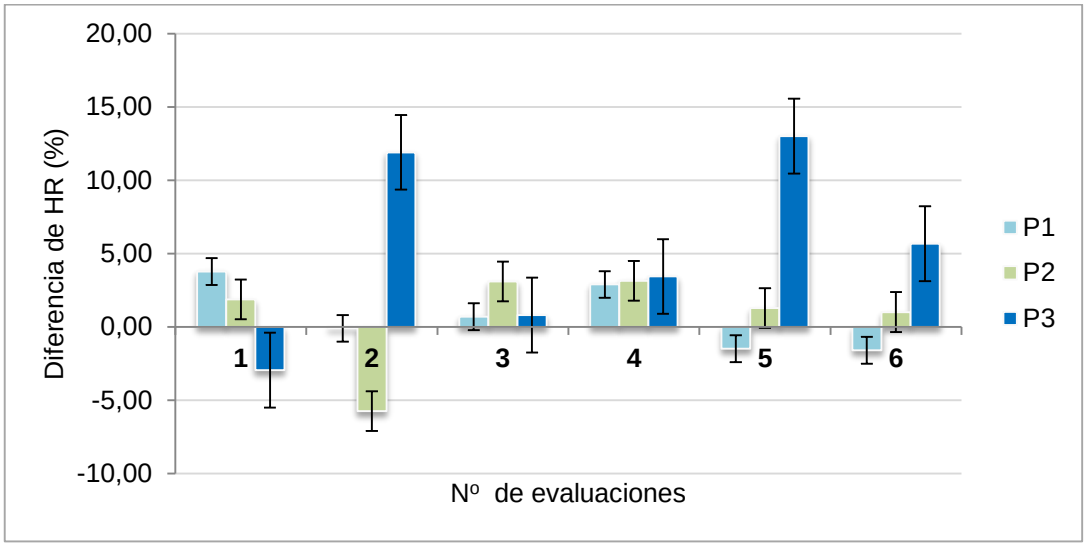


Figura 16. Medias de la humedad relativa interna y externa en la parte baja, durante el periodo noviembre- marzo 2019.

La diferencia de HR de las 6 evaluaciones entre la parte interna y externa del SAF fluctúan entre -5,75 en la segunda evaluación (diciembre) a 13,02 % en la quinta evaluación (febrero) (Figura 17 y Anexo 7) debido a la presencia

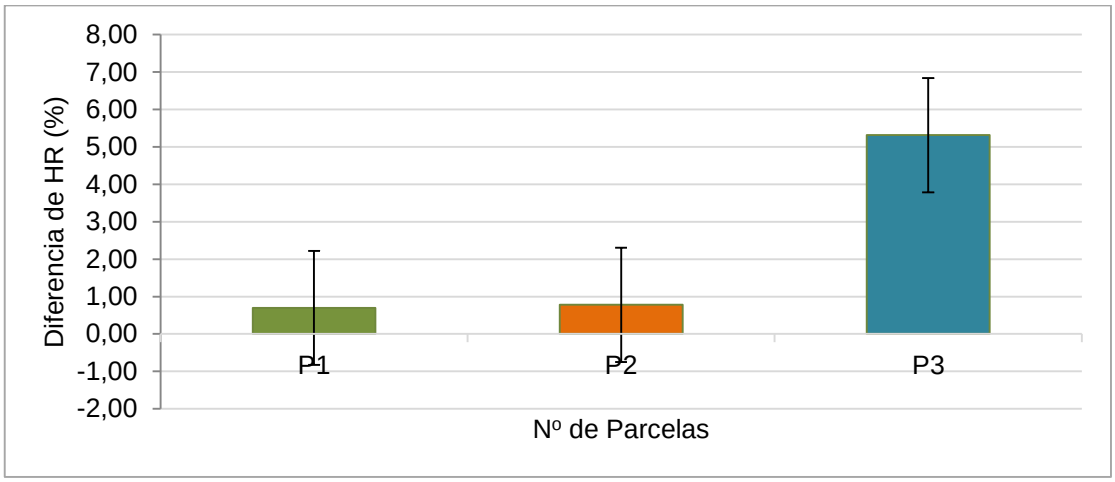
cambios de clima repentidos que surgen en el sitio de estudio; mostrando similitudes entre las parcelas en la cuarta evaluación.



P1: Parcela 1; **P2:** Parcela 2; **P3:** Parcela 3.

Figura 17.Medias de la diferencia de humedad relativa en las tres parcelas de la parte baja de la hacienda Cristal, en las seis evaluaciones realizadas.

La diferencia de HR generada por la parte interna y externa del SAF fue de 0,70 para la parcela 1; 0,78 para la parcela 2 y 5,32 % para la parcela 3, mostrando diferencias la tercera parcela con respecto a las demás (Figura 18); con una media general de 2,26 %.



P1: Parcela 1; **P2:** Parcela 2; **P3:** Parcela 3.

Figura 18. Medias de la diferencia de humedad relativa en las tres parcelas de la parte baja, en el periodo noviembre 2018-marzo, 2019.

En lo que respecta a la velocidad del viento en las seis evaluaciones, las medias variaron en un rango de 0,00 a 0,02 m s^{-1}; mientras que, a nivel externo, la velocidad del viento osciló de 0,01 a 0,28 m s^{-1} (Figura 19 y Anexo 7); mostrando, una media general de 0,01 m s^{-1} a nivel interno; mientras que, a nivel externo presentó un valor de 0,13 m s^{-1}.

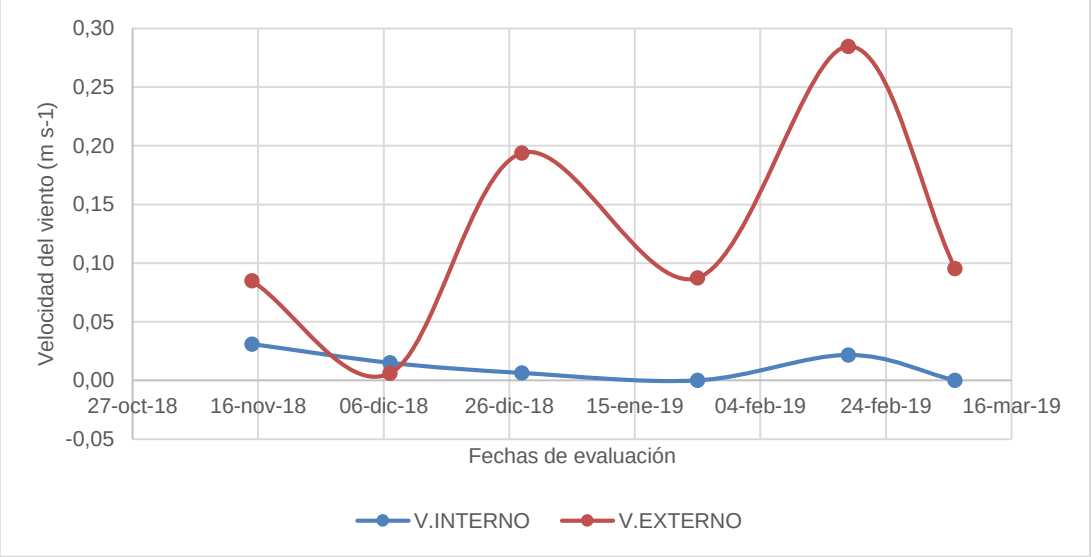


Figura 19. Medias del viento interno y externo de la parte baja en el periodo noviembre 2018-marzo, 2019.

La diferencia de viento presentó valores que varían de -0,37 a 0,03 (Cuadro 11.) y una media general de -0,12.

Cuadro 11. Medias de diferencia de viento en el sistema agroforestal con café de la parte baja en el periodo noviembre- marzo, 2019.

N°	Fechas de evaluación	Parcelas		
		1	2	3
1	nov-18	0,00	-0,13	-0,03
2	dic-18	**0,03**	0,00	0,00
3	dic-18	-0,20	-0,07	-0,29
4	ene-19	-0,02	-0,15	-0,09
5	feb-19	-0,19	**-0,37**	-0,23
6	mar-19	-0,07	-0,15	-0,07
	Media de parcelas	-0,06	-0,17	-0,14
	Media del sitio		**-0,12**	

Las correlaciones de Pearson existentes entre las variables climáticas del sitio 1, correspondiente a la parte alta de hacienda Cristal (Cuadro 12.) se presentaron de la siguiente manera: Las correlaciones positivas entre las variables: Sombra con HR interna y sombra con velocidad del viento interno presentaron valores de 0,16 cada una de ellas, consideradas como una correlación baja. La correlación positiva significa que a medida que aumentó una variable la otra también aumentó.

Se presentaron también, correlaciones negativas entre las variables: Sombra con temperatura interna, temperatura interna con HR interna, HR interna con velocidad del viento interno, obteniendo valores -0,15; -0,53 y -0,42 en su orden. La correlación negativa significa que a medida que aumentó una variable la otra disminuyó.

Cuadro 12. Correlaciones de las variables climáticas de la parte alta de la hacienda Cristal.

Variable 1	Variable 2	Pearson	Interpretación
Sombra	Temperatura interna	-0,15	Correlación lineal baja negativa
	HR interna	0,16	Correlación lineal baja positiva negativa
	Velocidad del viento interno	0,16	Correlación lineal baja positiva
Temperatura interna	HR interna	-0,53	Correlación lineal media negativa
HR interna	Velocidad del viento interno	-0,42	Correlación lineal media positiva

En el sitio 2, correspondiente a la parte baja de la hacienda Cristal existieron correlaciones de Pearson entre las distintas variables climáticas (Cuadro 13), las cuales se presentaron de la siguiente manera: Las correlaciones negativas entre sombra con temperatura interna, sombra con velocidad del viento, temperatura interna con HR interna y HR interna con velocidad del viento registrando valores de -0,20; -0,09; -0,84 y -0,12 en su respectivo orden, lo que significa que mientras la una variable aumentó la otra disminuyó o

viceversa. Además, se presentaron correlaciones positivas entre la sombra con HR interna con valores de 0,29.

Cuadro 13. Correlaciones de las variables climáticas de la parte baja de la hacienda Cristal.

Variable 1	Variable 2	Pearson	Correlación
Sombra	Temperatura interna	-0,20	Correlación lineal baja negativa
	HR interna	0,29	Correlación lineal baja positiva
	Velocidad del viento	-0,09	Correlación lineal baja negativa
Temperatura interna	HR interna	-0,84	Correlación lineal alta negativa
HR interna	Velocidad del viento interna	-0,12	Correlación lineal baja negativa

4.3. Comportamiento de la temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento de la estación "La Argelia" durante el periodo de evaluación, noviembre 2018-marzo 2019.

La temperatura máxima calculada durante los meses de evaluación fue en noviembre con 16,6 ºC, mientras que la mínima fue en el mes de diciembre con 14,6 ºC; con un promedio 15,80 ºC (Figura 20).

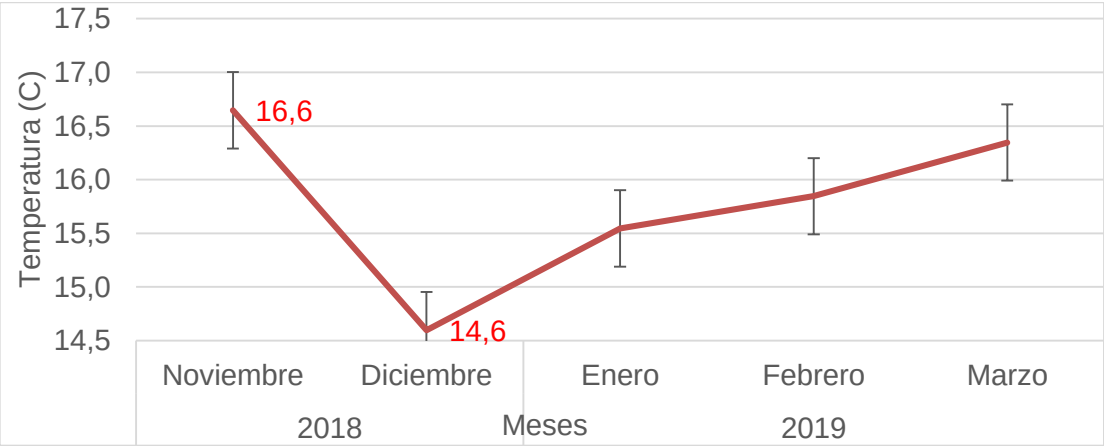


Figura 20. Temperatura calculada de noviembre 2018 a marzo 2019, obtenidos de la estación meteorológica la "La Argelia".

La precipitación total en los meses de evaluación fluctuó de 163,8 mm para el mes de noviembre; mientras que, para el mes de diciembre presentó un valor de 69,3 mm, con un promedio de 111,22 mm; mostrando diferencias de la evaluación de noviembre con respecto de las demás (Figura 21).

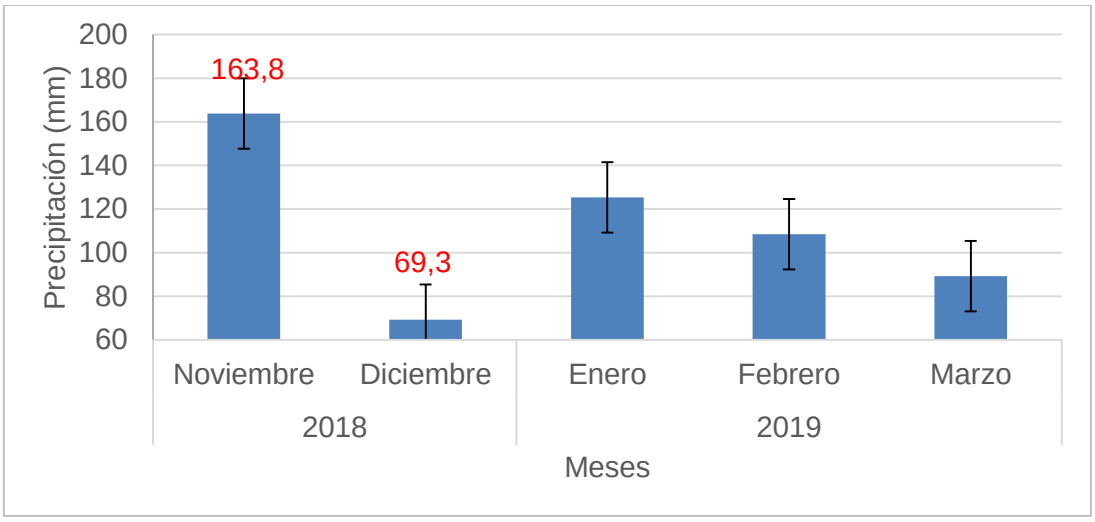


Figura 21. Precipitación total de noviembre 2018 a marzo 2019, obtenidos de la estación meteorológica la "La Argelia".

La HR fue mayor para el mes de febrero con 83 %; mientras que para el mes de diciembre la humedad relativa fue menor, mostrando un valor de 80 % (Figura 22).

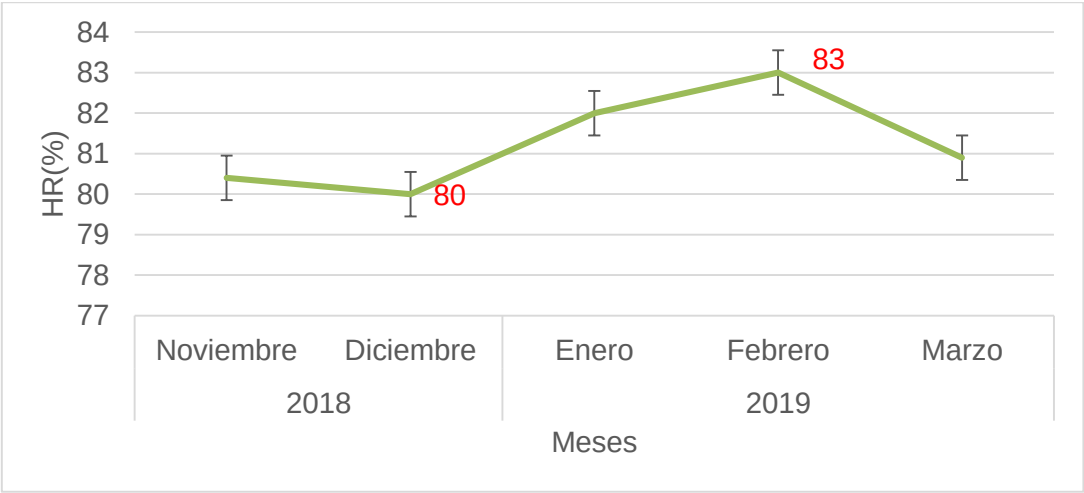


Figura 22. Humedad relativa de noviembre 2018 a marzo 2019, obtenidos de la estación meteorológica la "La Argelia".

El valor más alto de velocidad de viento se registró para el mes de enero y marzo con un valor de 2,4 m s^{-1}; en tanto que, el valor más bajo corresponde al mes de noviembre con un valor de 1, 6 m s^{-1}.

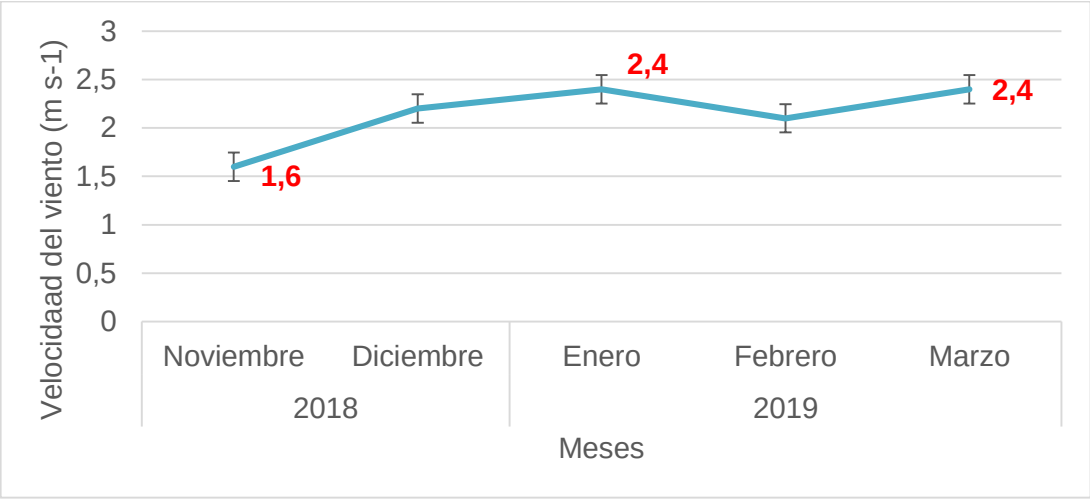


Figura 23. Velocidad de viento media mensual de noviembre 2018 a marzo 2019, obtenidos de la estación meteorológica la “La Argelia”.

5. DISCUSIÓN.

5.1. Composición y distribución de la vegetación arbórea y arbustiva de sombra en SAF con café.

5.1.1. Especies arbóreas y arbustivas.

El sitio 1 y 2 de la hacienda Cristal presentaron diferencias entre ellas en cuanto a la vegetación existente, debido a que, en la parte alta el cafeto se encontró asociado a una sola especie *Alnus acuminata* H.B.K y en la parte baja se presentó un sistema con diversidad de especies de sombra.

Al respecto Leal (2017) encontró una sola especie en el sistema agroforestal-café: *Alnus* sp.; lo cual coindice con lo encontrado en el sitio 1 de la zona de estudio.

Por otra parte, en el sitio 2 existe gran variabilidad de especies, dentro de las más representativas se encontraron las maderables, como: *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., *Prumnopitys montana (*H.&B.& Willd.) Laubendf., *Lafoensia acuminata* (Ruiz & Pav.) DC., *Cordia alliodora* (Ruiz &Pav.) Oken. *Triplaris cumingiana* Fish y Meyer y *Jacaranda mimosifolia* D. Don.; también existen en menor frecuencia, frutales del género *Citrus* y *Annona*.

García *et al.* (2015) mencionan en su trabajo de sistemas agroforestales con café, que las especies más ricas en este sistema corresponden a las conformadas por las familias: Fabaceas, moraceae, lauraceae, euphorbiaceae y malvaceae, coincidiendo las tres últimas familias con las encontradas en el sitio 2 de la zona de estudio. Además, Enríquez (2012) en su estudio realizado en México sobre sistemas rústicos con café, manifiesta que existen sistemas con especies de árboles nativos y de vegetación secundaria, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio. Por otra parte, Perfecto (2003) y Speelman *et al.* (2014) señalan que

los sistemas agroforestales de café se caracterizan por la conservación de la biodiversidad y conservación de remanentes de bosques; además de proporcionar los árboles al agricultor una variedad de productos como frutas, leña y madera.

5.1.2. Altura de los árboles y arbustos.

En el sitio 1 y 2 (parte alta y baja) de la hacienda Cristal presentaron variabilidad en cuanto a la altura de las especies arbóreas y arbustivas, debido a que las especies presentes son producto de la generación natural, donde no existe una fecha de siembra uniforme para las especies.

Según Rahn *et al.* (2013), en los policultivos complejos tradicionales, el café crece junto a especies de plantas nativas o introducidas con doseles de 20-30 m de altura; en cambio, los sistemas policultivos no tradicionales se caracterizan por una completa remoción de los árboles de los bosques originales y la introducción de especies de árboles para sombra que son apropiados para los cultivos de café y que frecuentemente son plantas fijadoras de nitrógeno como *Inga* sp. y con doseles menos de 15 m.

5.1.3. Diámetro de copa.

La especie con mayor diámetro de copa correspondió a: *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) Nicholson. con 6,10 m; mientras que, la especie con menor diámetro fue *Jacaranda mimosifolia* D. Don. con 1,19 m; obteniéndose un promedio general de 2,66 m; esta gran variación obedece a que las especies son producto de la regeneración natural; es decir, no son plantados a un mismo tiempo; ante lo ya mencionado Pérez, Valdés y Ordaz (2012) en su estudio sobre el estrato arbóreo y arbustivo del sistema rústico, señala que una sobreposición y proyección muy densa de las copas de los árboles y arbustos en el sistema dificulta el flujo de luz solar a la superficie del suelo; mientras que la sobreposición y proyección de las copas de los árboles y

arbustos en el policultivo tradicional mejorado es poco densa permitiendo mayor flujo de luz solar a la superficie del suelo.

5.1.4. Índice de valor de importancia.

Las especies con mayores IVI corresponden a: *Alnus acuminata* B.H.K, *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., *Triplaris cumingiana* Fish y Meyer. y *Prumnopitys montana* (H.&B.& Willd.) Laubendf., debiendo señalar que Enríquez y Valdez (2003) en su estudio sobre sistema rústico con café, sí reporta al género *Cedrela*, pero con una baja importancia en este sistema.

5.2. Condiciones microclimáticas en los sistemas agroforestales con café.

5.2.1. Sombra.

El porcentaje de sombra en la zona de estudio varió de 53,83 a 64,46 % con un valor medio de 58,85 % (Anexo 7) , por la cobertura de copa de las especies con mayor número de individuos: *Cedrela montana* Moritz ex Turcz.,*Triplaris cumingiana* Fish y Meyer y *Jacaranda mimosifolia* D. Don. quienes se caracterizan por poseer una copa amplia; ante esto, Filho (2005) en un trabajo realizado en Costa Rica en sistemas agroforestales-café, determinó un porcentaje de sombra promedio del 44 %; así mismo, en el estudio de Pérez y Suárez (2011) en Honduras, obtuvieron porcentaje de sombra comprendido entre 31 al 64 %, este último porcentaje de sombra redujo el rendimiento del café. Estos resultados concuerdan parcialmente con lo encontrado en el sitio de estudio.

Por otra parte, Farfán *et al.* (2004); Ramírez (2017) y Soto-Pinto *et al.* (2000) manifiestan que para generar un ambiente adecuado y una buena productividad del cafeto en sistemas agroforestales, es necesario que la proporción de sombrío en el sistema no sobrepase el 30 o 45 %; ya que al ser

estos valores inferiores o superiores al rango señalado reducen el rendimiento del cafeto; por el contrario, Danielle *et al*. (2012) señalan que los niveles de sombra del 35, 50 y 65 % favorecen el proceso fotosintético en época de lluvia; sin embargo, estación seca, el 50 % de sombreado reduce este proceso.

5.2.2. Temperatura del aire.

La temperatura interna del sistema agroforestal con café en el sitio 1 y 2 de estudio oscila de 17,71 a 24,24 ºC; con una media de 21,15 ºC (Anexo 7). Además, la temperatura estimada de la estación meteorológica "La Argelia" presentó una temperatura que fluctúa de 14,6 a 16,3 ºC. Lo datos registrados en la zona de estudio, concuerda con lo señalado por Montoya y Jaramillo (2016); Varese y Rojas (2012) quienes mencionan que los cafetales requieren una temperatura óptima de 18 a 22 ºC, con extremos de 16 a 24 ºC. Por otra parte, Figueroa, Pérez y Godínez (2015) señalan que las temperaturas menores a 16 ºC puede quemar los brotes, y si la temperatura sobrepasa los 27 ºC hay más riesgo de deshidratación de la planta con reducción de la fotosíntesis. Además, ICAFE (2011) indica que las temperaturas inferiores a 10 °C, provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes. Por otra parte, la Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café (2004) determinó que la sombra regula la temperatura del aire, provocando durante la noche temperaturas superiores a las de zona sin sombra, sucediendo lo contrario durante el día.

En cambio la diferencia de temperatura en el lugar de estudio mostró una media de -1,16, en rangos comprendidos entre -2,82 a 2,40 ºC (Anexo 7), mostrando menor temperatura en SAF con café; al respecto Macedo *et al.* (2011) manifiesta en su estudio realizado en sistemas agroforestales con café asociado con robles en primavera, verano y otoño presentan diferencias siempre superiores a 1 °C frente a los sistemas sin sombra; así mismo, Morais *et al.* (2006) obtuvo que las temperaturas promedio mensuales en cafetales a

pleno sol son mayores en comparación con los bosques agroforestales en aproximadamente de 2,1 ºC.

Además, González *et al.* (2015) en su estudio sobre la variabilidad de la temperatura en bosques de coníferas manifiesta que existe una diferencia de temperatura de 3 °C entre las temperaturas diurnas y nocturnas, y predominó una temperatura superior en los territorios deforestados con 1,4 %, respecto a los cubiertos por árboles. En efecto, Farrell y Altieri (2015) opina que los árboles moderan los cambios de temperatura, dando como resultado temperaturas máximas más bajas y mínimas más altas bajo los árboles, en comparación con las áreas abiertas. La disminución de temperatura y la reducción de los movimientos del aire debido al dosel de los árboles reduce el promedio de evaporación.

5.2.3. Humedad relativa.

En general la HR en el interior del SAF con café presentó una media de 66,12 %, en rangos comprendidos entre 57,20 a 79,86 % (Anexo 7). Los datos obtenidos de la estación meteorológica la “La Argelia”, presentaron valores que varían del 80 al 82 %; con una media de 81,26 % en los meses de evaluación. Los datos registrados en la zona de estudio concuerdan parcialmente con Varese y Rojas (2012) quienes dicen que el cafeto necesita de una HR del 70 al 95 % para garantizar un buen desarrollo. Además, ICAFE (2011) indica que los niveles superiores al 85%, crea un ambiente favorable para el desarrollo de las enfermedades fungosas.

Por otro lado, la diferencia de HR en el área de estudio se encuentra en rangos que van desde el 0,76 al 4,27 %; con una media de 2,03 % (Anexo 7); estos resultados coinciden en parte con los encontrados por Pezzopane *et al.* (2010) en cultivos de café con sombra de árboles de macadamia (*Macadamia integrifolia*) quienes registraron un incremento promedio diario de hasta 5 % en la humedad relativa respecto a los cultivos únicos. Por otra parte,

Vasconcellos *et al.* (2016) en su trabajo de investigación presentó valores promedios que variaron del 1,09 al 4,05 %. De la misma manera, en el estudio realizado por Martini, Biondi y Batista (2016), evaluando variables microclimáticas entre calles con y sin árboles, para cada temporada, obtuvieron diferencias de HR de 6,4 % en primavera y de 5,6 % en invierno.

Según Mascaró y Mascaró (2010), la HR se ve afectada cuando el dosel de los árboles y la distribución del follaje es demasiado denso ya que retiene más agua y por ende aumenta la humedad relativa del aire debajo de ella.

5.2.4. Velocidad del viento.

La diferencia de la velocidad de viento en el área de estudio se presentó en un rango de -0,49 a 0,23 m s^{-1}; con una media de -0,10 m s^{-1} (Anexo 7); por otra parte, la velocidad del viento en el interior del sistema agroforestal varió en rangos comprendidos entre 0,00 a 0,68 m s^{-1}, lo cual según la escala de Beaufort (Anexo 9) corresponde a un viento calmo y ventolina. Al respecto Gómez (2010) opina que el rango óptimo de velocidad del viento, para el café es de 1,39 a 4,17 m s^{-1}; sin embargo, INEGI (1997) considera que vientos fuertes son nocivos para el cultivo de café, ya que producen la ruptura de ramas y caída de hojas, además si se trata de vientos cálidos y secos propicia un aumento en la transpiración que puede ocasionar el marchitamiento de hojas y brotes jóvenes, deteniendo el crecimiento del cafeto.

Según Rodríguez (2010) menciona que los árboles inducen a un aumento o una reducción de la velocidad del viento en función de su forma, altura y los obstáculos que lo rodean.

En el estudio realizado por Martini, Biondi y Batista (2016) los cuales evaluaron variables microclimáticas entre calles con y sin árboles, para invierno, verano y otoño, registraron que la mayor diferencia de velocidad de viento fue en invierno con un valor de 0,17 m s^{-1}.

Según Gómez (2004) obtuvo que, en el interior del bosque, las superficies de tronco, ramas y hojas son una fuente de fricción que genera la disminución de la velocidad del viento. En este sentido, el ambiente forestal es menos ventoso que en el exterior. Por otra parte, FAO (2015) indica que la eficiencia en la reducción de la velocidad del viento depende de la ubicación de árboles individuales en espacios abiertos. Mascaró y Mascaró (2010) afirma que algunos factores que también afectan las condiciones de ventilación de un entorno son las características de las especies de árboles, como el tamaño, la forma, la permeabilidad, el período de defoliación y la edad.

5.2.5. Precipitación.

La precipitación obtenida de la estación meteorológica “La Argelia” durante los meses evaluados oscilaron en rangos comprendidos entre 69,3 al 163,8 mm; con una media de 111,22 mm mensuales, tales valores en el periodo de estudio no se encuentran dentro los establecidos por IICA (2004) ,quién señala que el rango óptimo de precipitación que necesita el café va desde los 133,3 a 150 mm mes^{-1}; por otra parte, Fischerworrin y Robkam, (2001) acotan que una precipitación menor de 1 000 mm $año^{-1}$, limita el crecimiento y cosecha del cafeto; mientras que precipitaciones mayores a 3 000 mm $año^{-1}$, dificulta el control fitosanitario.

Además, Ramírez, Jaramillo y Arcila (2010) afirman que, las deficiencias hídricas son necesarias para la floración, pero si éstas son muy prolongadas no permiten la apertura floral, limitan el crecimiento vegetativo y el llenado de los frutos; también señala que los excesos hídricos disminuyen la inducción floral y la formación de estructuras reproductivas, favorecen la presencia de enfermedades en el cultivo, promueven el lavado de nutrientes en el suelo y la pérdida por erosión. Cabon (2015) y Thériez (2015) mencionan que existen especies como: *Ingas spp., Erythrina poepigiana* que reducen la energía cinética de las gotas de lluvia y por tanto el *splashing* (dispersión por salpique),

debido posiblemente a su tipo de copa que intercepta más la lluvia y la distribuye a lo largo de las ramas y del tronco. Sin embargo, otras especies de árboles (*Cordia alliodora y* otras sp.) pueden aumentar la energía cinéticas de las gotas y favorecer la dispersión de esporas de roya por lo que es importante, antes de establecer un cafetal bajo sombra considerar la especie generadora de sombra, de tal forma que reduzca el impacto de las gotas de agua en el cultivo de interés.

Farrell y Altieri (2015) opinan que el equilibrio del agua de un micrositio dado, está influido por las características funcionales y estructurales de los árboles. En gran escala, particularmente en áreas propensas a las inundaciones, los árboles pueden reducir las descargas de aguas subterráneas, existiendo la evidencia de que las características hidrológicas de las áreas de captación son influidas favorablemente por la presencia de árboles**.**

6. CONCLUSIONES

- En la zona de estudio se encontraron 24 especies vegetales conformando el SAF, dentro de las cuales, el 87,5 % correspondieron a árboles, 8,3 % a arbustos y el 4,2 % a especies herbáceas, existiendo en un sitio la presencia de una sola especie *Alnus acuminata* H.B.K.

- Existe dos estratos en la zona de estudio que correspondieron a alto y medio, y obedece a que son producto de una regeneración natural y a la variabilidad de especies.

- Las especies con mayor IVI correspondieron a *Alnus acuminata* H.B.K, *Cedrela montana* Moritz ex Turcz, *Triplaris cumingiana* Fish. y Meyer y *Prumnopitys montana* (H.&B.& Willd.) Laubendf, lo cual significa que existe una gran biodiversidad de especies de sombra que acompaña al cultivo de café.

- Existe una gran variación de altura, DAP y DC entre las especies que sirven como sombra al cafeto, variación que se debe a que es producto de una regeneración natural y por lo tanto no tiene una misma fecha de siembra.

- Las variedades cultivadas en la zona de estudio correspondieron a bourbon amarillo, rojo y typica cuyas edades oscilan entre 1 y 5 años; y, no realiza actividades de fertilización, podas, riego, ni controles fitosanitarios, procediendo únicamente al control de arvenses, así como poda y raleo de los árboles que sirven de sombra.

- El porcentaje de sombra en el área de estudio presentó variaciones entre sitio de 10 %, variación que se debe a la distribución espacial a la que se encuentran las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas;

dicha sombra se encuentra a 11,85 % sobre el óptimo recomendado por algunos autores.

- La temperatura del aire, HR, velocidad del viento presentó variaciones entre las diferentes fechas registradas y los sitios establecidos, encontrándose la temperatura y velocidad del viento dentro de los rangos óptimos recomendados; mientras que, la HR, en ciertos periodos presentó valores inferiores al mínimo recomendado.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios sobre las especies de mayor utilidad en la conformación de SAFs.

- Continuar con estudios similares y en diferentes épocas del año para determinar si se cumplen las mismas condiciones microclimáticas.

- Utilizar especies arbóreas y arbustivas de importancia económica, de tal modo que genere ingresos adicionales al agricultor.

- Llevar un buen manejo de los árboles que sirven de sombra en el cafetal, ya que un inadecuado manejo generaría un problema para el cultivo de interés, reduciendo por ende sus rendimiento y producción.

8. REFERENCIAS.

AGROCALIDAD (Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro). 2013. Buenas Prácticas Agrícolas del Café. Ecuador, Quito. Recuperado en: http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/dia/guia-cafe.pdf

Aguirre, J. 2013. Guía de Métodos para Medir la Biodiversidad. Loja, Ecuador. Recuperado en: https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/guia- para-medicic3b3n-de-la-biodiversidad-octubre-7-2011.pdf

Alvarado, S. y Rojas, G. 1994. El Cultivo y Beneficio del Café. Segunda Edición. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.160p. ISBN: 9977-64-768-2

ANACAFE (Asociación Nacional del Café). 2012. La sombra en el cultivo del café. Guatemala. Recuperado en: https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Sombra_en_el_cafeto

ANACAFE (Asociación Nacional del Café). Recuperado en: https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_Sombra

Arcila, P. Farfán, V. Moreno, B. Salazar, G. y Hincapié, G. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. Primera edición. Chinchiná, Cenicafé.309p. ISBN: 978 958 98193 0 2

Cabon, M. 2015. Effect of shade on microclimate, soil fertility and productivity of coffee trees in Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. Report Internship job. CIRAD-CATIE.31p.

Cañadas, L. 1983. El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador, Quito, Ec. Ministerio de Agricultura y Ganadería, 6 – 12pp.

CENICAFE (Centro Nacional de Investigaciones de Café). 2010. Programa de Investigación Científica. Avance Técnico. Recuperado en: https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0359.pdf

Chablé, R. Palma, D. Vázquez, C. Ruíz, O. Mariaca, R. y Ascensio, J. 2015. Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de

la Chotalpa, Tabasco, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios2, (4):23-25.

Chaves, R. Ten-Caten, 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 22:351-361.

Checa, X. Ramos, R. y Grijalva, J. 2010. Caracterización de Sistemas Agroforestales en la Subregión Sierra Centro del Ecuador, presentado en XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.

CICAFE (Centro de Investigaciones en Café). 2011. Instituto del Café de Costa Rica.72p. ISBN: 978-9977-55-041-4.

CONEFAC (Consejo Cafetalero Nacional). 2011. El sector cafetalero en el Ecuador. Diagnóstico. 55p.

Córdova, T. 2016. Valoración Económica de una Plantación de pino en la hacienda Cristal del cantón Loja y provincia de Loja. Tesis. Loja, Ecuador.

DaMatta, F. Rodríguez, N. 2007. Sustainable production of coffee in agroforestry systems in the Neotropics: An agronomic and ecophysiological approach. Agronomía Colombiana, 25(1):113 - 123.

Danielle P., Baliza Rodrigo L., Cunha, Rubens Ja., Guimaraes, Joao PRAD Barbosa, Fabricio W., Ávila y Alexandre MA Passos. 2012. Características fisiológicas y desarrollo de las plantas de café bajo diferentes niveles de sombreado. Revista brasileria de Ciencias agrarias,7(1): 37 - 43. ISSN: 1981-0997.

Ehrenbergerová L., Senfeldr M y Habrová H. 2017. Impact of tree shading on the microclimate of a coffe plantation: a case study from the Peruvian Amazon. Boist et forests des tropiques, 4 (334).

Encalada M., Soto F., y Morales D. 2016. Crecimiento de Posturas de Cafeto en cuatro Niveles de Sombra en dos Condiciones Edafoclimáticas del Ecuador. Ministerio de Educación Superior Cuba. Cultivos Tropicales, 7(2), 72 - 78. ISSN:1819-4087.

Enríquez, L. 2012. Caracterización agroforestal en sistemas de café tradicional y rústico, en San Miguel, Veracruz, México.

Enríquez, L. y Valdez, H. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. Agrociencia. 37(4): 413-423

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Bosques, árboles y desastres. Unasilva. 66:1-2. ISSN: 0251-1584

Farfán F. y Mestre A. 2004. Respuesta del Café Cultivado en un Sistema Agroforestal a la Aplicación de Fertilizantes. Cenicafé, 52(2): 161 - 174

Farfan, F. 2014. Agroforestería y Sistemas Forestales con Café. Cenicafé, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Manizales , Caldas: Blanecolor.

Farrell J. y Altieri M. 2015. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. p.233-234. Recuperado en: http://socla.co/wp-content/uploads/2014/sistemasagroforestales_m.a._altieri.pdf

Farrell J. y Altieri M. 2015. Sistemas agroforestales. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Recuperado en: http://socla.co/wp-content/uploads/2014/sistemasagroforestales_m.a._altieri.pdf

FEC (Federación Española del café). 2015. Clasificación botánica: Variedades, Coffea robusta. Recuperado en: http://www.federacioncafe.com/Publico/ElCafe/Robusta.asp

Figueroa E., Pérez F y Godínez, L. 2015. La producción y consumo del café. ECORFAN- Spain. ISBN 978-607-8324-49-1

Filho E. 2005. Evaluación de los sistemas agroforestales con café en fincas vinculadas al consorcio de cooperativas de caficultores de Guanacaste y Montes de Oro- COOCAFE: un aporte a la construcción de la sostenibilidad. CATIE. Costa Rica.

Fischersworring B. y Robkamp R. 2001. Guía Para La Caficultura Ecológica. Colombia: Editorial López. Consultado el: 28 de julio de

2018. Recuperado en: http://www.ifoam.org/growing_organic/7_training/training_pdf/ other_training_materials/soil_plant/caficultura_ecologica.pdf

Franck N. y Vaast P. 2009. Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. Tree Physiology,23:761 – 769.

García M. L.E., J.I. Valdez H., M. Luna C. y R. López M. 2015. Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. Madera y Bosques 21(3):69 - 82.

Gómez O. 2010. Guía para la innovación de la caficultura. El Salvador, San Salvador. CRS y FUNDESYRAM. 20-24pp.

Gómez V. 2004. Cubiertas forestales y respuesta microclimática Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 13 (1): 84-100. doi: 10.5424/srf/200413S1-00857

González A., Pérez R., Moreno F., Ramírez G., Rosales S., Cano A. 2015. Variabilidad de la temperatura local en bosques de coníferas por efectos de la desforestación. Revista mexicana de ciencias forestales,6(31). ISSN 2007-1132

ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2011. Guía Técnica para el Cultivo del Café. Primera edición. Heredia, Costa Rica: ICAFE-CICAFE. ISBN 978-9977-55-041-4.72p.

IICA (Cadena Agroindustrial del Café). 2004. Recuperado en : https://books.google.com.ec/books?id=6v68Ey_yKQkC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía).1997. El café en el estado de Oaxaca: INEGI.105p.

INIAP (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). 2012. Sistemas agroforestales en la Amazonía. Quito.

Jaramillo R. y Chávez C. 1999. Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) al sol y bajo sombra. CENICAFE, 50 (2): 97-105.

Jezeer R. y Verweij P. 2015. Café en Sistema Agroforestal - doble dividendo para la biodiversidad y los pequeños agricultores en Perú. Hivos, The Hague, Holanda.

Leal, J. 2017. Caracterización del Sistema Agroforestal Café Arbóreas, en los Municipios de Cubulco, Rabinal, Salamá y San Jerónimo del Departamento de Baja Verapaz. Guatemala. [Tesis].38p.

Macedo J., de Souza P., de Souza R., y Paulo B. 2011. Microclimate in coffee plantation grown under grevillea trees shading. Maringa, Brasil. Acta Scientiarum. Agronomy,33 (2): 201-206. ISSN: 1679-9275. Recuperado en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026596002

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2017. *Rendimientos de Café Grano Seco en el Ecuador*. Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información. Quito, Ecuador

MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca). 2014. *Problemas del café*. Quito, Ecuador

MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca). 2016. Boletín situacional del café. Quito, Ecuador

Mascaró L. Mascaró J. 2010. Vegetación urbana.Tercera edición: Porto Alegre: +4 .204 p.

Matini A., Biondi D., y Batista A.C. 2017. The microclimate of different landscape arrangements in street trees of curitiba-pr state. Ciencia Forestal.27(4) DOI: 10.5902/1980509830313. Recuperado en: https://www.redalyc.org/jatsRepo/534/53453782013/index.html

Moguel, P.y Toledo, V. 1996. *Centro de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.* Recuperado de: *http://www.eramx.org/documentosinteres/manejosostenible/toledomoguel.html*

Montoya, E. y Jaramillo, A. 2016. Efecto de la temperatura en la producción de café. Caldas, Colombia. Revista Cenicafé 67(2): 58-65

Morais H., Caramori P., Ribeiro A., Gomes J y Koguishi, M. 2006. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown

under shade of pigeon pea in Southern Brazil. Pesquisa agropecuária brasileira, 41 (5): 4. SSN 0100-204XOn-line version ISSN 1678-3921.

Musalem L., A. 2001. Asistencia técnica y capacitación en sistemas agroforestales tipo multiestratos. [En línea]. México: ALADI. 9 p. Recuperado en: http://www.aladi.org/nsfaladi/estudios.nsf/vpublianterioresweb/C8150A32E41C8E3603256A3100634B50

Muschler, R. 2000. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica.

Nair, P. K. 2004. Agroforestry: Trees In Support Of Sustainable Agriculture. In: Hillel, H.; Rosenzweig, C.; Powlson, D.; Scow, K.; Singer, M.; Sparks, D. (Eds). Encyclopedia Of Soils In The Environment.Elsevier, London, U.K. 35–44pp.

Nieto, Z. 2016. Comportamiento Ecofisiológico De Café Variedad Castillo Bajo Tres Niveles De Sombrío En El Municipio De Tibacuy, Cundinamarca. Documento de Investigación para Magister en Agroforestería Tropical. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Bogotá.74p.

OIC (Organización Internacional Coffe) . 2015. *Informe del Mercado del Café .* Londrés.Recuperado en: http://www.ico.org/

OIC (Organización Internacional Coffe). 2018. *Informe del Mercado del Café .* Londrés.Recuperado en: http://www.ico.org/

Partelli F., Marré W., Falqueto A., Vieria H., y Cavatii, P. 2013. Crecimiento vegetativo estacional en genotipos de Coffea canephora, en relación con factores climáticos. Journal of Agricultural Science,5:108-116

Pérez J., Valdés E., y Ordaz V. 2012. Cobertura Vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. Chapingo, México. Terra Latinoamericana*,* 30 (3): 249-259. E-ISSN:2395-8030

Pérez, L. Suárez, L. 2011. Evaluación del efecto sombra en la producción de café –*Coffea arabica* L. - dentro de un sistema agroforestal tradicional con árboles en Las Minas, El Paraíso, Honduras. Recuperado en: https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/449/1/IAD-2011-T021.pdf

Perfecto, I., Mas, A., Dietsch, T., y Vandermeer, J. 2003. Conservation of biodiversity in Coffee agrosystems: A tri-taxa comparision in southern. México. Biodiversity and Conservation, 12(6), 1239–1252. doi: 10.1023/a:1023039921916

Pértegas Díaz S. y Pita Fernández S. 2002. Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal de Pearson. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complexo Hospitalario Juan Canalejo. A Coruña (España):cad aten primaria 2001;2002; 9: 209-211. Recuperado en: < http://www.fisterra.com/mbe/investiga/pearson/pearson.asp >.

Pinta,S. F.20 de junio del 2015. Sistemas Agroforestales Potencialidades para el caso del Ecuador. Revela. Recuperado en: http://revistarevela.com/sistemas-agroforestales-potencialidades-para-el-caso-del-ecuador/

PROECUADOR (Producción en Ecuador). 2014. *Producción de café en Ecuador*. Recuperado en: https://www.proecuador.gob.ec/guia-del-inversionista-2/

PROMETEO. 2017. Bases Agronómicas, Fisiológicas y Tecnológicas del Café y Cacao Esmeraldas-Ecuador. Recuperado en: http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/4827/5/Anexo%205.%20PRESENTACION%20%20CAFE.pdf

Rahn, E., Laderach, P., Baca, M., Cressy, C., Schroth, G., Malin, D., Rikxoort van, H., Shriver, J. 2013. Climate change adaptation, mitigation and livelihood benefits in coffee production: where are the synergies?. Mitig Adapt Strateg Glob Change,19: 1119-1137.

Ramírez P. 2005. Diseño de un sistema agroforestal basado en café robusta que incrementa la sustentabilidad, rentabilidad y equidad, en la amazonia ecuatoriana. [Tesis de Maestría]. Chile; Universidad Católica de Temuco. Recuperado en: http://biblioteca.uct.cl/tesis/pedro-ramirez/tesis.pdf

Ramírez, J. 2017. Importancia de los árboles de sombra para la caficultura sostenible Cómo evitar problemas inducidos por mal uso del sombrío. Costa Rica- Heredia. (72).

Ramírez, V. Jaramillo Álvaro y Arcila, Jaime. 2010. Rangos adecuados de lluvia para el cultivo de café en Colombia. Programa de investigación científica. ISSN: 0120-0178. Recuperado en: https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0395.pdf

Ribaski, J. 2009. Las ventajas de los sistemas agroforestales. Brasil. Recuperado en: https://procitropicos.org.br/articulo/articulo-las-ventajas-de-los-sistemas-agroforestales/

Rodríguez, L. 2010. Efecto de los árboles sobre el viento en el medio urbano. Barranquilla, Colombia. Revista Módulo. 1(9). ISSN 0124-6542.

Siles P., Harmand J., y Vaast P. 2010. Effects of Inga densiflora on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. Agroforest system:18

Sisalima, S. 2011. Ruta del Café y Desarrollo Agroturístico en el Cantón Puyango-Provincia de Loja (Monografía). Universidad de Cuenca, Cuenca. Recuperado en: http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/165g9/1/tur21.pdf

Soto-Pinto, L., Perfecto, I., Castillo-Hernández, J.; Caballero-Nieto, J. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. Agriculture, Ecosystems and Environment 80: 61-69

Speelman E.N., Groot J.C.J., García-Barrios, L.E., Kok, K., Keulen van H., Tittonell, P. 2014. From coping to adaptation to economic and institutional change-Trajectories of change in land-use management and socialorganization in a Biosphere Reserve community, Mexico. Land Use Policy 41: 31-44.

Thériez, M. 2015. Los efectos de la sombra sobre la energía cinética de las gotas de agua, la cobertura del suelo, la infiltración del agua, la roya y el dieback en Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. Informe de pasantía. CIRAD. p 32.

Varese, E. y Rojas, J. 2012. “Caficultura Sustentable I” (Stichting Interkerkelijke Aktie Voor Latijns Amerika ´Solidaridad´).102p.

Vasconcellos, A. Partelli, F. Oliosi, G. y; Macedo, J. 2016. Microclimate, development and productivity of robusta coffee shaded by rubber trees and at full sun. Ceará, Brasil. Revista Ciência Agronômica. 47(4):700-709. ISSN: 0045-6888. Recuperado en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195346209014

Verdecia A., Medina F., y Rodríguez C. 2001. Variaciones en el Microclima de un Cafetal en Dependencia de la Exposición a la Radicación Solar en las Condiciones del Macizo de la Sierra Mestra. Cultivos tropicales, 22 (3): 53-59.

Zarco, V. Valdez, J. Pérez, G. y Castillo, O. 2010. Estructura y Diversidad De La Vegetación Arbórea Del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. Universidad y Ciencia. Macuspana, México, 26. (1):1.

9. ANEXOS

Anexo 1. Registro de datos para caracterización arbórea y arbustiva de sombra de los SAF con café.

N°	Especies	Altura de planta (m)	Perímetro a la altura del pecho (PAP)(cm)	Diámetro de copa(cm)

Anexo 2. Modelo de la encuesta realizada al Dr. Gustavo Samaniego, dueño de la hacienda Cristal.

Universidad Nacional de Loja
Facultad agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Ingeniería Agronómica

Proyecto: Efecto de la sombra y la densidad poblacional en el desarrollo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en SAFs en tres localidades de Loja.

Proyecto de tesis: INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA Y ARBUSTIVA DE SOMBRA EN EL MICROCLIMA DE LOS SAFs CON CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN LA PARTE ALTA Y BAJA DE LA HACIENDA CRISTAL, EN EL CANTÓN LOJA.

ENCUESTAS DIRIGIDA AL DR. GUSTAVO SAMANIEGO PROPIETARIO DE LA HACIENDA CRISTAL

Fecha:

1. **Edad del cafeto de la parte alta y baja de la Hacienda, dónde se realiza el trabajo de investigación.**

Parte alta	Parte baja

2. **Manejo al cafeto de la parte y baja de la Hacienda, dónde se realiza el trabajo de investigación.**

Manejo	Parte alta	Parte baja
Poda para regular la sombra **Podas del cafetal**	Si ( ); No ( );cuándo? Si ( ); No ( )	Si ( ); No ( ) Si ( ); No ( )
Fertilización	Si ( ); No ( );cuándo?	Si ( ); No ( );cuándo?
Controles de plagas y enfermedades	Si ( ); No ( );cuándo?	Si ( ); No ( );cuándo?
Riego	Si ( ); No ( );cuándo?	Si ( ); No ( );cuándo?

3. **Densidad de siembra del cafeto de la parte alta y baja de la Hacienda, dónde se realiza el trabajo de investigación**

Parte alta	**Parte baja**

4. **Variedades cultivadas de cafeto de la parte alta y baja de la Hacienda, dónde se realiza el trabajo de investigación.**

Parte alta	**Parte baja**

5. **Origen de los árboles que sirven como sombra de la parte alta y baja de la Hacienda, dónde se realiza el trabajo de investigación.**

Parte alta	**Parte baja**

6. **Producción de cafeto de la parte alta y baja de la Hacienda, dónde se realiza el trabajo de investigación.**

Parte alta	**Parte baja**

Anexo 3. Tabla de registro de datos externos e internos en el SAF con café en la Hacienda Cristal.

Parte: **Fecha:** **Hora de inicio:** **Hora de finalización:**					
DATOS INTERNOS					
Parcela	**Muestra**	**HR (%)**	**T °C**	**Velocidad del Viento (m s^{-1})**	**Intensidad lumínica (lux)**
1	**1**				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
2	**1**				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
3	**1**				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Parte: **Fecha:** **Hora de inicio:** **Hora de finalización:**					
DATOS EXTERNOS					
Parcela	**Muestra**	**HR (%)**	**T °C**	**Viento(m/s)**	**Intensidad lumínica (lux)**
1	**1**				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
2	**1**				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
3	**1**				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Anexo 4. Fotografías de la recolección de datos climatológicos y de características vegetales. A. Registro de datos de la humedad relativa (HR) y velocidad del viento dentro del sistema agroforestal.B. Director de tesis, registrando datos de luminosidad en la hacienda El Cristal, parte baja, parcela 1.C. Socialización de resultados.

A

B

C

Anexo 5. Características de las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas de la parte baja de la Hacienda Cristal.

N°	FAMILIA	Nombre científico	Nombre común	*Pa (m)	*P DC (m)
1	Betulaceae	*Alnus acuminata* H.B.K.	Aliso	8,23	3,70
2	Bignoniaceae	Jacaranda mimosifolia *D. Don*	Arabisco	6,67	1,19
3	Lythraceae	*Lafoensia acuminata* (Ruiz & Pav.)	Guararo	5,76	2,80
4	Podocarpaceae	*Prumnopitys montana (*H.&B.& Willd.) Laubendf	Romerillo	4,39	1,70
5	Lauraceae	*Persea americana* Mill	Aguacate	5,59	2,20
6	Rosaceae	*Prunus serotina Ehrh. Subsp.capuli (Cav.) Mc Vaugh*	Capulí	4,09	2,03
7	Meliaceae	*Cedrela montana* Moritz ex Turcz	Cedro	7,38	2,85
8	Bignoniaceae	*Tabebuia chrysantha* (Jacq.) Nicholson	Guayacán	10,20	6,10
9	Boraginaceae	*Cordia alliodora* (Ruiz &Pav.) Oken	Laurel	5,91	3,03
10	Rutacea	Citrus x sinensis (L.) Osbeck	Naranjo	4,80	1,70
11	Polygonaceae	*Triplaris cumingiana* Fish.y Meyer	Fernán Sánchez	8,20	3,49
12	Moraceae	*Ficus* sp.	Higuerón	8,10	3,10
13	Rutácea	*Citrus x paradisi* Macfad	Toronja	3,80	2,30
14	Myrtaceae	*Myrcianthes rhopaloides* (H.B.K) Mc Vaugh	Arrayán	4,49	1,33
15	Styracaceae	*Styrax subargentea* Sleumer	Sanguilamo	7,27	3,00
16	Musaceae	*Musa acuminata* Colla	Banano	2,35	2,67
17	Rosaceae	*Hesperomedes obtusifolia*	Huakramanzana o quike	6,45	3,30
18	Rutacea	*Citrus x latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez	Limón injerto	6,17	1,70
19	Rutacea	*Citrus reticulata* Blanco	Mandarino	3,60	1,45
20	Annonaceae	*Annona cherimola* Mill	Chirimoyo	7,10	1,70
21	Oleaceae	*Faxinus chinensis* Roxb	Fresno	5,50	2,10
22	Fabaceas	*Inga edulis*	Guabo	7,94	4,75
23	Sapotaceae	*Pouteria lucuma* (Ruiz & Pav.) Kuntze	Lumo	9,52	4,20
24	Bignoniaceae	*Tecoma stans (L.)* Juss. ex Kunth	Gualpe o lame	5,61	1,48
TOTAL				**149,10**	**63,85**

Pa=Promedio de altura**; PDC=** Promedio de diámetro de copa

Anexo 6. Características de las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas de la parte alta de la hacienda Cristal.

Evaluación 1(noviembre 2018)				
N°	**FAMILIA**	**Nombre científico**	**Promedio de DC (m)**	**Promedio de altura (m)**
1	Betulaceae	*Alnus acuminata* H.B.K.	3,19	9,46
Evaluación 2 (marzo 2019)				
N°	**FAMILIA**	**Nombre científico**	**Promedio de DC (m)**	**Promedio de altura (m)**
1	Betulaceae	*Alnus acuminata* H.B.K.	2,81	12,23

Anexo 7. Cuadro resumen de las medias de las variables climáticas en SAF con café.

F	A	S (%)	T		HR		V.V		D		
			I	E	I	E	I	E	T	HR	V.V
1	1969	53,83	20,39	20,11	70,13	69,22	0,03	0,09	0,28	0,90	-0,05
2	1969	61,89	22,24	23,36	62,32	60,30	0,02	0,01	-1,12	2,02	0,01
3	1969	64,46	17,71	20,52	75,97	74,43	0,01	0,19	-2,82	1,53	-0,19
4	1969	56,08	20,35	17,95	68,72	65,56	0,00	0,09	2,40	3,16	-0,09
5	1969	57,46	24,24	26,85	57,20	52,93	0,02	0,28	-2,62	4,27	-0,26
6	1969	58,26	21,76	24,34	68,12	66,43	0,00	0,10	-2,58	1,69	-0,10
1	2063	61,00	22,55	24,89	59,56	58,39	0,77	0,73	-2,34	1,17	0,04
2	2063	59,85	19,67	20,32	59,79	58,87	0,48	0,25	-0,65	0,92	0,23
3	2063	57,19	20,03	21,17	69,38	65,69	0,25	0,31	-1,15	3,70	-0,05
4	2063	61,74	20,19	20,72	79,86	78,35	0,00	0,13	-0,52	1,51	-0,13
5	2063	57,05	22,66	24,22	58,39	57,63	0,17	0,66	-1,56	0,76	-0,49
6	2063	57,35	21,99	23,24	63,97	61,22	0,00	0,17	-1,25	2,75	-0,17
P		**58,85**	**21,15**	**22,31**	**66,12**	**64,08**	**0,15**	**0,25**	**-1,16**	**2,03**	**-0,10**
MÁXIMO		**64,46**	**24,24**	**26,85**	**79,86**	**78,35**	**0,77**	**0,73**	**2,40**	**4,27**	**0,23**
MÍNIMO		**53,83**	**17,71**	**17,95**	**57,20**	**52,93**	**0,00**	**0,01**	**-2,82**	**0,76**	**-0,49**

F=Fecha
A=Altitud
P=Promedio
S=Sombra
T=Temperatura
I=Interno
E=Externo
HR=Humedad relativa
V.V=Velocidad del viento
D=Diferencias

Anexo 8. Coeficientes de correlación.

Rango de relación	Interpretación
≤ o igual a 0,20	Correlación lineal baja
0,20 ≤ r ≤ -0,60	Correlación lineal media
0,60 ≤ r ≤ -1	Correlación lineal alta

Fuente: Pértegas Díaz S, Pita Fernández, S. (2002)

Anexo 9. Escala de Beaufort.

Grado	Tipo	Velocidad	Efecto en vegetación
0	Calma	0 – 0,5	El humo asciende verticalmente, la superficie del agua está tranquila.
1	Ventolina	0,6 – 1,7	La dirección del viento la muestra el humo pero nimlas veletas
2	Suave	1,8 – 3,3	Murmullo de las hojas
3	Leve	3,4 – 5,2	Se mueven las hojas y las ramitas de los árboles
4	Moderado	5,3 – 7,4	Las ramas de los árboles se mueven
5	Regular	7,5 – 9,8	Los árboles con follaje comienzan a inclinarse
6	Fuerte	9,9 – 10,4	Las hojas se desprenden, las ramas más grandes se mueven
7	Muy fuerte	12,5 – 15,2	Todos los árboles se encuentran en movimiento
8	Temporal	15,3 – 18,2	Las ramas grandes se doblan y las pequeñas se rompen
9	Temporal fuerte	18,3 – 21,5	Las estructuras ligeras se dañan
10	Temporal muy fuerte	21,6 – 25,1	Árboles partidos o arrancados de cuajo
11	Tempestad	25,2 – 29,0	Bosques enteros destruidos
12	Huracán	Más de 29	Destrucción total

Nota: Estas velocidades son medidas a 10 m de altura. Disponible en: https://www.taringa.net/+nauticat/clasificacion-del-viento-segun-su-intensidad_rmo87