



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

**CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y EL
MICROCLIMA EN SISTEMAS AGROFORESTALES
CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN TRES PISOS
ALTITUDINALES DEL CANTÓN PUYANGO EN LA
PROVINCIA DE LOJA**

Tesis de Grado previa a la
obtención del Título de
Ingeniera Agrónomo.

AUTORA:

Yomara Gabriela Fernández Cuenca

DIRECTOR:

Dr. C. Max Encalada Córdova

LOJA – ECUADOR

2018



CERTIFICACIÓN

Dr. C. Max Encalada Córdova
DIRECTOR DE TESIS

Certifica:

Que la señorita Yomara Gabriela Fernández Cuenca, egresada de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Loja, ejecutó el trabajo final de tesis: **“Caracterización de la vegetación y el microclima en Sistemas Agroforestales Café (*Coffea arabica* L.) en tres pisos altitudinales del cantón Puyango en la provincia de Loja”** bajo mi Dirección, el mismo que ha sido debidamente revisado y corregido cumpliendo con todas las normas reglamentarias vigentes y dentro del cronograma establecido.

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

Loja, 02 de junio del 2018

Atentamente,


Dr. C. Max Encalada Córdova
DIRECTOR DE TESIS



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

CERTIFICACIÓN

Una vez cumplida la reunión del Tribunal de calificación del Trabajo Final de Tesis: "Caracterización de la vegetación y el microclima en Sistemas Agroforestales Café (*Coffea arabica* L.) en tres pisos altitudinales del cantón Puyango en la provincia de Loja", de autoría de la señorita Yomara Gabriela Fernández Cuenca, egresada de la Carrera de Ingeniería Agronómica, se le propuso realizar algunas correcciones, mismas que ya han sido incluidas en el documento final.

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

Loja, 27 de julio del 2018

Ing. Francisco Guayllas Guayllas Mg. Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Klever Chamba Caillagua

VOCAL DEL TRIBUNAL

Ing. Paulina Fernández Guarnizo Mg. Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo, Yomara Gabriela Fernández Cuenca declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

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

Autora: Yomara Gabriela Fernández Cuenca

Firma: 

Cédula: 1105178642

Fecha: 27/07/2018

CARTA DE AUTORIZACIÓN

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

Yo, **Yomara Gabriela Fernández Cuenca**, declaro ser autora de la tesis titulada "Caracterización de la vegetación y el microclima en Sistemas Agroforestales Café (*Coffea arabica* L.) en tres pisos altitudinales del cantón Puyango en la provincia de Loja", como requisito para optar al grado de **Ingenjera 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 pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 30 días del mes de julio de dos mil dieciocho, firma la autora.

Firma: 

Autora: Yomara Gabriela Fernández Cuenca

Número de cédula: 1105178642

Dirección: Catacocha y Bolívar

Correo electrónico: yomix292@gmail.com

Teléfono: 07-2581082

Celular: 0983694227

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Dr. C. Max Encalada Córdova

Tribunal de Grado: Ing. Francisco Guayllas Guayllas Mg. Sc.

Ing. Klever Chamba Caillagua

Ing. Paulina Fernández Guarnizo Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y de manera especial a los docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica, por sus valiosos conocimientos y la oportunidad de profesionalizarme.

Un especial reconocimiento al Dr. C. Max Encalada Córdova, Director de tesis, por el esfuerzo desplegado en la asesoría para la elaboración, ejecución y culminación de esta investigación y por su aporte invaluable para mi formación profesional durante los diferentes ciclos de mi vida estudiantil en los cuales se desempeñó como docente y a la vez como un gran amigo. Igualmente, al Ingeniero Klever Chamba, por sus sugerencias y participación durante la ejecución de la misma.

A los miembros del Tribunal de Grado por su criterio profesional y valiosa colaboración en la presente investigación.

A Tania Sarango, Viviana Sánchez y Karina Cango, por su colaboración en la recolección de datos para el desarrollo de esta investigación.

Dejo constancia de un fraterno agradecimiento a los productores de la zona cafetalera Puyango, quienes facilitaron y colaboraron para cumplir con éxito el trabajo de campo de la presente investigación.

Además, mi eterna gratitud a familiares y amigos por haberme acompañado y demostrado su apoyo moral y económico para ver cristalizado mi anhelo como profesional en el campo de la agronomía.

La Autora

DEDICATORIA

Con inmensa gratitud y estima, dedico el presente trabajo a Dios por concederme salud y firmeza en cada paso que doy; a la memoria de mis abuelitos Enrique, Emiliano y Zoila, quienes siempre me han amado y apoyado; a mis queridos padres Wilson y Fanny quienes con su amor, paciencia y esfuerzo incondicional han permitido llegar a cumplir mis metas; con eterno cariño a mis apreciados hermanos Fabricio, Eduardo y Yordi quienes fueron mi motivación, apoyo y aliento durante todo el proceso de formación; a mi abuelita Laura por sus consejos y ejemplo; y a mi tío George por su amistad y desinteresada ayuda.

A mis amigos Elsa, Viviana, Tania, Karina, Daniela, José, Eduardo y Richard por apoyarme cuando más los necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento, a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo mi apoyo en todo momento.

Yomara Gabriela

ÍNDICE GENERAL	PÁG.
CERTIFICACIÓN	ii
APROBACIÓN	iii
AUTORÍA	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Generalidades sobre el cafeto.....	5
2.1.1. Situación general de la caficultura.....	5
2.1.2. Taxonomía del cafeto.....	6
2.1.3. Descripción botánica del cafeto.....	7
2.1.4. Especies y cultivares de cafeto.....	9
2.2. Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de cafeto.....	13
2.2.1. Suelo.....	13
2.2.2. Temperatura.....	14
2.2.3. Precipitación.....	14
2.2.4. Humedad relativa (HR).....	15
2.2.5. Altitud.....	15
2.2.6. Viento.....	15
2.3. Condiciones edafoclimáticas de las zonas productoras de café en Ecuador.....	16
2.4. Crecimiento y fisiología del cafeto.....	18
2.5. El Sistema Agroforestal y el microclima.....	20
2.6. El Sistema Agroforestal y el cultivo del cafeto.....	22
2.7. Los Sistemas Agroforestales con cafeto en la provincia de Loja.....	26

3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. Localización general del estudio.	28
3.1.1. Ubicación geográfica.	28
3.1.2. Ubicación política.....	28
3.1.3. Características ecológicas.....	29
3.1.4. Características edafoclimáticas.....	29
3.2. Localización específica del estudio.	29
3.3. Materiales.....	30
3.4. Metodología.	31
3.4.1. Metodología para el primer objetivo.....	32
3.4.2. Metodología para el segundo objetivo.	35
3.4.3. Metodología para el tercer objetivo.....	36
4. RESULTADOS.	37
4.1. Composición y distribución de la vegetación arbórea y arbustiva.	37
4.1.1. Sitio Huásimo.....	37
4.1.2. Sitio Pindal de Vicentino.	40
4.1.3. Sitio San José de Mercadillo.....	43
4.1.4. Relaciones entre variables de vegetación de la zona cafetalera. .	45
4.2. Influencia del Sistema Agroforestal café en la variación de las condiciones microclimáticas.....	45
4.2.1. Sitio Huásimo.....	45
4.2.2. Sitio: Pindal de Vicentino.	48
4.2.3. Sitio San José de Mercadillo.....	51
4.2.4. Relaciones entre variables microclimáticas de la zona cafetalera.	55
4.3. Relaciones entre las condiciones del microclima en el Sistema Agroforestal y los requerimientos del cafeto.	56
4.3.1. Comportamiento de la temperatura y la precipitación en los sitios de estudio en la zona cafetalera de Puyango.	56
4.3.2. Comparación de las condiciones microclimáticas observadas en la zona cafetalera de Puyango.	59
5. DISCUSIÓN.....	61
5.1. Composición y distribución de la vegetación arbórea y arbustiva en los Sistemas Agroforestales.....	61
5.2. Influencia del Sistema Agroforestal café en la variación de las condiciones microclimáticas.....	65

5.3. Relaciones entre las condiciones del microclima en el SAF y los requerimientos del cafeto.....	70
6. CONCLUSIONES.....	72
7. RECOMENDACIONES.....	73
8. BIBLIOGRAFÍA.....	74
9. ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del cafeto.....	7
Tabla 2. Principales características de las variedades e híbridos de café arábigo	11
Tabla 3. Zonificación potencial del cultivo del café arábigo en el Ecuador.	17
Tabla 4. Vertientes occidentales y valles de la Sierra.....	17
Tabla 5. Beneficios de los componentes frecuentes del sistema agroforestal de café en Centroamérica	24
Tabla 6. Árboles de sombra para el cultivo de café.	24
Tabla 7. Especies arbóreas y arbustivas para utilizar en sombra para el cultivo de café.	25
Tabla 8. Especies frutales.....	26
Tabla 9. Arbustos.....	26
Tabla 10. Matriz para comparación entre las condiciones climáticas observadas en la zona cafetalera de Puyango en el estudio realizado y las condiciones requeridas según varios autores.	36
Tabla 11. Especies arbóreas y arbustivas del Sistema Agroforestal en el sitio Huásimo del cantón Puyango.	37
Tabla 12. Coeficiente de variación de altura y diámetro de copa en el sitio Huásimo del cantón Puyango.....	38
Tabla 13. Índice de valor de importancia simplificado en el sitio Huásimo del cantón Puyango.....	39
Tabla 14. Especies arbóreas y arbustivas del Sistema Agroforestal en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.....	40
Tabla 15. Coeficiente de variación de altura y diámetro de copa en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.	41
Tabla 16. Índice de valor de importancia simplificado en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.	42
Tabla 17. Especies arbóreas y arbustivas del Sistema Agroforestal en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango	43
Tabla 18. Coeficiente de variación de altura y diámetro de copa en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.....	43
Tabla 19. Índice de valor de importancia simplificado en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.	44

Tabla 20. Análisis de varianza del porcentaje de sombra en el sitio Huásimo del cantón Puyango.	45
Tabla 21. Análisis de varianza de temperatura en el interior del Sistema Agroforestal en el sitio Huásimo del cantón Puyango.	46
Tabla 22. Diferencia de temperatura en el sitio Huásimo del cantón Puyango.	46
Tabla 23. Análisis de varianza de humedad relativa en el interior del Sistema Agroforestal en el sitio Huásimo del cantón Puyango.	47
Tabla 24. Diferencia de humedad en el sitio Huásimo del cantón Puyango. ...	47
Tabla 25. Diferencia de la velocidad del viento en el sitio Huásimo del cantón Puyango.	48
Tabla 26. Análisis de varianza del porcentaje de sombra en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.	48
Tabla 27. Análisis de varianza de temperatura en el interior del Sistema Agroforestal en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.	49
Tabla 28. Diferencia de temperatura en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.	49
Tabla 29. Análisis de varianza de humedad relativa en el interior del Sistema Agroforestal en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.	50
Tabla 30. Diferencia de humedad relativa en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.	50
Tabla 31. Diferencia de la velocidad del viento en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.	50
Tabla 32. Análisis de varianza del porcentaje de sombra en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.	51
Tabla 33. Análisis de varianza de temperatura en el interior del Sistema Agroforestal en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.	51
Tabla 34. Diferencia de temperatura en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.	52
Tabla 35. Análisis de varianza de humedad relativa en el interior del Sistema Agroforestal en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.	52
Tabla 36. Diferencia de humedad en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.	53

Tabla 37. Diferencia de la velocidad del viento en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.	53
Tabla 38. Análisis de varianza de todas las variables medidas en los sitios Pindal de Vicentino, Huásimo y San José de Mercadillo del cantón Puyango.	55
Tabla 39. Análisis de correlación entre variables en el cantón Puyango.	55
Tabla 40. Comparación de las condiciones climáticas y microclimáticas observadas en la zona cafetalera de Puyango en el estudio realizado con las condiciones requeridas según varios autores.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A. Variedad Típica; B. Variedad Borbón; C. Esquema del origen de las principales variedades tradicionales de <i>C. arabica</i>	10
Figura 2. Relación entre las variedades arábicas puras y los cultivares más conocidos	11
Figura 3. Ubicación del cantón Puyango.	28
Figura 4. Mapa del cantón Puyango con los sitios seleccionados para la evaluación.	30
Figura 5. Media de temperatura estimada a partir de los datos históricos de seis años de la estación meteorológica Zaruma..	57
Figura 6. Media de precipitación estimada a partir de los datos históricos de seis años de las estaciones meteorológicas Mercadillo y Alamor.	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Medias mensuales de temperatura a partir de los datos históricos de seis años de la estación meteorológica Zaruma.	84
Anexo 2. Datos históricos mensuales de precipitación de seis años de la estación meteorológica de Mercadillo.	86
Anexo 3. Datos históricos mensuales de precipitación de seis años de la estación meteorológica de Alamor.	87
Anexo 4. Formato para registro de las especies arbóreas y arbustivas.	88
Anexo 5. Encuesta dirigida a los productores de zona cafetalera Puyango	89
Anexo 6. Formato de registro de las variables microclimáticas	90
Anexo 7. Escala de la velocidad del viento según Beaufort	91
Anexo 8. Frecuencia relativa de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio Huásimo del cantón Puyango.	92
Anexo 9. Densidad relativa de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio Huásimo del cantón Puyango.	92
Anexo 10. Frecuencia relativa de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.....	93
Anexo 11. Densidad relativa de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.....	93
Anexo 12. Frecuencia relativa de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango	94
Anexo 13. Densidad relativa de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango	94
Anexo 14. Fotografías de los recorridos realizados en el zona cafetalera Puyango	95
Anexos 15. Socialización de resultados de Tesis.....	96

**“CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y EL MICROCLIMA EN
SISTEMAS AGROFORESTALES CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN TRES PISOS
ALTITUDINALES DEL CANTÓN PUYANGO EN LA PROVINCIA DE LOJA”**

RESUMEN

La investigación titulada “Caracterización de la vegetación y el microclima en Sistemas Agroforestales Café (*Coffea arabica* L.) en tres pisos altitudinales del cantón Puyango en la provincia de Loja”, se realizó a 890, 960 y 1 316 m s. n. m., en cada piso altitudinal se trazaron tres parcelas de 1 000 m², cada una como unidades de muestreo aleatorio. En el mes de diciembre se evaluaron las siguientes variables: especies arbóreas y arbustivas, altura, diámetro de copa, índice de valor de importancia simplificado (IVIs). Además, durante cinco meses, cada 30 días, se tomaron en cada parcela cinco datos de los siguientes indicadores microclimáticos: sombra, temperatura del aire, humedad relativa (HR) y velocidad del viento. Los resultados mostraron la prevalencia de 15 familias, 18 géneros y 25 especies vegetales de sombra, los datos de altura y diámetro de copa no presentaron uniformidad entre individuos de la misma especie en los tres pisos altitudinales, las especies con IVIs mayor para los tres sitios fueron *Musa paradisiaca* e *Inga edulis*. Para toda la zona, la sombra estuvo entre 31,27 y 53,65 %, la temperatura interna entre 23,77 y 28,27 °C, la HR de 62,86 a 75,27 %; la velocidad del viento disminuyó entre 0,04 y 0,19 m s⁻¹. En comparación con resultados de varias investigaciones sobre los requerimientos del cultivo, los rangos obtenidos en el trabajo de investigación se relacionan en su mayoría; el porcentaje de sombra estuvo dentro de los rangos óptimos para el cafeto (35 y 50 %), a excepción del sitio San José de Mercadillo; los valores de temperatura estimada de la zona estuvieron dentro de los valores óptimos (16 y 23 °C) a excepción de Huásimo; los valores de HR (70 y 85 %), y de velocidad del viento (4 m s⁻¹) también se presentaron dentro del rango óptimo lo que reafirma de cierto modo que Puyango se mantenga como la mayor zona cafetalera de la provincia de Loja.

Palabras claves: Sistemas Agroforestales, café, microclima, IVIs.

ABSTRACT

The research entitled "Characterization of the vegetation and the microclimate in Coffee Agroforestry Systems (*Coffea arabica* L.) in three altitudinal floors of the canton Puyango in the province of Loja", was carried out at 890, 960 and 1 316 m s. n. m., on each altitudinal floor three plots of 1 000 m² were drawn, each one as random sampling units. In december, the following variables were evaluated: arboreal and shrub species, height, crown diameter, simplified importance value index (IVIs). In addition, for five months, every 30 days, five data were taken on each plot of the following microclimatic indicators: shade, air temperature, relative humidity (HR) and wind speed. The results showed the prevalence of 15 families, 18 genera and 25 plant species of shade, the height and diameter of the crown did not show uniformity among individuals of the same species in the three altitudinal levels, the species with higher IVIs for the three sites they were *Musa paradisiaca* and *Inga edulis*. For the whole area, the shade was between 31.27 and 53.65 %, the internal temperature between 23.77 and 28.27 °C, the HR from 62.86 to 75.27 %; the wind speed decreased between 0.04 and 0.19 m s⁻¹. In comparison with the results of several researches on the requirements of the crop, the ranges obtained in the research work are mostly related; the percentage of shade was within the optimum ranges for the coffee tree (35 and 50 %), with the exception of the San José de Mercadillo site; the estimated temperature values of the zone were within the optimum values (16 and 23 °C) except for Huásimo; the values of RH (70 and 85 %), and wind speed (4 m s⁻¹) were also presented within the optimum range which reaffirms in a certain way that Puyango remains as the largest coffee zone of the province of Loja.

Keywords: Agroforestry systems, coffee, microclimate, IVIs.

1. INTRODUCCIÓN.

El café es uno de los productos de exportación de alto valor en el mundo y su consumo se incrementa sostenidamente tanto en los países productores como en los importadores (OIC, 2016). Las exportaciones de la especie arábigo en el período de 12 meses que acabó en marzo de 2018 se cifraron en 75,32 millones de sacos (OIC, 2018); el cultivo juega un papel fundamental en la economía de muchos países debido a que se ha constituido en una importante fuente de empleo, de ingresos para los productores y de divisas para los Estados (FIRA, 2015).

En el mundo, el área cosechada de café verde fue en el 2016 de 10 975 184 ha con una producción de 9 221 534 t, en donde América ocupa el 57,7 %. Para este mismo año, en Ecuador la producción fue de 60 283,74 t (FAO, 2018). En Ecuador el 62 % del cultivo corresponden a café arábigo (*Coffea arabica* L.) y 38 % a robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner). Aunque el país es un productor pequeño, la producción, comercialización, industrialización y exportación de café son relevantes en la economía, ya que su cultivo se da en diversas regiones del país en 193 000 hectáreas con la participación de aproximadamente 100 000 familias, con un 70 % de pequeños productores (PRO-ECUADOR, 2016).

Según la FAO (2005), la producción de café en Ecuador es deficiente y se encuentra en una situación crítica debido a la baja productividad (196 kg ha^{-1}), comparada con otros países como Brasil y Colombia ($1 897$ y $1 140 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente). Ponce *et al.* (2016) afirman que la baja productividad se debe a la falta de materiales genéticos validados en distintos ambientes,

deficiente manejo técnico del cultivo, inadecuados procesos post cosecha de secado y almacenamiento, deficiente disponibilidad de agua e infraestructura para el despulpe de café y falta de una zonificación agroecológica. En el país prevalecen los cafetales de edad avanzada, con un sistema de manejo tradicional del cultivo y deficiente manejo agronómico; situación que es agravada por la presencia de plagas y enfermedades.

Según Suatunce *et al.* (2009) los Sistemas Agroforestales son una buena alternativa cuando el uso de monocultivos no es económicamente factible debido a la alta cantidad de insumos externos que demandan. Con la introducción de árboles maderables o frutales se regula las condiciones de luz, se puede suplir parte de los requerimientos de nutrientes del cultivo, diversificar la producción y proveer un seguro contra fluctuaciones de los precios en el mercado. La sombra bien regulada puede reducir la incidencia de ciertas plagas y contribuir a una larga vida útil de la plantación de café.

Además, la sombra generada por las especies en el Sistema Agroforestal, contribuye con beneficios para la productividad y la calidad de las plantas de café que crecen en superficies no óptimas y son afectadas por temperaturas mayores, por tanto, la sombra puede ofrecer condiciones ambientales ideales (Jezeer y Verweij, 2015), las especies más utilizadas para sombra en los Sistemas Agroforestales café corresponden a los géneros: *Acacia*, *Mussa*, *Eucalyptus*, *Inga* y *Citrus* (Rojas, 2005).

El café es una planta de ambientes sombreados, la cual responde bien a los aumentos graduales en la cantidad de radiación solar recibida, es decir, su mayor potencial lo desarrolla bajo condiciones intermedias de luminosidad. No

obstante, la época del año y la especie de árbol de sombra influyen en la cantidad de radiación solar recibida por las plantas de café. (Solórzano y Querales, 2010).

Por tanto en la provincia de Loja, los sistemas agroforestales que tienen como base al cultivo de café, han logrado sostenerse en las pequeñas y medianas unidades productivas, pero no se han conseguido niveles de rendimiento que se correspondan con la potencialidad de la especie y los recursos disponibles, lo que supone un manejo no adecuado de los sistemas agroforestales a los requerimientos de la especie (COFENAC, 2012), lo que amerita la realización del presente estudio que aporte con información integral sobre las condiciones de los sistemas agroforestales con base en café que permitan tomar decisiones sobre su manejo en los variados ecosistemas.

La investigación 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, el mismo que es auspiciado por la Universidad Nacional de Loja y se ejecuta por un equipo de investigadores de la carrera de Ingeniería Agronómica.

En este contexto se planteó como objetivo general analizar las características de la vegetación arbórea y arbustiva y el microclima de los Sistemas Agroforestales Café (*Coffea arabica* L.) y su relación con los requerimientos del cultivo en tres pisos altitudinales del cantón Puyango.

Para el logro de este objetivo se plantearon tres objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar la composición y distribución de la vegetación arbórea y arbustiva en los Sistemas Agroforestales de Café (*Coffea arabica* L.) en tres

pisos altitudinales del cantón Puyango.

- ✓ Determinar la influencia del sistema agroforestal café en la variación de las condiciones microclimáticas de las plantaciones de cafeto (*Coffea arabica* L.) en tres pisos altitudinales del cantón Puyango.
- ✓ Establecer las relaciones entre las condiciones del microclima en el Sistema Agroforestal y los requerimientos del cafeto en el cantón Puyango.

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Generalidades sobre el cafeto.

2.1.1. Situación general de la caficultura.

El café constituye un importante producto básico de la economía mundial (Ponce *et al.*, 2016). Se produce en América Latina, en África y en Asia y es comercializado en los mercados internacionales cuya agroindustria se ha diversificado en todo el mundo y constituye una importante fuente de empleo, ingresos y divisas en muchos países productores como Brasil, Vietnam, Colombia e Indonesia, que en conjunto aportan el 69 % de la oferta mundial (FIRA, 2015).

En el mundo sobresalen por su importancia comercial, las especies de los cafés arábigos con un 63 % y robustas con el 37 %. La primera especie abarca aproximadamente las tres cuartas partes de la producción mundial y se cultiva principalmente en el Centro y Sur de América, en donde Ecuador con sus diferentes ecosistemas y por su ubicación geográfica, permite la producción de café en un amplio espacio territorial, llegando a cultivarse inclusive en las Islas Galápagos y siendo uno de los pocos en el mundo que exporta tipos de café: Arábigo lavado, Arábigo natural y Robusta (Santiana, 2013). En los años 2014, 2015 y 2016 Ecuador ocupó el cuarto lugar entre los países de América del Sur que más producen café después de Brasil, Colombia y Perú (OIC, 2017).

Ecuador se caracteriza por producir las dos especies más comercializadas en el mundo, destacándose por la calidad fina que poseen. Estas dos especies se distribuyen en 23 provincias de las cuatro regiones diversas que tiene el país: Costa, Sierra, Amazonía y Galápagos (Leiva, 2017). En términos generales, se

distinguen las siguientes zonas de producción de café arábigo: Manabí-Guayas de 300 a 700 m s. n. m., ubicada en las partes altas del sistema montañoso Chongón-Colonche; la zona sur de 500 a 2 000 m s. n. m., que se circunscribe a las provincias de El Oro y Loja; las estribaciones occidentales, de 500 a 1 750 m s. n. m., en la vertiente occidental de Los Andes; las estribaciones orientales de 500 a 1 500 m s. n. m., en el Centro Norte y la zona Suroriental de 1 000 a 1 800 m s. n. m., y en las Islas Galápagos (COFENAC y MAGAP, 2014).

En la caficultura ecuatoriana prevalece el sistema de manejo tradicional, el 85 % de los cafetales se realiza con bajo uso de insumos y poco trabajo, lo que lo vuelve ineficiente, obteniendo rendimientos muy bajos de 250 kg ha⁻¹. El otro 15 % de la superficie cafetalera se maneja de manera tecnificada y parcialmente tecnificado, donde se obtienen rendimientos promedios de aproximadamente 750 kg ha⁻¹ (Ponce *et al.*, 2016),

A nivel nacional prevalecen los pequeños propietarios: el 33,4 % tiene UPAs menores a 5 ha; el 17,7 % de 5 a 10 ha; el 16,1 % de 10 a 20 ha y el 32,8 % restante, más de 20 ha. El cultivo de café ocupa una proporción importante de la superficie de la finca, especialmente en las menores a cinco hectáreas (Ponce *et al.*, 2016), las provincias con mayor relación de UPAs que vinculan la actividad cafetalera en función de los totales provinciales son: Orellana con 89,2 %; Sucumbíos con 84,5 %; Manabí con 41,9 %; Loja con 31,5 % y El Oro con 26,7 % (Alulima, 2012).

2.1.2. Taxonomía del cafeto.

Según Alulima (2012), la taxonómica del cafeto es la siguiente (Tabla 1):

Tabla 1. Taxonomía del cafeto, según Alulima (2012).

Taxonomía	Nombre
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Dicotyledoneae</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Rubiales</i>
Familia	<i>Rubiaceae</i>
Género	<i>Coffea</i> L
Especies	<i>Arábica, liberica, canephora</i>

2.1.3. Descripción botánica del cafeto.

Monroig (2005) señala que el sistema radicular del cafeto es pivotante, crece y se desarrolla en forma cónica, alcanzando hasta un metro de profundidad si las condiciones del suelo lo permiten. Por su parte Columbus y Pulgarín (2002), señalan que la raíz es un órgano que proporciona alimento a la planta y sirve para la absorción de agua y nutrientes de origen mineral y orgánico del suelo, pudiendo alcanzar una profundidad en una planta adulta de 50 a 60 cm de longitud.

El cafeto está compuesto de un solo tallo o eje central, exhibe dos tipos de crecimiento; el vertical u ortotrópico con una zona de crecimiento activo o plúmula en el ápice de la planta que va alargando a ésta durante toda su vida, formando el tallo central, nudos y entrenudos y el crecimiento lateral o plagiotrópico que se originan de las yemas que se forman en las axilas superiores de las hojas (Monroig, 2005), normalmente el cafeto es una planta unicaule aunque en ciertas condiciones presenta tallos múltiples (Columbus y Pulgarín, 2002).

Enríquez y Duicela (2014) señalan que en las ramas se encuentran adheridas las hojas, en la axila que forma la hoja con la rama primaria están las yemas vegetativas y las yemas florales, en las ramas secundarias existen yemas que

originan ramas terciarias y flores. Por su parte Monroig (2005), afirma que las ramas primarias, secundarias y terciarias producen hojas, flores y frutos; sin embargo, en el tronco o tallo del *C. arábica* normalmente se producen sólo yemas vegetativas, nunca flores ni frutos.

Las hojas aparecen en las ramas laterales o plagiotrópicas en un mismo plano y en posición opuesta, tienen un pecíolo corto, plano en la parte superior y convexo en la inferior, su forma varía de ovalada a lanceolada (Monroig, 2005), las hojas tiernas del cafeto inician su formación en las yemas apicales del tallo y de las ramas, varían en su coloración entre verde y bronceado, de acuerdo a la variedad (Enríquez y Duicela, 2014).

La flor del cafeto es hermafrodita, se desarrollan en las axilas de las hojas sobre tallitos llamados glomérulos, encontrándose de 3 a 5 en la base de cada hoja (Columbus y Pulgarín, 2002), las flores son pequeñas, de color blanco y de olor fragante, la inflorescencia del café es una cima de eje muy corto que posee un número variado de flores, en arábigos de dos a nueve y en robustas de tres a cinco (Monroig, 2005).

El fruto del cafeto es una drupa de forma ovalada o elipsoidal ligeramente aplanada, de color verde al principio, luego se torna amarillo y finalmente rojo, aunque algunas variedades maduran de color amarillo; el tiempo que transcurre desde la floración hasta la maduración del grano varía según la especie: *C. arábica* de seis a ocho meses, *C. canephora* de nueve a once meses y *C. liberica* de once a catorce meses (Monroig, 2005), luego de haber transcurrido 224 días desde la apertura de las flores, el fruto alcanza su completa madurez (Columbus y Pulgarín, 2002).

Según Monroig (2005), el fruto contiene normalmente dos semillas plano convexas separadas por el tabique interno del ovario, pueden presentarse tres semillas o más en casos de ovarios tricelulares o pluricelulares o por falsa poliembrionía. Por su parte Columbus y Pulgarín (2002) señalan que el endospermo de la semilla está cubierto por una fina membrana que se denomina película plateada, ésta a su vez está cubierta por el pergamino, el que está cubierto por una sustancia gelatinosa y azucarada denominada mucílago.

2.1.4. Especies y cultivares de cafeto.

El cafeto pertenece a la familia de las rubiáceas, grupo que engloba unos 500 géneros y más de 6 000 especies (Waller *et al.*, 2007), de las cuales al menos dos son económicamente importantes a nivel mundial la especie: *Coffea arabica*, llamada "Arábigo", y *Coffea canephora*, llamada "Robusta" (Augstburger *et al.*, 2000), el arábigo es el más consumido ya que es suave y aromático, con bajos índices de cafeína y mayor calidad (ESPANICA, 2015).

Las variedades más conocidas del café arábigo son Typica y Borbón, pero a partir de éstas se han desarrollado muchos cultivares diferentes, como son Caturra (Brasil, Colombia), Mundo Novo (Brasil), Tico (América Central), San Ramón enano y Jamaican Blue Mountain. El cafeto arábigo es un arbusto con hojas ovaladas verde oscuro, de fruto ovalado que tarda en madurar de siete a nueve meses, es a menudo susceptible a plagas y enfermedades, por lo cual la obtención de resistencia es uno de los principales objetivos de los programas de mejoramiento vegetal. Se caracteriza por producir granos de mayor calidad y sabor más suave que el café robusta, por lo que tiene mayor preferencia en el mercado internacional (FIRA, 2015).

Según Flórez (2017), las variedades de *Coffea arabica* que dieron origen a la caficultura en América son Típica y Bourbon.

La Típica es una variedad de porte alto, posee ramas laterales con ángulo de inserción cercano a 68°, brotes jóvenes de color bronce, frutos amarillos y rojos, tamaño de grano grande y excelente calidad en taza. La variedad Bourbon es de porte alto con ramificación secundaria más densa, entrenudos más cortos, brotes jóvenes generalmente verdes y un ángulo de inserción de sus ramas de 63°, su potencial productivo es mayor que Típica, pero con un menor tamaño de grano. A partir de mutaciones de Típica y Bourbon o cruzamientos entre éstas o entre sus variedades derivadas, se originaron otras variedades ampliamente reconocidas como Caturra, Maragogipe, San Bernardo, Mundo Novo, Catuai y Laurina. (Figura 1).

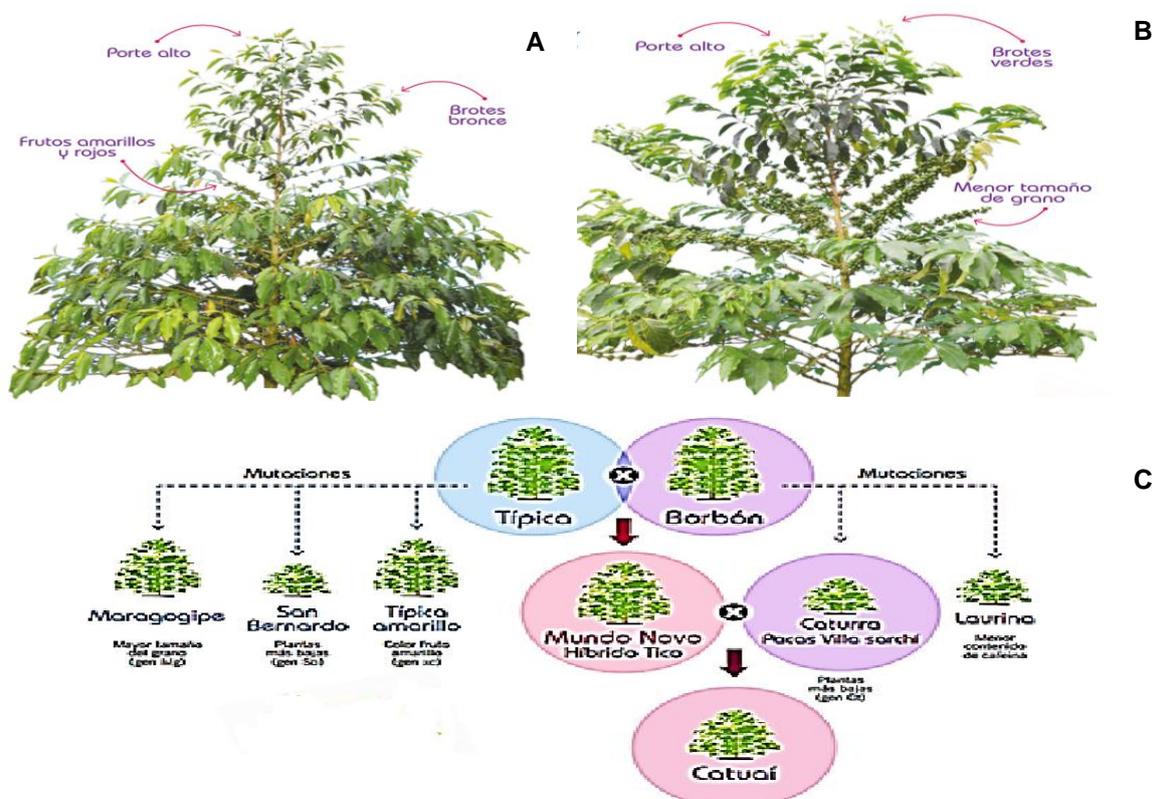


Figura 1. A. Variedad Típica; B. Variedad Bourbon; C. Esquema del origen de las principales variedades tradicionales de *C. arabica* cultivadas en América.

En Ecuador se cultivan las variedades arábicas: Típica, Bourbon, Caturra, Pacas, Mundo Novo, Catuaí, Villalobos, San Salvador, Pache, Geisha y otros. La relación genética entre las distintas variedades arábicas puras, se indica en la Figura 2 (Enríquez y Duicela, 2014).

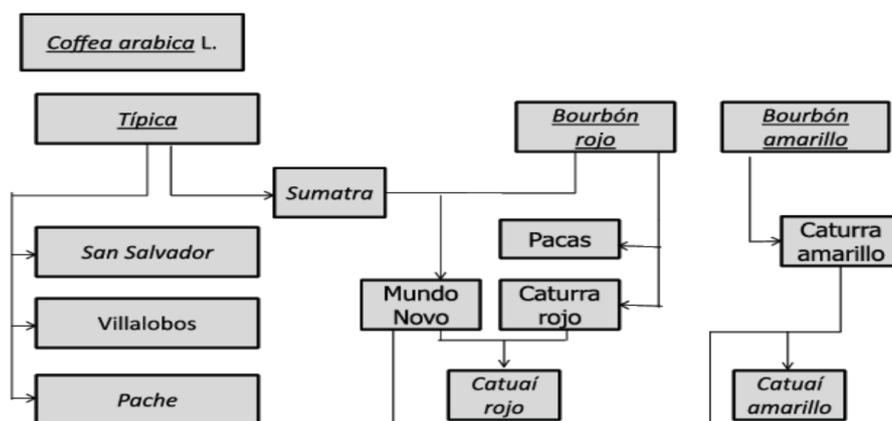


Figura 2. Relación entre las variedades arábicas puras y los cultivares más conocidos. De acuerdo con varios autores la especie *Coffea arabica* L. está conformada por un conjunto de variedades e híbridos que tienen características agronómicas y productivas diferenciadas (Tabla 2).

Tabla 2. Principales características de las variedades e híbridos de café arábigo (*Coffea arabica* L), según varios autores.

Variedad e Híbrido	Origen	Características	Autores
Caturra	Mutación de Bourbon, observada por primera vez en el estado de Minas Gerais en Brasil.	Introducida al Ecuador en 1956, de porte bajo, entrenudos cortos, tronco grueso y poco ramificado, sus hojas son grandes de color verde claro, con altas producciones por unidad de área. Susceptible a la roya del cafeto, con brotes verdes y el ángulo de inserción de las ramas es de 88,7°. Las ramas laterales forman un ángulo de 45° respecto del eje ortotrópico.	Monroig (2005); Enríquez y Duicela (2014); Flórez (2017).
Pacas	Mutación de Bourbon, seleccionada de El Salvador.	Introducida al Ecuador en 1966, de porte bajo, las ramas laterales forman un ángulo de 45° respecto del eje ortotrópico. La introducción y distribución de la variedad Pacas T-2942 la realizó el INIAP.	Monroig (2005); Enríquez y Duicela (2014).

Mundo Novo	Cruce natural entre Típica y Borbón, descubierta en el Municipio de Mundo Novo, Estado de Bahía, Brasil en 1943.	Introducida al Ecuador en 1956, de porte mediano, las ramas laterales forman un ángulo de 45° respecto del eje ortotrópico. Fue seleccionada por su acentuado vigor y elevada producción, presenta órganos con características similares a la variedad Típica, elevada ramificación secundaria y hojas de mayor tamaño.	Enríquez y Duicela (2014); Flórez (2017).
Catuaí	Cruce artificial entre Mundo Novo y Caturra, en 1949, en el Estado de Sao Paulo, Brasil.	Introducida al Ecuador en 1976, es un arbusto vigoroso y compacto, su porte es mediano (2.25 m.), el tallo principal es grueso, las ramas laterales forman un ángulo de 45° respecto del eje ortotrópico, los frutos no se desprenden fácilmente de las ramas, tiende a ser de mayor diámetro (ancho) que el Caturra. Sobresale su elevado vigor vegetativo y alta uniformidad. Resistente al viento y excelente productor.	Monroig (2005); Enríquez y Duicela (2014); Flórez (2017).
Villalobos	Mutación de Típica, seleccionada en Costa Rica.	Introducida al Ecuador en 1956, posee porte bajo, las ramas laterales forman un ángulo de 45° respecto del eje ortotrópico, los frutos en estado maduro se desprenden con facilidad.	Enríquez y Duicela (2014)
San Salvador	Mutación de Típica, seleccionada en la República de El Salvador.	Porte más bajo que la variedad Caturra, los frutos en su estado maduro es rojo y se desprenden con facilidad, susceptible a roya.	Enríquez y Duicela (2014)
Pache	Mutación de Típica, descubierta en Jalapa, Guatemala, en 1987.	Introducida al Ecuador en 1996, posee porte muy bajo, de estructura compacta, entrenudos cortos y ramificación frondosa, el ángulo de inserción de la rama plagiotrópica respecto al tallo ortotrópico es de 60°.	Enríquez y Duicela (2014)
Geisha	Descubierta en Abisinia, al suroeste de Etiopía en 1931	Introducida al Ecuador en 1980, tiene porte alto con frutos de mayor tamaño que Típica, los frutos son elongados y tiene cierta resistencia a la roya.	Enríquez y Duicela (2014)
Maragogipe	Origen genético: Típica, de procedencia en Brasil	Sus hojas y frutos son de gran tamaño, sus hojas de forma acorazonada y regularmente dobladas hacia su ápice, misma que la distinguen de otras variedades. Con alto potencial de calidad en taza.	Flórez (2017).

Catimor	Cruce entre Caturra rojo CIF 19/1 y Timor CIF 832/1. Variedad desarrollada por Icafé- Costa Rica y liberada en 1995.	Porte bajo, forma cónica, ramas y entrenudos cortos, producción alta, bajo índice de frutos vanos y resistencia a la roya.	Enríquez y Duicela (2014); Flórez (2017).
Sarchimor	Cruzamiento entre Villa Sarchi CIFIC 971/10 y el Híbrido de Timor CIFIC 832/2, selección realizada por el Instituto de Paraná en Brasil, a partir de una generación F3 proveniente de Portugal y liberada en 1993.	Introducida al Ecuador en 1985, tiene una amplia adaptabilidad, principalmente en zonas secas de las provincias de Manabí, El Oro y Loja; es de porte bajo con menor diámetro de copa que Catuaí, alta productividad, reducido índice de frutos vanos y resistencia a la roya anaranjada.	Enríquez y Duicela (2014); Flórez (2017).
Castillo	Cruce de Caturra por Híbrido de Timor, con procedencia en Colombia.	Presenta plantas con brotes color bronce y verdes en un mismo lote, que caracterizan su diversidad genética. Alta productividad, resistencia a la roya, es un compuesto multilínea, y de alto potencial de calidad en taza.	Enríquez y Duicela (2014); Flórez (2017)
Híbrido de Timor	Cruce natural de <i>Coffea arabica</i> por <i>coffea canephora</i> y descubierto en 1927, en las Islas Timor.	Introducido a Ecuador en 1971, desde Costa Rica, tiene genes de resistencia a la roya del café, a nematodos y a la enfermedad de las cerezas <i>Coffee Berry Disease</i> (Aún no reportada en América, causada por el hongo <i>Colletotrichum coffeanum</i> var. <i>virulans</i>).	Enríquez y Duicela (2014);
Colombia	Cruce entre Caturra por Híbrido de Timor, Liberada en 1983.	Estrategia genética multilínea, compuesto por líneas seleccionadas de generaciones avanzadas, con porte bajo, color del brote verde/bronce, color del fruto rojo/amarillo	Enríquez y Duicela (2014); Flórez (2017).

Elaborado por Yomara Fernández Cuenca.

2.2. Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de café.

2.2.1. Suelo.

El café es bastante exigente en cuanto a la calidad del suelo, requiere suelos tipo franco (franco arcilloso, franco arenoso, franco limoso), ricos en materia orgánica, profundos, con buen drenaje y topografía regular. No es recomendable sembrar en suelos pantanosos, con pendientes muy fuertes

(más de 30° grados), pedregosos, poco profundos y pobres (Andrade, 2013), los suelos apropiados para cafeto deben tener una profundidad que debe fluctuar entre 50 y 200 cm, con estructura granular, abundante cantidad de hojarasca en la capa superficial, apreciable riqueza microbiana, terreno plano o de poca pendiente y buen drenaje (Enríquez y Duicela, 2014).

2.2.2. Temperatura.

Según Montoya y Jaramillo (2016), la temperatura óptima para el cultivo de cafeto está entre 18 y 21 °C, por lo tanto, los cultivos de café en zonas que estén por debajo de esta temperatura requieren de mayor tiempo cronológico para alcanzar la producción potencial, mientras que en cultivos en zonas por encima de esta temperatura puede verse afectado el llenado de los frutos. Por otro lado, Andrade (2013) afirma que las temperaturas altas inhiben el crecimiento del cafeto porque a los 24 °C la fotosíntesis decrece y, se hace casi imperceptible a los 34 °C, por esta razón, en las zonas muy cálidas, la sombra es un factor importante para moderar las altas temperaturas que producen los rayos directos del sol.

2.2.3. Precipitación.

Los límites bajos para un buen desarrollo de cafeto fluctúan entre 760 y 780 mm, mientras los límites altos varían de 990 a 3 000 mm, los mejores promedios de lluvia para los cafetos arábigos fluctúan entre 1 200 y 1 800 mm año, bien distribuidos. Un lugar ideal para cultivar café sería una zona donde haya algo más de 1 000 mm de lluvia durante ocho o nueve meses, luego una época seca con poca lluvia y que el período lluvioso inicie con precipitaciones fuertes o abundantes para favorecer la floración (Andrade, 2013).

Enríquez y Duicela (2014) mencionan que la precipitación óptima para el cultivo de café arábigo varía de 1 200 a 1 800 mm, distribuidos en nueve meses consecutivos, esto significa que necesita de un periodo de descanso de aproximadamente tres meses, con las primeras lluvias, después del descanso fisiológico, los cafetales florecen. Para asegurar el llenado de los frutos, las plantas requieren de agua de forma continua, después de la floración.

2.2.4. Humedad relativa (HR).

Aparentemente la humedad relativa óptima varía en función de la adaptación de las variedades, cabe indicar que al nivel del microclima en el cafetal, la alta densidad de árboles de sombra mantiene un ambiente con alta humedad relativa; por lo que se debe procurar un manejo equilibrado de la sombra (Enríquez y Duicela, 2014), la humedad relativa varía para cada especie de cafeto: en café arábigo varía de 70 al 95 % y en robusta de 80 a 90 % (Andrade, 2013), niveles superiores al 85 % se afecta la calidad física del café oro y de la taza (Enríquez y Duicela, 2014).

2.2.5. Altitud.

La altitud óptima para el cultivo se localiza entre los 500 y 1 700 m s. n. m. Por encima de este nivel se presentan fuertes limitaciones en relación con el desarrollo de la planta (CICAFFE, 2011), en Ecuador, el café arábigo se cultiva entre 300 y 2 000 m s. n. m. y el café robusta se cultiva entre 0 a 800 m s. n. m. (Andrade, 2013).

2.2.6. Viento.

Si el viento es de cierta intensidad, las hojas se secan y caen prematuramente, haciendo que los brotes traten de reemplazar las hojas caídas, invirtiendo una

buena cantidad de energía, la cual pudo haber sido aprovechada en la producción de frutos, si esto sucede durante la floración los daños son mayores (Enríquez y Duicela, 2014).

Los fuertes vientos inducen a la desecación y al daño mecánico del tejido vegetal; así mismo, favorecen la incidencia de enfermedades. Por esta razón es conveniente escoger terrenos protegidos del viento, o bien establecer barreras rompevientos para evitar la acción de éste (CICAFE, 2011), una velocidad del viento mayor de 4 m s^{-1} ($14,4 \text{ km h}^{-1}$) es perjudicial para el café, puesto que eleva la evaporación, provocando que las hojas se sequen y caigan en forma prematura (Andrade, 2013).

2.3. Condiciones edafoclimáticas de las zonas productoras de café en Ecuador.

En nuestro país los productores cultivan en zonas disímiles en condiciones climáticas y geográficas, los cultivos se hallan desde el nivel del mar, en Manabí, hasta las estribaciones más altas de la cordillera, pasando por las planicies lluviosas de la Amazonía, con suelos pobres y secos hasta los volcánicos, desde el Norte, frontera con Colombia, hasta el Sur en Loja y Zamora Chinchipe, pasando por las Islas Galápagos (Delgado *et al.*, 2002).

Existen factores favorables y adversos para el cultivo del café, dependiendo de la zona en que se encuentran ubicadas las plantaciones; ello tiene una incidencia directa en la calidad y productividad de los sembríos, como los factores climáticos que ejercen una influencia directa en la producción en los países de clima tropical, por tanto, se debe tomar en cuenta la información relativa a la zonificación potencial del cultivo de café arábigo en nuestro país,

como se puede apreciar en las tablas 3 y 4 (Ortega, 2003).

Tabla 3. Zonificación potencial del cultivo del café arábigo en el Ecuador, según estudios realizados por Ortega (2003).

Zonas	Características	Factores favorables	Factores desfavorables
Zona cálida seca	Temperatura 25 °C Precipitación: de 500 a 1 000 mm. Altura: de 0 a 300 m s. n. m.	Poca incidencia de plagas y enfermedades	Suelos y clima Riego necesario Compite con otros cultivos
Zona cálida húmeda	Temperatura 25 °C Precipitación: de 1 500 a 2 500 mm. Altura: de 0 a 300 m s. n. m.	Suelo y clima Fácil laboreo Puede alternar con otros cultivos	Incidencia de plagas y enfermedades Riesgos de erosión Riego complementario
Zona cálida muy húmeda	Temperatura 25 °C Precipitación: de 2 500 a 3 000 mm Altura: de 300 a 1 800 m s. n. m.	Suelo Pendiente	Incidencia de plagas y enfermedades Exceso de humedad Riesgos de erosión
Zona cálida poco húmeda	Temperatura 24 °C Precipitación: de 3 000 mm Altura: 1 800 m s. n. m.	Suelo	Incidencia de plagas y enfermedades Exceso de humedad Peligro de erosión.

Tabla 4. Vertientes occidentales y valles de la Sierra, según estudios realizados por Ortega (2003).

Zonas	Características	Factores favorables	Factores desfavorables
Zona cálida seca	Temperatura 24 °C Precipitación: de 1 400 mm Altura: de 1 800 m s. n. m.	Suelo y clima	Peligro de erosión Baja fertilidad
Zona cálida húmeda	Temperatura 24 °C Precipitación: de 1 400 mm Altura: de 1 800 m s. n. m.	Suelo y clima	Peligro de erosión Baja fertilidad
Zona cálida muy húmeda	Temperatura 24 °C Precipitación: de 3 000 mm Altura: de 600 m s. n. m.	Suelo y clima	Toxicidad de aluminio Mal drenaje Presencia de plagas y enfermedades

Otro de los factores incidentes en las plantaciones, es la radiación solar, cuyos valores máximos en la Región Sur de Ecuador se encuentran al Oeste, y los mínimos aparecen hacia el Este, coincidiendo con las zonas de mayor porcentaje

mensual de días claros y días nublados respectivamente (Álvarez y Montaña, 2015), lo cual influye en las variaciones de temperatura y humedad relativa.

2.4. Crecimiento y fisiología del cafeto.

El crecimiento se define como un aumento irreversible en volumen, el principal componente del crecimiento vegetal es la expansión celular dirigida por la presión de turgencia. Durante este proceso, las células aumentan en volumen varias veces y llegan a estar muy vacuolizadas (Taiz y Zeiger, 2006).

El crecimiento de las plantas resulta del aprovechamiento de la luz solar en la fabricación de los componentes constituyentes y funcionales de los distintos órganos; por lo tanto, este crecimiento está directamente relacionado con la capacidad de la copa para capturar la luz incidente (Cirilo, 2004). Visto así, la producción del cultivo se debe considerar como el resultado de la eficiencia del follaje del cultivo en la interceptación y utilización de la luz disponible (Jerez y Martín, 2012).

Las plantas viven y fotosintetizan en una gran variedad de hábitats con grandes diferencias en sus condiciones térmicas. Como en cualquier otro proceso bioquímico, la capacidad fotosintética de cada especie tiene un óptimo de temperatura a la cual ocurre la mayor eficiencia, por encima de ese valor la fotosíntesis disminuye por la desnaturalización de las enzimas. La temperatura controla la tasa de desarrollo de muchos organismos que requieren de la acumulación de cierta cantidad de calor para pasar de un estado a otro en su ciclo de vida (Soto *et al.*, 2012).

En el caso de especies perennes y arbustivas como el cafeto, el ciclo de vida es bastante complejo, debido a que el crecimiento vegetativo ocurre durante

toda la vida de la planta y en la mayor parte del tiempo está intercalado con el crecimiento reproductivo. El desarrollo vegetativo, comprende tres etapas: germinación a trasplante (dos meses), almácigo (cinco-seis meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses); las fases de crecimiento vegetativo y reproductivo transcurren simultáneamente durante el resto de vida de la planta, para finalmente pasar a la fase de senescencia, en donde el ritmo de envejecimiento depende de la región donde se establece el cultivo, la densidad de siembra, la intensidad de la producción, la disponibilidad de nutrimentos, la presencia de plagas y enfermedades o del estrés ambiental (Arcila, 2007).

El cafeto es una planta con metabolismo fotosintético C3 que se caracterizan por tener grande abertura de estomas a la luz, con velocidad relativa de respiración de tres a cinco veces más que la respiración oscura, con fuerte inhibición por O₂, con alta tasa de respiración, bajo ritmo de fotosíntesis, baja eficiencia en el uso del agua, baja resistencia a la sequía, alta resistencia a bajas temperaturas y baja resistencia a altas temperaturas (Pérez, 2005).

Aunque el café es originario de ambientes sombreados, lo que le confiere capacidad de adaptación a estas condiciones, a menudo, crece mejor y produce mayores rendimientos sin sombra, pero a expensas de altas demandas de fertilización, particularmente de Nitrógeno y de su vida productiva (Franck y Vaast, 2009; Pompelli *et al.*, 2010). Estudios demuestran que con niveles de sombra superiores al 40 %, la producción disminuye (Jaramillo *et al.*, 2010), pues se generan relaciones de competencia por agua, luz y nutrientes con el cultivo asociado y, como consecuencia la disminución de su rendimiento.

Santiana (2013) indica que el cultivo de cafeto a pleno sol aumenta la utilización de pesticidas, el uso de fertilizantes nitrogenados y densidad de

plantación, lo cual produce un aumento de los costos de producción y efectos negativos en el ambiente, con repercusiones negativas en la conservación del suelo, la biodiversidad y la calidad del fruto.

2.5. El Sistema Agroforestal y el microclima.

El sistema agroforestal se define como la asociación de árboles en un cultivo de valor económico, como es el caso de café. Sin embargo, la definición no enfatiza en que el árbol está asociado como sombrío del cultivo, lo cual abre la posibilidad de establecer estos árboles en los lotes o fincas cafeteras, de diversas maneras, sin que el árbol ocupe un sitio donde debe ir una planta de café y sin que este afecte la producción del cultivo principal (Farfán, 2016).

Este sistema agroforestal ha sido concebido desde el enfoque de producción, como una réplica de los sistemas naturales, en los cuales la diversidad de especies en tiempo y espacio es la estrategia para el logro de la sostenibilidad del conjunto. Entre los diversos servicios que prestan los sistemas agroforestales, además de los productos agrícolas y forestales, se incluyen la conservación de suelos y aguas, mantenimiento de la biodiversidad, mayor resiliencia de las unidades productivas a efectos climáticos y de mercado adversos al sistema, y como estrategia de diversificación por parte de los productores rurales en la generación de ingreso y seguridad alimentaria (Rubiano *et al.*, 2014). Tal sistema integra el componente arbóreo dentro de las unidades agrícolas como un elemento estratégico para la conservación de los suelos, aumentando la retención de humedad de los mismos, mediante las sucesivas adiciones a la tierra de materia orgánica proveniente del follaje (Pauli *et al.*, 2011).

Según Farfán y Mestre (2004), los cafetales bajo sombra han jugado un papel

importante en la protección de la biodiversidad, de igual forma los árboles de sombrero en los cafetales permiten regular la disponibilidad del agua y atenuar los efectos negativos que los períodos prolongados de sequía causan sobre la producción, además, contribuyen a mantener la fertilidad del suelo, reciclan nutrientes, aportan gran cantidad de materia orgánica y reducen la erosión, y según Rojas *et al.* (2012), el cultivo bajo sombra logra adaptar características similares a las de los bosques mesófilos y además generar una alternativa para que las comunidades campesinas mejoren su calidad de vida.

El efecto de la transformación del paisaje a través de la implementación de los SAF, actúa como una reacción en cadena; la suma de los impactos locales logran alterar la biodiversidad a nivel global, los procesos ecológicos y climáticos, como también el ámbito socioeconómico; así mismo, se destacan los beneficios del café con sombra en la conservación de especies de flora y fauna nativas, ya que presenta características similares a las de los bosques que aún no han sido intervenidos por el hombre (Rojas *et al.*, 2012).

En particular, las hojas de café están sujetas a fotoinhibición y a fotorespiración en condiciones de alta radiación, que no permiten fotosíntesis e incluso pueden provocar daños permanentes en el aparato fotosintético (Chaves *et al.*, 2008). En consecuencia, la tasa de fotosíntesis de las hojas de café es relativamente baja (máximo alrededor de $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). La principal limitación a la fotosíntesis parece estar relacionada con una baja conductancia estomática de las hojas (DaMatta, 2004). Las radiaciones saturantes varían entre 300 y 700 $\mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ según las condiciones climáticas en particular. La resultante de estas limitaciones a la fotosíntesis es que se ha encontrado, casi siempre, que la fotosíntesis del café no se reduce en condiciones de sombra inferiores

a 55 % (Franck y Vaast, 2009).

Además, la fotosíntesis del café es muy sensible a temperaturas altas y a la sombra, que permite reducir los extremos de temperatura en el dosel del café, puede influir más sobre la fotosíntesis en ambientes cálidos que en ambientes frescos (Montagnini *et al.*, 2015). La sombra claramente reduce la evaporación del suelo (Lin, 2010), debido a la intercepción de luz solar, y a la presencia de un mantillo que protege el suelo, pero la importancia de la evaporación comparada con la transpiración no ha sido correctamente evaluada aún. También se sabe que el mantillo producido por los árboles permite incrementar la infiltración del agua de lluvia y reducir su escorrentía (Gómez *et al.*, 2011; Meylan, 2012).

2.6. El Sistema Agroforestal y el cultivo del cafeto.

Las especies vegetales se encargan de transformar el CO₂ en carbono orgánico y almacenarlo como madera, materia orgánica, raíces y suelo, mediante el balance entre fotosíntesis y respiración (IPCC, 2013). Este sistema también permiten adaptarse al cambio climático, al regular el microclima y amortiguar los eventos climáticos extremos (Andrade *et al.*, 2013) La presencia del dosel de sombra en sistemas agroforestales es capaz de reducir la demanda evaporativa general y la transpiración de café, por lo que ofrece un mayor nivel de protección de los cultivos frente a la vulnerabilidad agrícola a los recursos hídricos reducidos (Lin, 2010).

Según Augstburger *et al.* (2000), el cafeto es una planta de semisombra que aprovecha en fotosíntesis sólo aproximadamente 1 % de la luz solar (ideal aprox. 1 500 h/año), si la temperatura de la hoja sobrepasa los 34 °C el nivel de

asimilación será prácticamente cero, por ello el coeficiente de fotosíntesis de las plantas bajo sombra es más alto que cuando están totalmente expuestas a los rayos del sol.

Según Guhl (2009), el sistema de café se caracteriza por presentar diversas formas de manejo, haciéndolo más amigable con los ecosistemas en cuanto a la oferta de bienes y servicios ambientales. Por tanto, es necesario identificar cinco tipos de sistemas de producción, basados en el sombrero y el dosel, tres de caficultura tradicional (rústico, policultivo tradicional, policultivo comercial) y dos de sistemas intensivos (sombrero de una sola especie y monocultivo sin sombra), como se indica a continuación:

- Rústico: el café es sembrado bajo la sombra de los árboles originales de la selva tropical. Este tipo de sistema está asociado a un bajo consumo de insumos.
- Policultivo tradicional: el café es sembrado bajo el bosque original, con otro tipo de cultivos de frutas y maderas. Se caracteriza por ser un sistema más complejo.
- Policultivo comercial: los árboles originales del bosque son reemplazados por otras especies útiles como sombrero.
- Sombrero de una sola especie: se usan los árboles de especies leguminosas como sombrero solamente.
- Monocultivo sin sombra: sistema de intensificación, sin sombra, el cual requiere de más insumos y fertilizantes.

Parcelas con cobertura de sombra densa (> 75 %) generan mayores acumulaciones de materia orgánica al suelo y alta susceptibilidad al ataque de broca (*Hypothenemus hampei*), roya (*Hemileia vastatrix*) y ojo de gallo (*Mycena citricolor*) (Maldonado *et al.*, 2014).

Según Salgado (2012), los cafetales tradicionales tienen una estructura vertical diversificada, de uno hasta cuatro estratos de sombra, compuestos por una variedad de especies que cumplen diversas funciones (Tabla 5).

Tabla 5. Beneficios de los componentes frecuentes del sistema agroforestal de café en Centroamérica, según Salgado (2012).

Estrato de sombra	1	2	3	4
Componentes	Musáceas	Frutales	Leguminosas fijadoras de nitrógeno	Maderables
Beneficios	Ingresos a corto plazo	Ingresos a mediano plazo	Producción de leña	Ingresos a largo plazo
	Mantenimiento y fertilización del suelo	Fertilización del suelo, "bomba de nutrientes"	Fertilización y mantenimiento del suelo	Fertilización y mantenimiento del suelo

A continuación se presentan algunas especies de árboles de sombra utilizados en el cultivo de café (Tabla 6) según Augstburger *et al.* (2000).

Tabla 6. Árboles de sombra para el cultivo de café, según Augstburger *et al.* (2000).

Especie	Propiedades	Observación
<i>Inga spp.</i> (<i>I. edulis</i> , <i>I. denndiflora</i> , <i>I. spectabilis</i> y otras)	Adecuada a buenos lugares de emplazamiento, tiene que podarse frecuentemente, la masa foliar se degrada menos rápido que otras especies, su fruto es comestible y es un excelente fijador de N.	Muy propagada; hay muchas variedades locales se combinarse siempre con otras variedades de árboles, porque <i>Inga spp.</i> , en monocultivo, es sensible a plagas.
<i>Erythrina spp.</i> (<i>Epoepigiana</i> , <i>E. Edulis</i>)	Produce rápidamente mucha masa foliar degradable excelente fijador de N.	Tiene que podarse muy intensivamente; la madera no es útil, se puede aprovechar como abono y base nutriente de hongos.
<i>Albizzia spp.</i>	Árboles altos que dan sombra diáfana muy buena para lugares bajos.	Su poda es dificultosa.

<i>Alnus spp.</i>	Se da en lugares muy altos, húmedos y refrigerados, echa hojas y da buena leña.	No es leguminosa, pero sí fijadora de N.
<i>Leucanena leucocephala</i>	Inapropiada, por ser agresiva.	Se hace necesario podar frecuentemente.
<i>Cedrela odorata</i>	Árbol alto, de copa densa Apropiado para lugares bajos pero no tan húmedos Madera noble de alto valor	Puede podarse
<i>Cordia alliodora</i>	Árbol alto, apropiado para lugares cálidos Escasa producción de biomasa Madera de valor	No se poda

A continuación se presentan algunas especies maderables, frutales, arbóreas y arbustivas, para el cultivo de café (Tablas 7, 8 y 9) según Rojas *et al.* (2005).

Tabla 7. Especies arbóreas y arbustivas para utilizar en sombra para el cultivo de café, según Rojas *et al.* (2005).

Nombre común	Nombre científico	Zonas altas	Zonas bajas
Acacia	<i>Acacia mangium</i>		✓
Amarillón	<i>Terminalia amazonia</i>		✓
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>		✓
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>		
Cedro amargo	<i>Cedrela odorata</i>		✓
Cenízaro	<i>Samanea saman</i>		✓
Eucalipto	<i>Eucalyptus deglupta</i>		✓
Eucalipto	<i>Eucalyptus glóbulos</i>	✓	
Gallinazo	<i>Schyzolobium parahybum</i>		✓
Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>		✓
Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>		✓
Jaúl	<i>Alnus acuminata</i>	✓	
Ron-ron	<i>Astronium graveolens</i>		✓
Nogal	<i>Juglans neotropica</i>	✓	
Roble sabana	<i>Tabebuia rosea</i>		✓
Poró copey	<i>Erythrina fusca</i>	✓	
Poró extranjero	<i>Erythrina poeppigiana</i>		✓
Ipil-ipil	<i>Leucaena leucocephala</i>		✓
Aguacatillo	<i>Nectandra salicifolia</i>	✓	
Ratoncillo	<i>Myrsine coriácea</i>	✓	
Pisco	<i>Psidium sartorianum</i>		✓
Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	✓	
Higuerón	<i>Ficus costaricensis</i>		✓
Higuito	<i>Ficus americana</i>	✓	

Tabla 8. Especies frutales, según Rojas *et al.* (2005).

Nombre común	Nombre científico	Zonas altas	Zonas bajas
Aguacate	<i>Persea americana</i>	✓	✓
Anona	<i>Annona cherimola</i>	✓	
Banano	<i>Musa acuminata</i>	✓	✓
Cas	<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	✓	✓
Cidra	<i>Citrus medica</i>	✓	
Durazno	<i>Prunus pérsica</i>	✓	
Guaba	<i>Inga vera</i>		✓
Guaba	<i>Inga spectabilis</i>		✓
Guayaba	<i>Psidium guajaba</i>	✓	✓
Limón dulce	<i>Citrus limettiodes</i>		✓
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>		✓
Mango	<i>Mangifera indica</i>		✓
Manzana de agua	<i>Sizigium malacenses</i>		✓
Manzana rosa	<i>Sizigium jambos</i>	✓	
Nance	<i>Byrsonima crassifolia</i>		✓
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>		✓
Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>	✓	✓
Pejibaye	<i>Bactris gasipaes</i>		✓
Pipa	<i>Cocus nucifera</i>		✓
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>		✓
Toronja	<i>Citrus máxima</i>	✓	✓
Yuca	<i>Manihot esculenta</i>		✓
Jocote	<i>Spondias purpurea</i>		✓
Plátano	<i>Musa acuminata</i>	✓	✓
Itabo	<i>Yucca guatemalensis</i>	✓	✓

Tabla 9. Arbustos, según Rojas *et al.* (2005).

Nombre común	Nombre científico	Zonas altas	Zonas bajas
Sauco	<i>Sambucus mexicana</i>	✓	
Saragundí	<i>Senna reticulata</i>		✓
Amapola	<i>Malvaviscus arboreus</i>	✓	✓
Carboncillo	<i>Acacia angustissima</i>	✓	
Reina de la noche	<i>Brugmansia candida</i>	✓	
Higuerilla	<i>Ricinus comunis</i>		
Clavelón	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	✓	✓
Cabello de ángel	<i>Calliandra calothyrsus</i>	✓	

2.7. Los Sistemas Agroforestales con café en la provincia de Loja.

En la provincia de Loja el café se cultiva en: Puyango, Calvas, Espíndola, Quilanga, Paltas, Chaguarpamba, Olmedo y Vilcabamba en altitudes de 500 a 1 800 m s. n. m. (López, 2013; Abarca y Armendáriz, 2014).

El cantón Puyango se destaca como el principal productor que contribuye con el 40 % de la producción provincial; además, su producto tiene una elevada

demanda, debido a la producción de café de altura, conocido así porque sus plantaciones se ubican generalmente alrededor de los 1 200 m s. n. m. (Sisalima, 2011).

La temperatura media anual de esta zona productora es más alta en el sector occidental del Limo y El Arenal, la cual oscila entre 20 y 24 °C, ubicándose en el rango óptimo para la producción de café arábigo; así mismo, la precipitación media anual varía entre 900 a 1 400 mm (Sisalima, 2011); el rendimiento promedio es de 500 kg ha⁻¹, existiendo plantaciones con rendimientos de 1 000, 1 500 y 2 000 kg ha⁻¹ por año (Ortega, 2003).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Localización general del estudio.

3.1.1. Ubicación geográfica.

El estudio se llevó a cabo en el cantón Puyango (Figura 3). El territorio del cantón está ubicado en el extremo Sur Occidental del Ecuador en la provincia de Loja en las siguientes coordenadas: Longitud: 578 167-624 933 y Latitud: 9 549 354-9 573 736 (CINFA, 2018).

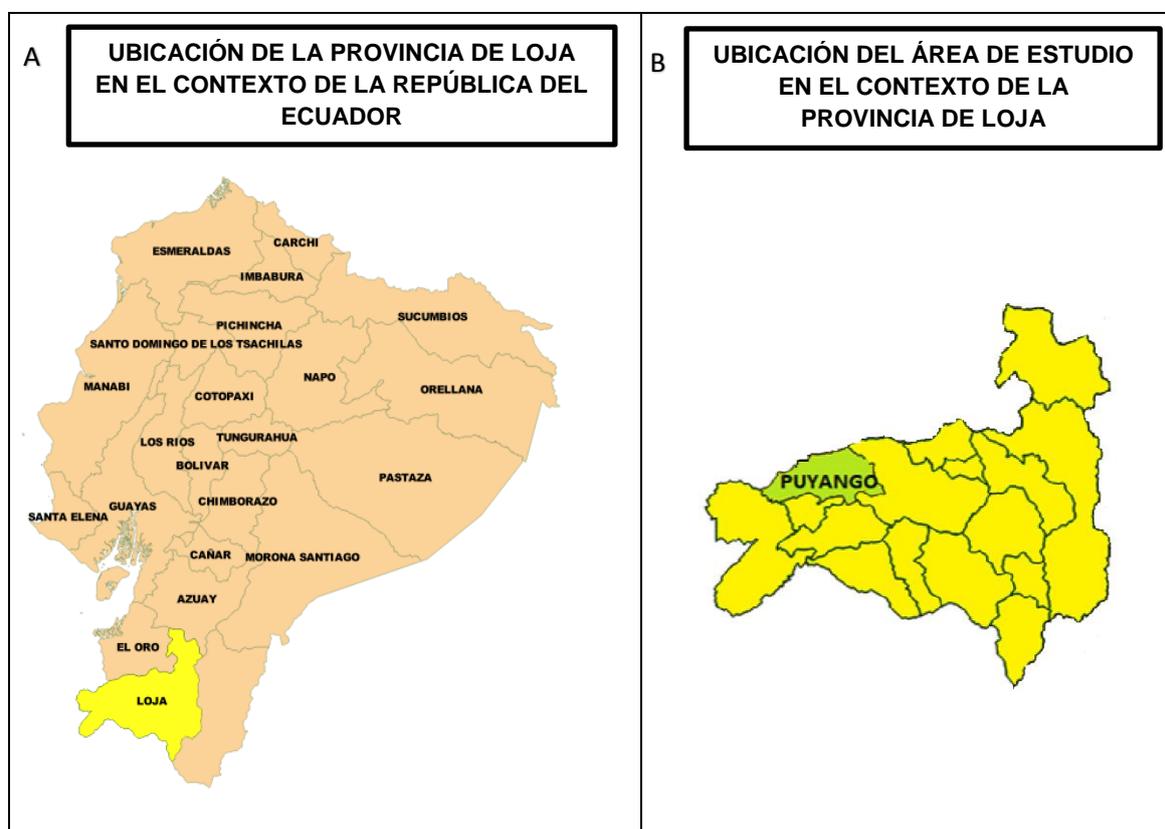


Figura 3. Ubicación del cantón Puyango. A. La provincia de Loja con respecto al Ecuador; B. El cantón Puyango con respecto a la provincia de Loja.

El cantón Puyango presenta las siguientes características generales (G.A.D. Municipal de Puyango, 2014):

3.1.2. Ubicación política.

El cantón Puyango limita al Norte con el cantón Las Lajas de la provincia de El

Oro, al Sur con los cantones Pindal y Celica, al Este con el cantón Paltas y al Oeste con las parroquias Mangaurco y Paletillas del cantón Zapotillo de la provincia de Loja y las provincias de Tumbes y Piura de la República del Perú.

3.1.3. Características ecológicas.

Al contar con áreas con diferencias altitudinales, el cantón presenta una gran variedad de ecosistemas, que van desde los bosques deciduos de tierras bajas hasta los bosques siempre verdes de montaña.

3.1.4. Características edafoclimáticas.

- **Suelos.** Los suelos del cantón Puyango son de topografía irregular, de poca profundidad, con una capa arable que está entre los 0,30 m y 0,40 m; arcillosos, frágiles, de color rojizo amarillento, pesados, saturados de agua y poco fértiles, con un pH ácido.
- **Clima.** El clima del cantón Puyango está dado tanto por su ubicación geográfica como por su niveles altitudinales, posee dos tipos de climas bien definidos; la parte baja posee un clima denominado tropical megatérmico seco (Ab); mientras que la parte más alta del cantón posee un clima denominado como ecuatorial mesotérmico semi húmedo (Ch).

La temperatura varía desde 15 °C en la parte más alta hasta los 24 °C en la parte más baja del cantón, la precipitación varía desde los 700 mm hasta 1 500 mm anuales, los meses que mayor precipitación registran son febrero, marzo y abril.

3.2. Localización específica del estudio.

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, se seleccionaron tres sitios de estudio en el territorio que pertenece al cantón Puyango (Figura 4). Los criterios para la selección de cada sitio fueron la representatividad productiva

del sector, el destino comercial de la producción, la cooperación del productor y el piso altitudinal.

En lo relacionado con la altitud se consideraron tres pisos con los siguientes rangos:

Piso 1: de 600 a 900 m s. n. m.

Piso 2: de 900 a 1 200 m s. n. m.

Piso 3: más de 1 200 m s. n. m.

Sobre la base de estos criterios los sitios seleccionados fueron:

Sitio 1: Huásimo, ubicado a 890 m s. n. m. en las coordenadas 608 614 y 9 560 670.

Sitio 2: Pindal de Vicentino, ubicado a 960 m s. n. m. en las coordenadas 616 606 y 9 564 071.

Sitio 3: San José de Mercadillo, ubicado a 1 316 m s. n. m. en las coordenadas 605 327 y 9 567 269.

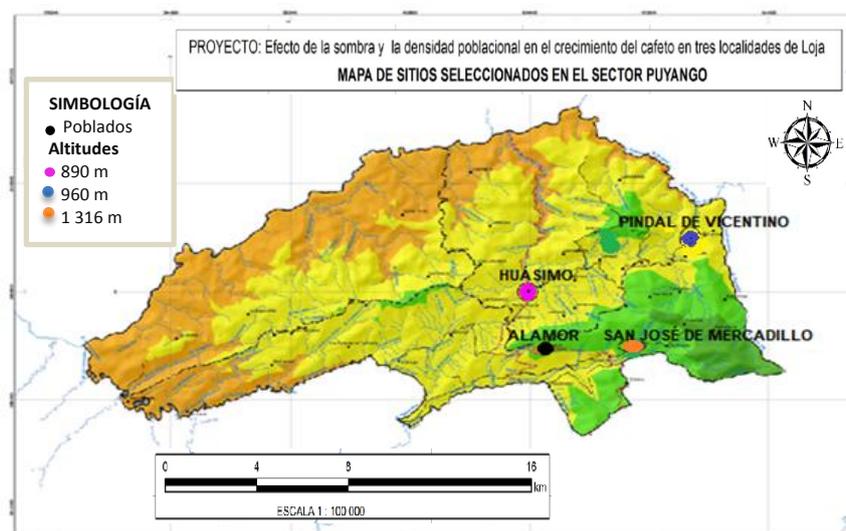


Figura 4. Mapa del cantón Puyango con los sitios seleccionados para la evaluación de las condiciones de vegetación y microclimáticas de los Sistemas Agroforestales café.

3.3. Materiales.

En la caracterización de la vegetación se empleó lo siguiente: claves taxonómicas de especies arbóreas y arbustivas, cámara fotográfica, spray color

rojo, cinta métrica de 100 m, cintas plásticas de color amarillo para delimitar parcelas, hipsómetro, regla, lápiz, hojas de registro y calculadora.

Para la caracterización microclimática se utilizaron dos anemómetros termohigrómetros digitales, marca AIMO modelo MS6252B, dos luxómetros SPER SCIENTIFIC modelo 840022, un GPS marca Magellan, regla, lápiz, borrador y hojas de registro.

Como materiales y equipos de oficina se utilizó computadora, programas estadísticos (Excel, InfoStat) y calculadora.

3.4. Metodología.

La investigación fue de tipo descriptiva y relacional. Para el estudio se realizó un muestreo aleatorio de poblaciones, en donde la población fue cada parcela de cada piso altitudinal. Se realizó en el periodo diciembre 2017 a abril 2018.

De manera general, se caracterizó el clima de cada sitio de estudio mediante los indicadores de temperatura y precipitación a partir de los datos mensuales plurianuales de seis años de la estación meteorológica más cercana, en donde para el caso de la temperatura se tomó en cuenta la estación meteorológica de Zaruma ubicada a 1 100 m s. n. m. para los tres sitios evaluados (Anexo 1), mientras que para precipitación se usó la estación meteorológica de Mercadillo ubicada a 1 142 m s. n. m. para los sitios de Huásimo y Pindal de Vicentino (Anexo 2), y la estación meteorológica de Alamor ubicada a 1 250 m s. n. m. para el sitio de San José de Mercadillo (Anexo 3).

En el caso de la temperatura, al no encontrarse una estación en la misma altitud que el sitio de estudio, se estimó la temperatura por medio del gradiente altotérmico utilizando el criterio de 0,65 empleado por Rodríguez (2015) en un

estudio relacionado con el “Análisis del gradiente térmico en las vertientes este y oeste de la Isla de la Palma”, donde demostró que el mejor coeficiente para los sitios montañosos a partir de los 844 m s. n. m. fue de 0,65 por cada 100 metros de diferencia en altitud. Se usó además la ecuación aplicada por Santaella (2013):

$$Tx = Tc + \frac{Gvm}{100} (Altitud A - Altitud B)$$

Dónde: Tx = Temperatura media desconocida (°C); Tc = Temperatura conocida (°C); Gvm = Gradiente altotérmico (°C/100 m); Altitud A = altitud del sitio de temperatura conocida (m); Altitud B = altitud del sitio de temperatura desconocida (m).

Además, cada sitio de muestreo se georreferenció con el uso de un GPS.

3.4.1. Metodología para el primer objetivo.

Caracterizar la composición y distribución de la vegetación arbórea y arbustiva en los Sistemas Agroforestales Café (*Coffea arabica* L.) en tres pisos altitudinales del cantón Puyango.

Para cumplir con este objetivo en cada sitio se establecieron tres parcelas de 20 x 50 m cada una (Villavicencio, 2013), mismas que fueron delimitadas con cintas de plástico color amarillo, ayudando así a reconocer cada una de ellas; en dichas parcelas se procedió a evaluar en el mes de diciembre las siguientes variables: especies arbóreas y arbustivas, altura, diámetro de copa, densidad relativa, frecuencia relativa, índice de valor de importancia simplificado, edad del cultivo, cultivares y manejo.

Los datos de las diferentes variables se registraron en un formato de campo

(Anexo 4). Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó porcentajes, análisis de varianza, coeficiente de variación y correlaciones de Spearman, aplicando los programas Infostat y excel. Las correlaciones fueron valoradas en escasa o nula (0-0,25), débil (0,26-0,50), entre moderada y fuerte (0,51-0,75) y entre fuerte y perfecta (0,76- 1,00), según la escala propuesta por Martínez *et al.* (2009).

a. Especies arbóreas y arbustivas presentes.

Esta variable se estableció en cada parcela incluyendo solamente individuos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) igual o mayor a cinco cm. De las especies que no se pudieron identificar en el campo se tomaron muestras de ramas y fotografías del individuo completo para su posterior identificación en el herbario de la Universidad Nacional de Loja. Cada especie medida fue marcada con un Spray color rojo para evitar repeticiones, lo cual ayudó a seguir un proceso ordenado.

b. Altura.

La medición se realizó con el uso de un hipsómetro y se realizaron los cálculos mediante trigonometría (Elosegi y Sabater, 2009), esta variable es un indicador de la complejidad de la estructura de la vegetación.

c. Diámetro de copa (m).

Para esta variable se usó una cinta métrica extendiéndola entre dos personas bajo la copa; la lectura se tomó donde se forman las perpendiculares entre la cinta y la proyección de la copa, luego se giró 90° para repetir el proceso, finalmente se sumaron los dos diámetros, dividiéndolos entre dos para obtener el promedio; siguiendo una orientación norte/sur, este/oeste para dicha

medición (Mora, 1984), esta variable en términos generales dió una idea sobre el tamaño del árbol.

d. Frecuencia relativa.

Esta variable indica la dispersión de las especies dentro la comunidad vegetal, y se calculó mediante la siguiente fórmula (Chablé *et al.*, 2015):

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia absoluta por cada especie}}{\text{Frecuencia absoluta de todas las especies}} \times 100$$

Dónde:

$$\text{Frecuencia absoluta} = \frac{\text{Número de parcelas en las que se presenta cada especie}}{\text{Número total de parcelas muestreadas}}$$

e. Densidad relativa.

La densidad relativa indica el número de ejemplares por una unidad muestral que no guarda una relación directa con el área, mientras que la densidad absoluta expresa el número de individuos por unidad de área. Para esta variable se aplicó la siguiente fórmula, adaptada por Chablé *et al.* (2015):

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Densidad absoluta por cada especie}}{\text{Densidad absoluta de todas las especies}} \times 100$$

Dónde:

$$\text{Densidad absoluta} = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Área muestreada}}$$

f. Índice de valor de importancia simplificado (IVIs).

Esta variable ayudó a jerarquizar la dominancia de cada especie en rodales mezclados y se calculó de la siguiente manera: IVIs = Densidad relativa + Frecuencia relativa (Muñoz *et al.*, 2014).

g. Edad del cultivo, cultivares y manejo.

En cada sitio se determinó la edad de las plantas de cafeto, los cultivares y su manejo mediante encuestas a los productores de cada sitio (Anexo 5), observación directa y verificando la información a través de una guía de caracterización de variedades de café establecida por CENICAFE (2017).

3.4.2. Metodología para el segundo objetivo.

Determinar la influencia del sistema agroforestal café en la variación de las condiciones microclimáticas de las plantaciones de cafeto (*Coffea arabica* L.) en tres pisos altitudinales del cantón Puyango.

Para cumplir con este objetivo, se establecieron tres parcelas de 1 000 m² en cada sitio, en las cuales durante cinco meses, aproximadamente cada 30 días, se tomaron cinco datos de manera aleatoria, a diferentes horas del día.

Los valores se registraron en un formato de campo (Anexo 6) y los indicadores que se midieron fueron: sombra, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. Para el procesamiento de los datos se utilizó porcentajes, análisis de varianza simple y correlaciones de Spearman con software Excel e Infostat.

a. Sombra.

Esta variable se midió con un luxómetro, cuya unidad de medida es el lux, que representa la intensidad de la luz. El instrumento se colocó sobre la copa del arbusto de cafeto y así mismo, simultáneamente a pleno sol a una altura aproximada de 1,8 m; con estos datos, por medio de una regla de tres simple se estableció el porcentaje de sombra para cada medición.

b. Temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento.

Para medir estas variables se utilizó un anemómetro termohigrómetro digital, que se colocó a nivel de la copa del cafeto y simultáneamente a una altura de 1,8 metros a pleno sol. Los datos se registraron en °C, % y $m s^{-1}$. En el caso de la velocidad del viento se usó la escala de Beaufort (Anexo 7).

3.4.3. Metodología para el tercer objetivo.

Establecer las relaciones entre las condiciones del microclima en el Sistema Agroforestal y los requerimientos del cafeto en el cantón Puyango.

Con los datos obtenidos se procedió a analizar cada variable por separado y luego se realizó un análisis integral entre las condiciones disponibles y los requerimientos de cada factor del cafeto, para ello se elaboró una matriz (Tabla 10) en la que se comparó las condiciones presentadas durante el estudio y las condiciones óptimas requeridas según varios autores para que *Coffea arabica* L. se desarrolle y produzca a su máximo potencial.

Tabla 10. Matriz para comparación entre las condiciones climáticas observadas en la zona cafetalera de Puyango en el estudio realizado y las condiciones requeridas según varios autores.

FACTOR	CONDICIONES OBSERVADAS EN EL ESTUDIO			CONDICIONES REQUERIDAS
	Huásimo	Pindal de Vicentino	San José de Mercadillo	
SOMBRA (%)				
TEMPERATURA INTERNA (°C)				
HUMEDAD RELATIVA INTERNA (%)				
VELOCIDAD DEL VIENTO INTERNO ($m s^{-1}$)				
TEMPERATURA ESTIMADA (°C)				
PRECIPITACIÓN (mm)				

4. RESULTADOS.

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

4.1.1. Sitio Huásimo.

4.1.1.1. Especies arbóreas y arbustivas presentes.

El número de especies arbóreas y arbustivas determinan el porcentaje de sombra para el cultivo de cafeto; en este caso, dentro del Sistema Agroforestal de este sitio las especies y familias arbóreas y arbustivas encontradas en las tres parcelas evaluadas fueron 13 (Tabla 11), de las cuales las más representativas fueron *Musa paradisiaca*, *Carica papaya*, *Senna spectabilis*, *Acnistus arborescens* e *Inga edulis* con 47, 30, 20, 17 y 13 plantas por hectárea en su orden.

Tabla 11. Especies arbóreas y arbustivas del Sistema Agroforestal en el sitio Huásimo del cantón Puyango, evaluadas en diciembre de 2017.

Familia	Nombre científico	Nombre común	n (número de individuos)	Planta/ha
Musaceae	<i>Musa paradisiaca</i> L.	Plátano	14	47
Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L.	Papaya	9	30
Caesalpiniaceae	<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby.	Vainillo	6	20
Solanaceae	<i>Acnistus arborescens</i> (L.) Schltld.	Pico pico	5	17
Fabaceae	<i>Inga edulis</i> Mart.	Guabo	4	13
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácimo	2	7
Rutaceae	<i>Citrus x sinensis</i> Osbeck	Naranja	2	7
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	Guayabo	2	7
Lauraceae	<i>Laurus nobilis</i>	Laurel	1	3
Juglandaceae	<i>Juglans regia</i> L.	Nogal	1	3
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum mexicanum</i> Cordem.	Manglillo	1	3
Asteraceae	<i>Vernonanthura patens</i> (Kunth) H. Rob.	Laritaco	1	3
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	1	3
TOTAL		13	49	163

4.1.1.2. Altura y diámetro de copa.

En las especies arbóreas y arbustivas más representativas encontradas en el Sistema Agroforestal se observó una variabilidad de altura entre ellas, determinada por el coeficiente de variación (C.V.), con los valores mayores para *Psidium guajava*, *Inga edulis* y *Senna spectabilis* de 69, 46 y 41 % de variación respectivamente (Tabla 12), mismas que inciden directamente con el diámetro de copa que presente el sistema y ésto también determinará el porcentaje de sombra para el cultivo.

Las especies con variabilidad mayor de diámetro de copa fueron *Inga edulis* con 93 %, seguida de *Guazuma ulmifolia* con 69 % y *Acnistus* con 54 %; los resultados demostraron que no existió uniformidad en las características dentro de una misma especie.

Tabla 12. Coeficiente de variación de altura y diámetro de copa de especies con mayor frecuencia del Sistema Agroforestal en el sitio Huásimo del cantón Puyango, evaluado en diciembre de 2017.

Nombre Científico	Altura		Diámetro de copa	
	m	C.V. %	m	C.V. %
<i>Musa paradisiaca</i> L.	4,25	39	2,78	26
<i>Carica papaya</i> L.	5,48	18	1,30	38
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby.	4,70	41	3,59	44
<i>Acnistus arborescens</i> (L.) Schltld.	3,94	21	2,80	54
<i>Inga edulis</i> Mart.	6,30	46	3,78	93
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	7,40	0	6,25	69
<i>Citrus x sinensis</i> Osbeck	6,15	11	4,18	4
<i>Psidium guajava</i> L.	6,47	69	6,95	8

4.1.1.3. Frecuencia relativa, densidad relativa e índice de valor de importancia simplificado (IVIs).

La importancia de cada especie dentro del Sistema Agroforestal en el sitio, se combina en una sola expresión denominada Índice de Valor de Importancia simplificado (IVIs), cuyos resultados se ordenaron de mayor a menor e

indicaron la suma de los valores relativos de frecuencia y densidad (abundancia) de cada especie (Tabla 13), en este sentido, la frecuencia relativa dentro del sitio presentó los valores mayores las especies de *Musa paradisiaca*, *Inga edulis*, *Senna spectabilis*, y *Acnistus arborescens* con 16, 16, 11, y 11 % respectivamente. Del total de las tres parcelas, la primera y segunda especie se registró en las tres parcelas, la tercera en dos y la cuarta en una (Anexo 8).

La densidad relativa dada por la proporción porcentual de cada especie entre el número total de los árboles mostró que las especies con los valores mayores fueron *Musa paradisiaca* con 29 %, *Carica papaya* con 18 %, *Senna spectabilis* con 12 % y *Acnistus arborescens* con 10 % (Anexo 9)

Por otra parte, el IVIs representa un parámetro que da idea del nivel de contribución de una especie a la estructura del ecosistema, así, las especies arbóreas y arbustivas de mayor valor de importancia en el área fueron *Musa paradisiaca* con 45, *Inga edulis* con 24, *Senna spectabilis* con 23, *Carica papaya* con 23 y *Acnistus arborescens* con 21.

Tabla 13. Índice de valor de importancia simplificado de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio Huásimo del cantón Puyango, evaluado en diciembre de 2017.

Nombre científico	Frecuencia relativa %	Densidad relativa %	IVIs
<i>Musa paradisiaca</i> L.	16	29	45
<i>Inga edulis</i> Mart.	16	8	24
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby.	11	12	23
<i>Carica papaya</i> L.	5	18	23
<i>Acnistus arborescens</i> (L.) Schlttdl.	11	10	21
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	5	4	9
<i>Citrus x sinensis</i> Osbeck	5	4	9
<i>Psidium guajava</i> L.	5	4	9
<i>Mangifera indica</i> L.	5	2	7
<i>Laurus nobilis</i>	5	2	7
<i>Juglans regia</i> L.	5	2	7
<i>Vernonanthura patens</i> (Kunth) H. Rob.	5	2	7
<i>Hedyosmum mexicanum</i> Cordem.	5	2	7

4.1.1.4. Edad del cultivo, cultivares y manejo.

Para este sitio en el periodo evaluado se registró el cultivo con una edad de tres años. Los cultivares del sitio fueron: Sarchimor, Acawa y Castillo.

En cuanto al manejo del cultivo, el productor realiza la fertilización con gallinaza en la época de lluvias de una a dos veces al año al principio y/o al final de la época. Así también, realizan riego por aspersion en la época seca al inicio y durante la floración del cultivo principalmente en los meses de septiembre y octubre. En este sitio no realizan podas al cultivo pero si a las plantas de sombra en los meses de enero principalmente. Las labores culturales lo realizan manualmente.

4.1.2. Sitio Pindal de Vicentino.

4.1.2.1. Especies arbóreas y arbustivas presentes.

Se encontraron cinco familias y seis especies arbóreas y arbustivas en las tres parcelas evaluadas dentro del Sistema Agroforestal, las cuales inciden directamente en el porcentaje de sombra que brindan al cultivo, las más representativas fueron *Musa paradisiaca*, *Inga edulis* y *Erythrina velutina* con 193, 77 y 67 plantas por hectárea respectivamente (Tabla 14).

Tabla 14. Especies arbóreas y arbustivas del Sistema Agroforestal en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango, evaluadas en diciembre de 2017.

Familia	Nombre científico	Nombre común	n (número de individuos)	Planta/ha
Musaceae	<i>Musa paradisiaca</i> L.	Plátano	58	193
Fabaceae	<i>Inga edulis</i> Mart.	Guabo	23	77
Fabaceae	<i>Erythrina velutina</i> Willd.	Porotillo	20	67
Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L.	Papaya	5	17
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i> L.	Achiote	3	10
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	Aguacate	3	10
TOTAL		6	112	374

4.1.2.2. Altura y diámetro de copa.

La evaluación definió dentro del Sistema Agroforestal una variabilidad de altura dentro de las especies de *Musa paradisiaca* de 31 %, *Inga edulis* de 22 % y *Erythrina velutina* de 17 %, lo que está directamente relacionada con el diámetro de copa que ésta brinda dentro del sistema. La variabilidad mayor del diámetro de copa se observó para las especies de *Musa paradisiaca* e *Inga edulis* de 50 y 23 % respectivamente, misma que influye directamente con el porcentaje de sombra para el cultivo (Tabla 15). Al igual que el sitio anterior, aunque con menos amplitud, se observó la no existencia de uniformidad en cada especie.

Tabla 15. Coeficiente de variación de altura y diámetro de copa de especies con mayor frecuencia del Sistema Agroforestal en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango, evaluado en diciembre de 2017.

Nombre científico	Altura		Diámetro de copa	
	m	C.V. %	m	C.V. %
<i>Musa paradisiaca</i> L.	3,42	31	1,89	50
<i>Inga edulis</i> Mart.	7,75	22	6,79	23
<i>Erythrina velutina</i> Willd.	4,06	17	2,03	23
<i>Carica papaya</i> L.	7,59	0	0,93	11

4.1.2.3. Frecuencia relativa, densidad relativa e índice de valor de importancia simplificado (IVIs).

En la Tabla 16, se ordenaron las especies en función del IVI simplificado de mayor a menor. La misma, muestra también los resultados de frecuencia relativa y densidad relativa para cada especie, en donde *Musa paradisiaca*, *Inga edulis* y *Erythrina velutina* fueron las especies que registraron mayor frecuencia relativa. Del total de las tres parcelas, la primera y segunda especie se registraron en las tres y la tercera se observó en dos parcelas (Anexo 10). Las especies con mayor densidad relativa fueron *Musa paradisiaca* con 52 %, *Inga edulis* con 21 % y *Erythrina velutina* con 18 % (Anexo 11).

Las especies con altos IVIs presentes en el sitio fueron *Musa paradisiaca*, *Inga edulis*, *Erythrina velutina* y *Carica papaya*, con 79, 48, 36 y 13 respectivamente; lo que implica una mayor importancia dentro del sitio evaluado; además, contribuyen en el carácter y estructura del ecosistema del sitio. Los valores de los índices mostraron que existe poca cantidad de especies en el área y por lo tanto la diversidad es menor; que es una formación no uniforme y que todas las especies no son abundantes.

Tabla 16. Índice de valor de importancia simplificado de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango, evaluado en diciembre de 2017.

Nombre científico	Frecuencia relativa %	Densidad relativa %	IVIs
<i>Musa paradisiaca</i> L.	27	52	79
<i>Inga edulis</i> Mart.	27	21	48
<i>Erythrina velutina</i> Willd.	18	18	36
<i>Carica papaya</i> L.	9	4	13
<i>Bixa orellana</i> L.	9	3	12
<i>Persea americana</i> Mill.	9	3	12

4.1.2.4. Edad del cultivo, cultivares y manejo.

En el estudio realizado se contó con una plantación de tres años de edad. Los cultivares fueron: Acawa y Sarchimor. La fertilización la realizan una sola vez a nivel del suelo en las primeras lluvias en los meses de febrero-abril y en la parte aérea en los meses de octubre-noviembre.

Por otra parte, no realizan riego al cafetal, por lo que esperan la época de lluvias; además, realizan podas altas o descope al cultivo a partir de seis o siete años de edad; también, podan a los árboles de sombra dejando cada 20 m un árbol.

4.1.3. Sitio San José de Mercadillo.

4.1.3.1. Especies arbóreas y arbustivas presentes.

Las especies arbóreas y arbustivas encontradas en el Sistema Agroforestal de este sitio fueron seis con cinco familias (Tabla 17), de las cuales las más significativas fueron *Musa paradisiaca*, *Citrus x sinensis* e *Inga edulis* con 100, 20 y 13 plantas por hectárea respectivamente.

Tabla 17. Especies arbóreas y arbustivas del Sistema Agroforestal en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango, evaluadas en diciembre de 2017.

Familia	Nombre científico	Nombre común	n (número de individuos)	Planta/ha
Musaceae	<i>Musa paradisiaca</i> L.	Plátano	30	100
Rutaceae	<i>Citrus x sinensis</i> Osbeck	Naranja	6	20
Fabaceae	<i>Inga edulis</i> Mart.	Guabo	4	13
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	Guayabo	2	7
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	Nispero	2	7
Rosaceae	<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D.A.Webb	Almendro	2	7
TOTAL		6	46	154

4.1.3.2. Altura y diámetro de copa.

Dentro del Sistema Agroforestal en las tres especies principales se observó una variabilidad en altura en las especies de *Inga edulis* de 57 %, *Musa paradisiaca* de 27 % y *Citrus x sinensis* de 20 %, influyendo las mismas especies al diámetro de copa que ofrecen al sistema, esta variabilidad fue de 40, 23 y 8 % respectivamente (Tabla 18).

Tabla 18. Coeficiente de variación de altura y diámetro de copa de especies con mayor frecuencia del Sistema Agroforestal en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango, evaluado en diciembre de 2017.

Nombre científico	Altura		Diámetro de copa	
	m	C.V. %	m	C.V. %
<i>Musa paradisiaca</i> L.	3,15	27	2,54	23
<i>Citrus x sinensis</i> Osbeck	5,00	20	4,20	8
<i>Inga edulis</i> Mart.	5,00	57	4,75	40

4.1.3.3. Frecuencia relativa, densidad relativa e índice de valor de importancia simplificado (IVIs).

El IVIs encontrado en este sitio determinó la importancia de las especies, mismas que se ordenaron de mayor a menor (Tabla 19). Por tanto, los valores mayores de la frecuencia relativa representaron las especies de *Musa paradisiaca* con 27 %, *Citrus x sinensis* con 27 % e *Inga edulis* con 18 % (Anexo 12), las mismas especies representaron los valores mayores de densidad relativa con 65, 13 y 9 % respectivamente (Anexo 13).

Finalmente, los valores mayores del IVIs fueron las especies de *Musa paradisiaca*, *Citrus x sinensis*, e *Inga edulis* con 92, 40 y 27 respectivamente, representando mayor importancia dentro del sitio evaluado.

Tabla 19. Índice de valor de importancia simplificado de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango, evaluado en diciembre de 2017.

Nombre científico	Frecuencia relativa %	Densidad relativa %	IVIs
<i>Musa paradisiaca</i> L.	27	65	92
<i>Citrus x sinensis</i> Osbeck	27	13	40
<i>Inga edulis</i> Mart.	18	9	27
<i>Psidium guajava</i> L.	9	4	13
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	9	4	13
<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D.A.Webb	9	4	13

4.1.3.4. Edad del cultivo, cultivares y manejo.

La plantación de este sitio tuvo una edad de tres años. Los cultivares existentes fueron: Sarchimor, Acawa y Manabí. La fertilización la realizan con fertilizantes completos y urea al inicio de la época de lluvias (noviembre-diciembre) y en marzo-abril.

El riego lo aplican en época seca en el mes de agosto, septiembre y octubre, mediante mangueras y por goteo, la propiedad cuenta con un reservorio de almacenamiento de agua. Por otro lado, realizan podas de limpieza y

fructificación después de la cosecha y podan los árboles de sombra cada año también después de la cosecha; sin embargo, en estas prácticas, no consideran la regulación de la luz.

4.1.4. Relaciones entre variables de vegetación de la zona cafetalera.

Al realizar el análisis de correlación entre ciertas variables se observó una correlación positiva de 0,63, que corresponde a moderada, entre la altura y el diámetro de copa, evidenciando una relación directa con dependencia total entre las variables; cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.

4.2. Influencia del Sistema Agroforestal café en la variación de las condiciones microclimáticas.

4.2.1. Sitio Huásimo.

4.2.1.1. Sombra.

En este sitio, en todas las fechas de evaluación se observó en las tres parcelas una media de sombra entre 25,03 y 56,01 % (Tabla 20), registrando en la parcela tres una media menor, que se diferencia de la parcela uno que presentó un valor mayor, con diferencias significativas entre ellas.

Tabla 20. Análisis de varianza del porcentaje de sombra en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de enero a abril de 2018 en el sitio Huásimo del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	SOMBRA (%)	E.E.	SIGNIFICACIÓN
1	5	56,01	6,69	a
2	5	52,64	6,69	a
3	5	25,03	6,69	b
MEDIA		44,56		

Medias con letras comunes no son significativamente diferentes a $p > 0,05$
Error estándar: E.E.

4.2.1.2. Temperatura del aire.

a. Temperatura en el interior del Sistema Agroforestal.

Dentro del Sistema Agroforestal, la temperatura del aire durante las fechas evaluadas evidenció en las tres parcelas una variación media entre 27,44 y 29,47 °C; no obstante, los valores en general no presentaron diferencias significativas entre ellas, observando una media general de 28,27 % (Tabla 21).

Tabla 21. Análisis de varianza de temperatura en el interior del Sistema Agroforestal en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio Huásimo del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	TEMPERATURA INTERNA (°C)	E.E.	SIGNIFICACIÓN
1	5	27,44	0,79	a
2	5	27,91	0,79	a
3	5	29,47	0,79	a
MEDIA		28,27		

Medias con letras comunes no son significativamente diferentes a $p > 0,05$
Error estándar: E.E.

b. Diferencia de temperatura.

La diferencia de la temperatura entre la externa e interna, registradas durante el periodo de evaluación si presentaron variaciones entre parcelas fluctuando entre -1,64 a 0,20 °C, que en promedio alcanzaron un valor de -0,70 °C lo que indica que dentro del sistema la temperatura fue menor (Tabla 22). Las variaciones se explican dado que se tomaron los datos en diferentes horas durante las evaluaciones.

Tabla 22. Diferencia de temperatura en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio Huásimo del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	DIFERENCIA DE TEMPERATURA (°C)
1	5	-1,64
2	5	-0,65
3	5	0,20
MEDIA		-0,70

4.2.1.3. Humedad relativa.

a. Humedad relativa en el interior del Sistema Agroforestal.

La humedad relativa en el interior del sistema durante todas las fechas evaluadas pertenecientes a las tres parcelas, presentó una variación media que osciló entre 60,61 y 64,69 % (Tabla 23), obteniéndose una media general de 62,86 %, que realizado el análisis estadístico, no presentó diferencia significativa.

Tabla 23. Análisis de varianza de humedad relativa en el interior del Sistema Agroforestal en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio Huásimo del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	HR INTERNA (%)	E.E.	SIGNIFICACIÓN
1	3	64,69	2,38	a
2	3	63,28	2,38	a
3	3	60,61	2,38	a
MEDIA		62,86		

Medias con letras comunes no son significativamente diferentes a $p > 0,05$
Error estándar: E.E.

b. Diferencia de humedad.

Las medias correspondientes a las parcelas evaluadas durante las cinco fechas, presentaron una media general de la diferencia de humedad relativa entre el medio externo e interno del sitio de 3,90 % (Tabla 24).

Tabla 24. Diferencia de humedad en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio Huásimo del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	DIFERENCIA DE HR (%)
1	5	6,51
2	5	5,61
3	5	-0,42
MEDIA		3,90

4.2.1.4. Velocidad del viento.

a. Diferencia de la velocidad del viento.

Durante todo el periodo de evaluación, se observó en las tres parcelas un rango de diferencia entre la velocidad del viento en el medio externo e interno

de -0,25 y -0,11 m s⁻¹, con una media general de -0,16 m s⁻¹, siempre con los valores menores al interior del Sistema Agroforestal (Tabla 25).

Tabla 25. Diferencia de la velocidad del viento en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio Huásimo del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	DIFERENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO (m s ⁻¹)
1	3	-0,12
2	3	-0,25
3	3	-0,11
MEDIA		-0,16

4.2.2. Sitio: Pindal de Vicentino.

4.2.2.1. Sombra.

En este sitio, en las fechas evaluadas se observó en las tres parcelas una media de sombra entre 42,37 y 70,51 % de sombra. El rango anterior, analizado considerando las medias de cada parcela durante todo el período evaluado registra los valores menores para las parcelas uno y tres que no se diferenciaron entre sí (Tabla 26), dando cuenta de la falta de uniformidad de la sombra en la plantación.

Tabla 26. Análisis de varianza del porcentaje de sombra en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	SOMBRA (%)	E.E.	SIGNIFICACIÓN
1	5	42,37	4,47	b
2	5	70,51	4,47	a
3	5	48,06	4,47	b
MEDIA		53,65		

Medias con letras comunes no son significativamente diferentes a $p > 0,05$
Error estándar: E.E.

4.2.2.2. Temperatura del aire.

a. Temperatura en el interior del Sistema Agroforestal.

La temperatura del aire en el SAF durante el período de evaluación presentó en las tres parcelas una variación media entre 26,34 y 26,61 °C, sin embargo, el

rango anterior, indica que los valores en general, no fueron diferentes entre las distintas parcelas, con una media general de 26,46 °C (Tabla 27).

Tabla 27. Análisis de varianza de temperatura en el interior del Sistema Agroforestal en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	TEMPERATURA INTERNA (°C)	E.E.	SIGNIFICACIÓN
1	5	26,42	1,05	a
2	5	26,61	1,05	a
3	5	26,34	1,05	a
MEDIA		26,46		

Medias con letras comunes no son significativamente diferentes a $p > 0,05$
Error estándar: E.E.

b. Diferencia de temperatura.

Entre la temperatura externa e interna se produjo una diferencia en promedio de las parcelas y todas las fechas de evaluación de -0,53 °C lo que indica que dentro del sistema la temperatura fue menor, con ciertas variaciones entre parcelas que fueron de -1,08 hasta 0,39 °C (Tabla 28).

Tabla 28. Diferencia de temperatura en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	DIFERENCIA DE TEMPERATURA (°C)
1	5	-0,91
2	5	-1,08
3	5	0,39
MEDIA		-0,53

4.2.2.3. Humedad relativa.

a. Humedad relativa en el interior del Sistema Agroforestal.

La evaluación general de todas las fechas en las tres parcelas, presentó un rango de humedad relativa dentro del sistema entre 69,55 y 74,08 % (Tabla 29), observándose en resumen los datos promedios en las cinco fechas de evaluación, en donde la humedad relativa interna no fue diferente entre las parcelas evaluadas; presentando una media general del sitio de 71,67 %.

Tabla 29. Análisis de varianza de humedad relativa en el interior del Sistema Agroforestal en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	HR INTERNA (%)	E.E.	SIGNIFICACIÓN
1	5	69,55	4,40	a
2	5	71,38	4,40	a
3	5	74,08	4,40	a
MEDIA		71,67		

Medias con letras comunes no son significativamente diferentes a $p > 0,05$
Error estándar: E.E.

b. Diferencia de humedad.

Durante todo el período evaluado, se observó una media general de la diferencia de humedad relativa entre el medio externo y el interno de 2,05 %, con un rango de -0,87 a 4,04 % (Tabla 30).

Tabla 30. Diferencia de humedad relativa en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	DIFERENCIA DE HR (%)
1	5	2,97
2	5	4,04
3	5	-0,87
MEDIA		2,05

4.2.2.4. Velocidad del viento.

a. Diferencia de la velocidad del viento.

En todas las fechas evaluadas, se observó en las tres parcelas una media de la diferencia de la velocidad del viento entre -0,52 y 0,04 m s⁻¹ (Tabla 31), presentando un promedio de -0,26 m s⁻¹.

Tabla 31. Diferencia de la velocidad del viento en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	DIFERENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO (m s ⁻¹)
1	3	0,04
2	3	-0,52
3	3	-0,29
MEDIA		-0,26

4.2.3. Sitio San José de Mercadillo.

4.2.3.1. Sombra.

En las tres parcelas se observó en todas las fechas evaluadas una media de la sombra entre 28,19 y 34,29 % (Tabla 32), constatando que la media general estuvo en 31,27 %; además, no se observaron diferencias entre las parcelas.

Tabla 32. Análisis de varianza del porcentaje de sombra en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	SOMBRA (%)	E.E.	SIGNIFICACIÓN
1	5	28,19	5,64	a
2	5	34,29	5,64	a
3	5	31,32	5,64	a
MEDIA		31,27		

Medias con letras comunes no son significativamente diferentes a $p > 0,05$
Error estándar: E.E.

4.2.3.2. Temperatura del aire.

a. Temperatura en el interior del Sistema Agroforestal.

En las tres parcelas pertenecientes a todas las fechas evaluadas, se observó una variación media para la temperatura del aire dentro del Sistema Agroforestal entre 23,63 y 23,98 °C (Tabla 33), se mostró uniformidad entre las diferentes parcelas, con una media general de 23,77 °C.

Tabla 33. Análisis de varianza de temperatura en el interior del Sistema Agroforestal en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	TEMPERATURA INTERNA (°C)	E.E.	SIGNIFICACIÓN
1	5	23,98	1,88	a
2	5	23,63	1,88	a
3	5	23,69	1,88	a
MEDIA		23,77		

Medias con letras comunes no son significativamente diferentes a $p > 0,05$
Error estándar: E.E.

b. Diferencia de temperatura.

Entre la temperatura externa e interna se presentó una diferencia en las

parcelas en las cinco fechas evaluadas de 0,07 °C lo que indica que dentro del sistema la temperatura fue levemente mayor; cabe destacar, que aunque la media fue baja, las variaciones entre las parcelas se presentaron entre -0,30 y 0,56 °C (Tabla 34).

Tabla 34. Diferencia de temperatura en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	DIFERENCIA DE TEMPERATURA (°C)
1	5	-0,30
2	5	0,56
3	5	-0,04
MEDIA		0,07

4.2.3.3. Humedad relativa

a. Humedad relativa en el interior del Sistema Agroforestal.

La humedad relativa dentro del Sistema Agroforestal en todas las fechas evaluadas, en las tres parcelas mostró un rango entre 75,16 y 75,44 %, con un comportamiento uniforme entre parcelas, presentando una media general de 75,27 % (Tabla 35).

Tabla 35. Análisis de varianza de humedad relativa en el interior del Sistema Agroforestal en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	HR INTERNA (%)	E.E.	SIGNIFICACIÓN
1	5	75,44	5,41	a
2	5	75,22	5,41	a
3	5	75,16	5,41	a
MEDIA		75,27		

Medias con letras comunes no son significativamente diferentes a $p > 0,05$
Error estándar: E.E.

b. Diferencia de humedad.

En la tabla 36 se destaca la media general de la diferencia de humedad relativa entre el medio externo y el interno de todas las parcelas pertenecientes a las cinco fechas evaluadas de 2,51 %, con un rango de 1,22 a 4,80 %, siendo

siempre mayor en el interior.

Tabla 36. Diferencia de humedad en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	DIFERENCIA DE HR (%)
1	5	4,80
2	5	1,22
3	5	1,52
MEDIA		2,51

4.2.3.4. Velocidad del viento.

a. Diferencia de la velocidad del viento.

La diferencia de la velocidad del viento entre el medio externo e interno, en las tres fechas evaluadas, se observó una media entre -0,27 y -0,05 m s⁻¹, siempre con los valores menores al interior del Sistema Agroforestal, registrando un promedio de -0,16 m s⁻¹ (Tabla 37).

Tabla 37. Diferencia de la velocidad del viento en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango.

PARCELA	N ^a	DIFERENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO (m s ⁻¹)
1	3	-0,17
2	3	-0,27
3	3	-0,05
MEDIA		-0,16

En la tabla 38 se observa de manera general, para la zona que en el periodo evaluado la variable sombra estuvo en un rango de 31,27 a 53,65 %, con los valores menores en San José de Mercadillo con diferencias significativas con respecto a los demás, lo que indica la variación respecto al acceso a la luz, que da cuenta de la falta de manejo en el factor sombra con sistemas agroforestales que no presentan uniformidad y por tanto, podrían presentarse comportamientos fisiológicos diferentes entre grupos de plantas en la misma plantación; esta situación puede deberse a una falta de planificación de la

plantación en cuanto a manejo de la vegetación utilizada para regular la intensidad de la luz.

Por otro lado, la temperatura del aire interna se encontró en un rango de 23,77 a 28,27 °C con diferencias significativas entre los tres sitios, presentando los valores menores en San José de Mercadillo que es el sitio de mayor altitud en la zona. La diferencia de temperatura presentó homogeneidad entre los sitios en un rango de -0,70 a 0,07 °C, con los valores menores para Huásimo.

Igualmente, en la humedad relativa interna los valores menores se presentaron en el sitio Huásimo en un rango de 62,86 a 75,27 %, observándose diferencias significativas con respecto a los demás sitios, dada la aleatoriedad de las mediciones. En cambio, la diferencia de humedad presentó homogeneidad entre todos los 3 sitios con los valores menores en Pindal de Vicentino, en un rango de 2,05 a 3,90 %, siendo siempre mayor dentro del sistema, situación provocada por la presencia de los árboles de sombra y el propio cultivo, lo cual expresa el efecto de la arborización en el cambio microclimático.

A su vez, la diferencia de la variable velocidad del viento no presentó diferencias significativas entre los tres sitios en un rango de -0,16 a -0,26 m s⁻¹, con los valores menores en Huásimo y San José de Mercadillo, lo que indica una disminución de este indicador en el Sistema Agroforestal que modifica el ambiente y forma un microclima específico para el cultivo, misma que indicaría el papel de los árboles en regulación del ambiente interno del sistema.

Tabla 38. Análisis de varianza de todas las variables medidas en tres parcelas de las medias de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en los sitios Pindal de Vicentino, Huásimo y San José de Mercadillo del cantón Puyango.

Sitio	Sombra %	Temperatura del aire °C		Humedad Relativa %		Velocidad del viento m s ⁻¹
	Porcentaje	Interna	Diferencia	Interna	Diferencia	Diferencia
Huásimo	44,56 ab	28,27 a	-0,70 a	62,86 b	3,90 a	-0,16 a
Pindal de Vicentino	53,65 a	26,46 b	-0,53 a	71,67 a	2,05 a	-0,26 a
San José de Mercadillo	31,27 b	23,77 c	0,07 a	75,27 a	2,51 a	-0,16 a
E.E.	4,65	0,36	0,43	1,03	1,66	0,10
PROMEDIO	43,16	26,17	-0,39	69,93	2,82	-0,19

Medias con letras comunes no son significativamente diferentes a $p > 0,05$
Error estándar: E.E.

4.2.4. Relaciones entre variables microclimáticas de la zona cafetalera.

En la zona cafetalera Puyango se presentaron entre las variables evaluadas en todo el periodo realizado dos correlaciones negativas escasas de -0,21 y -0,22 entre las variables velocidad del viento interno y humedad relativa interna, porcentaje de sombra y temperatura interna respectivamente, existiendo una relación inversa con dependencia total entre las variables, cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante. Así mismo se observó una correlación positiva escasa de 0,04 entre las variables porcentaje de sombra y humedad relativa interna, lo cual indica una relación directa con dependencia total entre las variables; cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante (Tabla 39).

Tabla 39. Análisis de correlación entre variables en tres parcelas de todas las evaluaciones realizadas de diciembre de 2017 a abril de 2018 en el cantón Puyango.

Variable 1	Variable 2	Número de datos	Correlación
% Sombra	Temperatura interna	225	-0,22
% Sombra	Humedad relativa interna	225	0,04
Velocidad del viento interno	Humedad relativa interna	135	-0,21

4.3. Relaciones entre las condiciones del microclima en el Sistema Agroforestal y los requerimientos del cafeto.

4.3.1. Comportamiento de la temperatura y la precipitación en los sitios de estudio en la zona cafetalera de Puyango.

a. Temperatura estimada para cada sitio.

El comportamiento de la temperatura media en el sitio Huásimo mostró un rango entre 24,2 °C y 24,8 °C; siendo los meses con temperatura menor enero y febrero y el mes con temperatura mayor abril. El mismo comportamiento se observó en el sitio Pindal de Vicentino; sin embargo, aquí se presentó en un rango de 23,7 a 24,3 °C. En San José de Mercadillo el rango se presentó entre 21,4 y 22 °C. En los tres sitios los meses de menor temperatura fueron enero, febrero y marzo (Figura 5).

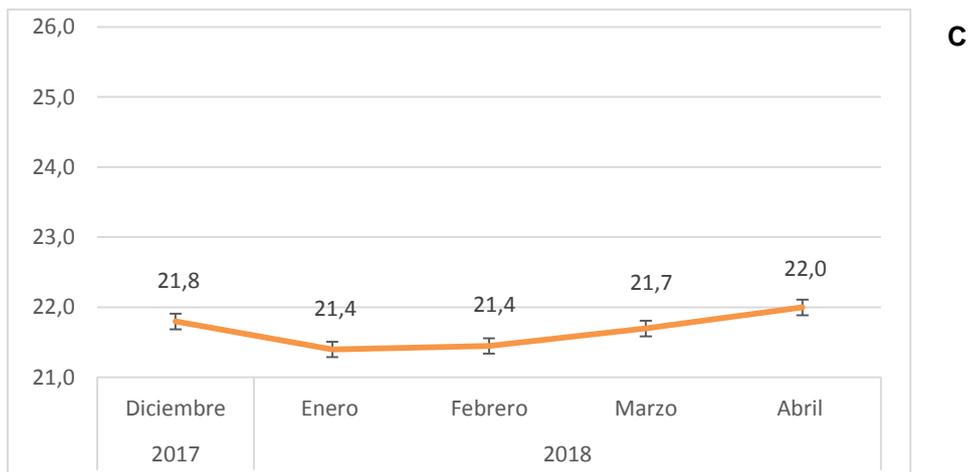
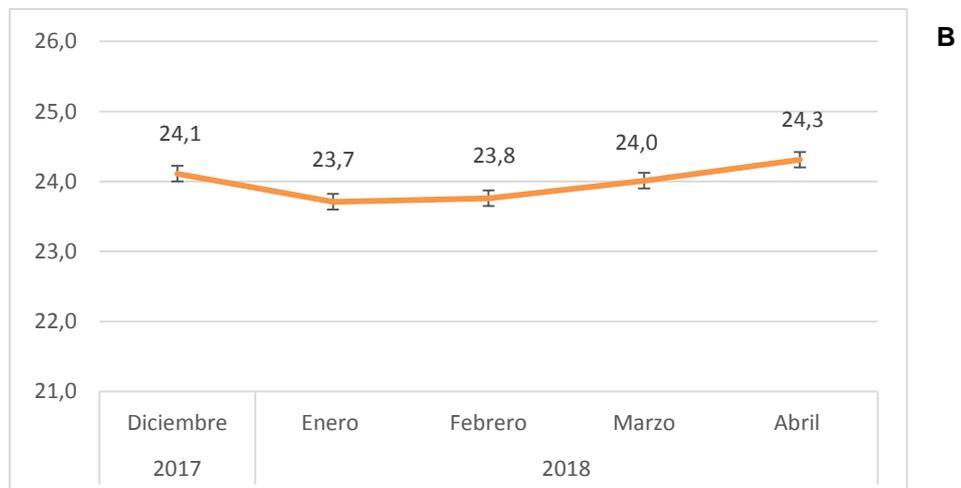
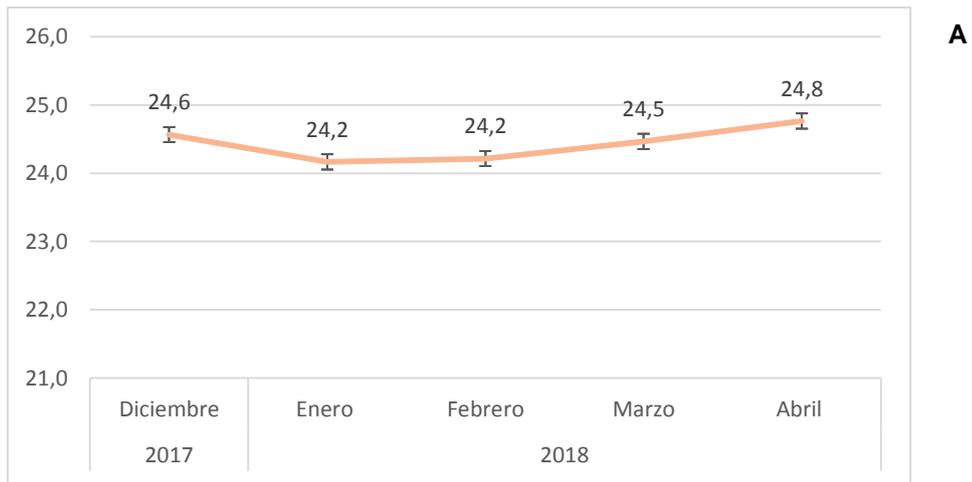


Figura 4. Media de temperatura estimada a partir de los datos históricos de seis años de la estación meteorológica Zaruma durante el periodo de estudio. A. Huásimo; B. Pindal de Vicentino; C. San José de Mercadillo.

b. Precipitación de los sitios.

Para los sitios Huásimo y Pindal de Vicentino se observó un comportamiento similar durante los meses de estudio, en un rango de 85,9 a 433,9 mm; siendo los meses de diciembre, enero y abril los de precipitación menor mientras que febrero y marzo representaron las precipitaciones mayores. Por otra parte, el sitio San José de Mercadillo mostró un rango de 77,4 a 352,6 mm; donde la precipitación menor fue en los meses de diciembre y enero y los meses con precipitación mayor febrero y marzo (Figura 6).

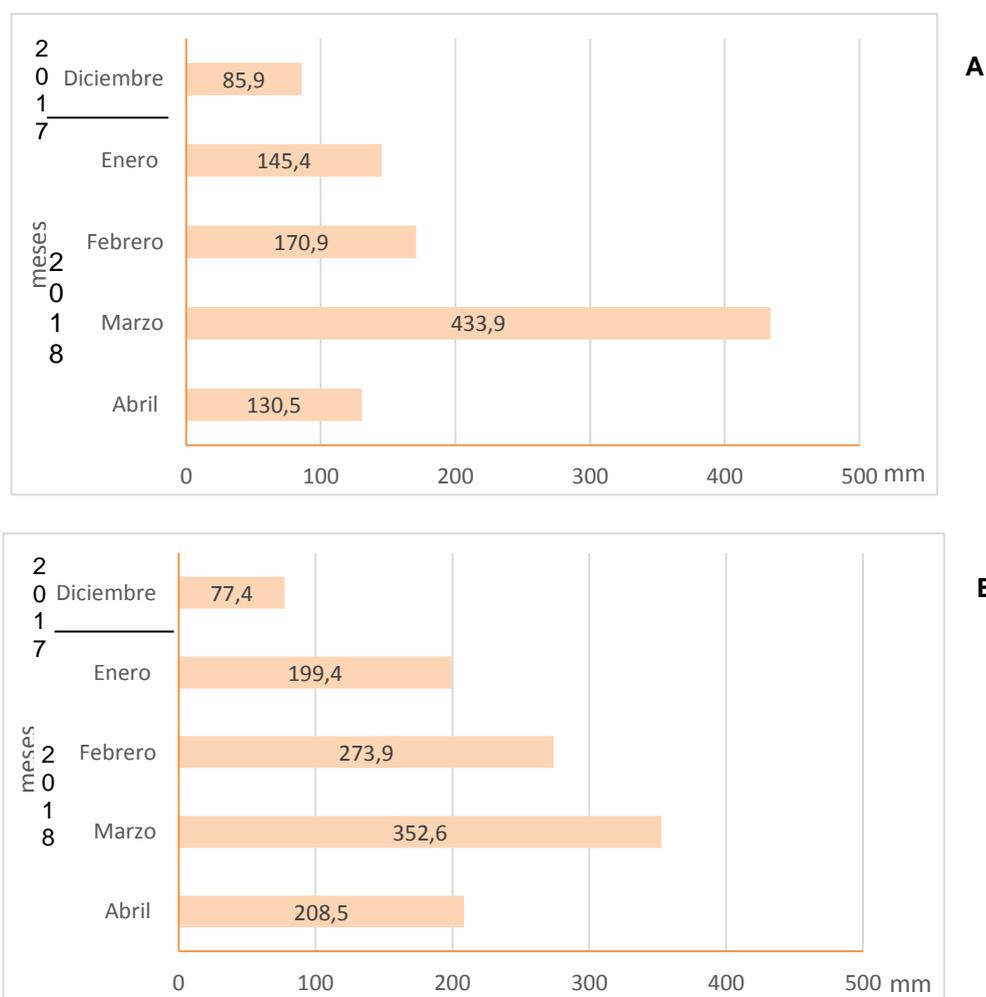


Figura 5. Media de precipitación estimada a partir de los datos históricos de seis años de las estaciones meteorológicas Mercadillo y Alamor durante el periodo de estudio. A. Huásimo y Pindal de Vicentino; B. San José de Mercadillo.

4.3.2. Comparación de las condiciones microclimáticas observadas en la zona cafetalera de Puyango.

Tabla 40. Comparación de las condiciones climáticas y microclimáticas observadas en la zona cafetalera de Puyango en el estudio realizado con las condiciones requeridas según varios autores.

FACTOR	CONDICIONES OBSERVADAS EN EL ESTUDIO			CONDICIONES REQUERIDAS	AUTORES
	Huásimo	Pindal de Vicentino	San José de Mercadillo		
SOMBRA (%)	44,56	53,65	31,27	El grado de cobertura o de sombrío no debe ser inferior al 40 %.	Rainforest Alliance, 2004.
				El grado de cobertura o de sombra debe estar entre el 35 y 45 %, porcentajes de sombra por encima del 45 % afectan negativamente la producción del café.	Farfán, 2007.
				Es recomendable entre el 40 al 60 % de sombra, dependiendo de las condiciones ambientales y de suelo de la región cafetalera.	SCAN, 2014.
				Una sombra moderada de 50 % permite sustentabilidad en zonas cafetaleras subóptimas.	Encalada <i>et al</i> , 2016.
TEMPERATURA INTERNA (°C)	28,27	26,46	23,77	La temperatura óptima para el cultivo de café está entre 18 y 21 °C.	Montoya y Jaramillo, 2016.
				Las temperaturas altas inhiben el crecimiento del café porque a los 24 °C la fotosíntesis decrece y se hace casi imperceptible a los 34 °C, las temperaturas que se alejan de las medias de 16 y 23 °C se hacen menos adecuadas para el café.	Andrade, 2013.

				La temperatura promedio anual favorable para el cafeto se ubica entre los 17 a 23 °C. Temperaturas inferiores a 10 °C., provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes.	CICAFFE, 2011.
HUMEDAD RELATIVA INTERNA (%)	62,86	71,67	75,27	En café arábigo la humedad relativa varía de 70 al 95 %.	Andrade, 2013.
				Niveles superiores al 85 % afecta la calidad física del café oro y de la taza.	Enríquez y Duicela, 2014.
VELOCIDAD DEL VIENTO INTERNO (m s⁻¹)	0,06	0,19	0,04	Una velocidad del viento mayor de 4 m s ⁻¹ (14,4 km h ⁻¹) es perjudicial para el café, puesto que eleva la evaporación, provocando que las hojas se sequen y caigan en forma prematura	Andrade, 2013.
TEMPERATURA ESTIMADA (°C)	24,44	23,98	21,67	La temperatura óptima para el cultivo de cafeto está entre 18 y 21 °C.	Montoya y Jaramillo, 2016.
				Las temperaturas altas inhiben el crecimiento el cafeto porque a los 24 °C la fotosíntesis decrece y se hace casi imperceptible a los 34 °C, las temperaturas que se alejan de las medias de 16 y 23 °C se hacen menos adecuadas para el cafeto.	Andrade, 2013.
				La temperatura promedio anual favorable para el cafeto se ubica entre los 17 a 23 °C. Temperaturas inferiores a 10 °C., provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes.	CICAFFE, 2011.
PRECIPITACIÓN (mm)	966,6	966,6	1.111,8	Los límites bajos para un buen desarrollo de cafeto fluctúan entre 760 y 780 mm, mientras los límites altos varían de 990 a 3 000 mm	Andrade, 2013.
				La precipitación óptima para el cultivo de café arábigo varía de 1 200 a 1 800 mm, distribuidos en nueve meses consecutivos,	Enríquez y Duicela, 2014.

5. DISCUSIÓN.

5.1. Composición y distribución de la vegetación arbórea y arbustiva en los Sistemas Agroforestales.

a. Especies arbóreas y arbustivas presentes.

Los tres pisos altitudinales evaluados fueron diferentes entre sí, sin existir una sola forma de arborizar el cafetal; no obstante, comparten ciertas especies en determinados sitios como Huásimo y Pindal de Vicentino donde se presentó *Carica papaya*; mientras que, en Huásimo y San José de Mercadillo se presentó *Citrus x sinensis* y *Psidium guajava*; en cambio, en Huásimo, Pindal de Vicentino y San José de Mercadillo se presentaron como especies comunes: *Musa paradisiaca* e *Inga edulis*; lo cual se corresponde con la versión del productor de obtener otros productos del sistema a más del café; así lo han señalado varios autores, entre ellos Virginio *et al.* (2014), que demuestran que los Sistemas Agroforestales en base al cultivo de café tienen principalmente como sombra especies frutales propias de la región, lo que contribuye a la conservación de la biodiversidad y al manejo sostenible de la actividad agrícola.

En el caso del género *Inga*, Alegre *et al.* (2014) señalan que *Inga edulis* es una especie utilizada como sombra en Sistemas de Café (*Coffea arabica* L.) ya que producen gran cantidad de hojarasca; igualmente Ávila (2007) afirma que *Inga edulis* es aceptada por los productores porque permite aportar Nitrógeno al suelo y al tener una hoja no muy densa permite que el aire circule más fácilmente y no se mantengan condiciones muy húmedas dentro del cultivo de café y que además, se descompone fácilmente. Así también, los resultados

concuerdan con el estudio realizado en México por López *et al.* (2015), en donde los tipos de sistemas de café que predominaron fueron los de sombra mono específica (solo género *Inga*) y sombra diversificada (una combinación del género *Inga* con árboles frutales para consumo o árboles maderables para su venta). Según Farfán (2007), esta especie crece desde los 0 hasta los 1 800 m s. n. m., por tal razón, se justifica la presencia de esta especie en los sitios de estudio.

La sombra en las plantaciones convencionales es causada principalmente por árboles de *Inga* y la complejidad de la estructura de la vegetación es, por lo tanto, baja (Jezeer y Verweij, 2015), Según Thériez (2015), especies de árboles como *Inga edulis*, e *Inga densiflora*, tienden a disminuir la energía cinética de las gotas, debido posiblemente a su tipo de copa que intercepta más la lluvia y la distribuye a lo largo de las ramas y del tronco.

Adicionalmente, se observaron especies como *Senna spectabilis* con 20 individuos por hectárea en Huásimo, *Erythrina velutina* con 67 individuos por hectárea en Pindal de Vicentino y *Eriobotrya japónica* con 7 individuos por hectárea en San José de Mercadillo. Igualmente Ramírez y Calvo (2003), afirman que las especies fijadoras de nitrógeno y los frutales se consideran los más beneficiosos para incrementar la productividad del café. Lo que corrobora con el estudio realizado en México por López *et al.* (2015), en donde observaron que la mayoría de los productores tienen en sus parcelas árboles nativos, preservando la composición de vegetal nativo.

b. Altura de los árboles y arbustos.

Las especies *Inga edulis* y *Musa paradisiaca* presentaron una variabilidad de

altura en los tres sitios evaluados. Sin embargo, se observaron otras especies como *Psidium guajava* y *Senna spectabilis* en Huásimo; *Erythrina velutina* en Pindal de Vicentino y *Citrus x sinensis* en San José de Mercadillo, por ende la sombra en general para la zona cafetalera no es homogénea.

Los resultados en general concuerdan con el estudio realizado por Aguirre y Aguirre (2014), en especies leñosas y cultivos objetivos para sistemas agroforestales en zonas semiáridas del Sur del Ecuador; en donde los árboles dispersos en cultivos perennes es una práctica muy difundida, las especies que se usan son en unos casos de regeneración natural, que han sido dejadas y cuidadas en el terreno y que presentan variabilidad en su altura; y en otros casos, sembradas por los propietarios con el apoyo de proyectos de desarrollo que trabajan en la zona.

Las especies están sembradas a grandes intervalos y sin orden definido, esta forma de plantación obedece a que se busca que las plantas usen el menor espacio posible, así, en promedio no sobrepasan 50 plantas por hectárea y su altura no uniforme.

c. Diámetro de copa.

De manera general en los tres sitios evaluados se presentó una variabilidad de diámetro de copa en donde las especies en común fueron *Inga edulis* y *Musa paradisiaca*. Indicando por tanto, la no uniformidad de sombra entre los sitios, Frente a ello, Farfán (2014) menciona que en sistemas de café con sombrío, es común observar algunas áreas con muy poca sombra y otras con demasiado sombrío, o que el cultivo en su totalidad presente poco sombrío en su inicio o demasiada sombra en estados avanzados de desarrollo de los árboles, este

hecho está determinado por el nivel de sombra o el porcentaje de cobertura y la distribución de la sombra, la cual depende de la estructura del árbol, de su arquitectura, de la forma y el desarrollo de las copas, la distancias de siembra y del manejo dado a los árboles, entre otros. Este fue el caso de los sistemas estudiados.

En el estudio realizado por Seidel *et al.* (2016), se observó una alta variabilidad del indicador área basal en función del área de sombra en aquellos árboles con 18 años; esta diferencia pudo obedecer a que los árboles se encontraban en un SAF de alta densidad arbórea, lo cual reduce el área de copa por competencia de espacio con los árboles vecinos. Así también, Verma *et al.* (2014) argumentan que las relaciones entre las dimensiones de la copa y del tronco se afectan en relación con la densidad arbórea. Sin embargo, esto resulta contradictorio con lo manifestado por Hummel (2000), quien afirma que la relación entre los diámetros de copa y del tronco no se afectan por la densidad arbórea.

d. Índice de valor de importancia simplificado (IVIs).

Los parámetros de frecuencia relativa y densidad relativa incidieron directamente en la conformación del IVI simplificado, determinando que las especies que alcanzaron los valores mayores de IVIs en el sistema fueron *Musa paradisiaca* en los tres sitios evaluados; *Inga edulis* en Huásimo y Pindal de Vicentino; *Senna spectabilis*, *Carica papaya* y *Acnistus arborescens* en Huásimo; *Erythrina velutina* y *Carica papaya* en Pindal de Vicentino y *Citrus x sinensis* y *Psidium guajava* en San José de Mercadillo, las cuales presentan una distribución no homogénea de especies; concordando con lo manifestado

por Villavicencio y Hernández (2003), lo señalado se debería al grado de disturbio sufrido con la introducción de variadas especies como *Mangifera indica* y *Citrus spp.*

La alta frecuencia y densidad de las especies antes mencionadas en los cafetales puede estar asociada al agropaisaje de la zona, la capacidad de adaptarse a las condiciones de manejo, alta producción de semillas y capacidad de rebrote (Leiva, 2011).

5.2. Influencia del Sistema Agroforestal café en la variación de las condiciones microclimáticas.

a. Sombra.

En la zona en general se observó un porcentaje de sombra de 43,16 %, en un rango de 31,27 a 53,65 %, con diferencias entre parcelas, lo cual conlleva a la no uniformidad de este indicador; al respecto Righi *et al.* (2008) afirman que las plantas de café toleran una reducción de la radiación del 50 % sin una caída en el crecimiento e índice de área foliar. Por su parte, Staver *et al.* (2001) señalan que la producción de café se maximiza con sombras entre 35 y 65 %. Además, Montagnini *et al.* (2015) concluyen que en Turrialba los valores intermedios entre el 45 % y el 54 % de sombra permiten los mejores niveles de productividad de café.

En estudios realizados por Zapata *et al.* (2017), se encontró que la sombra en los cafetales disminuye la transpiración del café, pero cuando es superior al 40 % reduce la fotosíntesis neta y, por ende, se ve afectada la productividad; en cambio, Farfán y Mestre (2004) mencionan que, bajo sombrero de *Inga sp.* la máxima producción de café pergamino seco ocurrió con un nivel de sombra del 45 %. Sin embargo, según Chaves *et al.* (2008) la fotosíntesis tiende a ser

mayor bajo sombra, en comparación con cafetales a pleno sol, lo que se explica por el hecho de que las hojas del cafeto están sujetas a foto-inhibición y a foto-respiración en condiciones de alta radiación.

Los cafetales de la zona de estudio, según el nivel de sombra observadas estarían beneficiándose de varias formas, entre ellas el aumento del área individual de las hojas y la velocidad a la que las hojas se renuevan tiende a ser menor en comparación con pleno sol (López *et al.*, 2012). Los cafetales bajo sombra mantienen sus hojas durante el verano y comienzan el proceso de revestimiento con el inicio de las lluvias, mientras que los cafetales a pleno sol, pierden rápidamente sus hojas en el verano y comienzan el proceso de revestimiento aún antes de las lluvias (Guharay *et al.*, 2000).

En cuanto a la fructificación, varios autores coinciden que las producciones son menores en sistemas sombreados con respecto a los de pleno sol; sin embargo, se afirma que bajo sombra se obtienen mayores porcentajes de frutos de buen tamaño y calidad para la exportación, además de frutos más sanos, libres de daños de sol (Avelino y Rivas, 2013). Lo anteriormente señalado fundamenta el hecho de que en esta zona cafetalera como en otras zonas de la provincia se produzca con sombra, la que posibilitará la sostenibilidad de la producción y del mercado. Los datos observados indicarían que en general los cafetales se encuentran con un porcentaje adecuado de sombra; sin embargo, como se ha observado hasta ahora, la falta de uniformidad se constituye en una limitante fuerte para garantizar un buen manejo del cafetal y por ende lograr una mayor producción.

b. Temperatura.

En promedio, la temperatura interna en la zona fue de 26,17 °C, en un rango de

23,77 a 28,27 °C. Según CICAPE (2011), la temperatura promedio anual favorable para el café se ubica entre los 17 a 23 °C; sin embargo, en los tres sitios evaluados las medias de temperatura interna estuvieron por encima de este rango; cabe destacar que estos datos corresponden a la temperatura momentánea y durante el día, generalmente de 09h00 a 16h00.

Por otro lado, el promedio de la temperatura estimada a partir de la Estación fue de 23,36 °C, en un rango de 21,67 a 24,44 °C. Algunos autores, como Wilson y Wild (1991) afirman que, bajo la copa, la temperatura ambiental se puede reducir hasta en 9 °C. De acuerdo con López (2004), en plantas C3, como el café, un aumento en la temperatura superior a 28 °C inhibe la actividad enzimática de rubisco, lo que repercutiría negativamente en la tasa de asimilación de CO₂. Además, las temperaturas altas del aire (máximos de temperatura) de las hojas de los cafetos y del suelo, disminuyen dentro del sistema bajo sombra, lo mismo que el rocío; mientras la humedad del aire (humedad relativa) tiende a aumentar (Lin 2007; López *et al.*, 2012) y junto con las altas temperaturas puede causar daños a las plantas de café, principalmente durante las etapas de floración y cosecha (Villavicencio, 2013).

Por otro lado, en la zona cafetalera la diferencia de temperatura en promedio fue de -0,39 °C, en un rango de -0,70 a 0,07 °C, en el cual, en general la temperatura es menor dentro del sistema que a pleno sol. En estudios realizados en plantaciones bajo sombra en San Martín por Jezeer y Verweij (2015), en donde efectivamente observaron que la temperatura durante el día disminuye y que la humedad del aire aumenta con los niveles crecientes de sombra. En este sentido cabe destacar que los árboles de sombra ayudan a mantener más frescos los arbustos de café durante el día y más calientes en la noche, lo cual

es esencial para la productividad y la calidad del café (Lin, 2010).

c. Humedad relativa.

En general en la zona Puyango se constató un porcentaje de humedad relativa interna de 69,93 %, en un rango de 62,86 a 75,27 %. Andrade (2013), menciona que en café arábigo es recomendable una humedad relativa entre 70 y 95 %. En el sitio Huásimo se observó un valor menor de 62,86 %, a diferencia de Pindal de Vicentino y San José de Mercadillo que presentaron valores dentro del rango óptimo con 71,67 y 75,27 % respectivamente. La humedad relativa es influenciada fuertemente por la altitud (Ocampo *et al.*, 2017) y es la relación porcentual entre la humedad de un espacio y la cantidad que ese volumen podría contener si estuviera saturado (Ocampo *et al.*, 2014).

Por otra parte, en la zona cafetalera, el promedio de la diferencia de humedad relativa fue de 2,82 %, en un rango de 2,05 a 3,90 %, lo cual indica que dentro del sistema la humedad relativa aumenta con respecto a pleno sol. En contraste con el estudio realizado en Cundinamarca por Nieto (2016) se observaron valores en promedio de humedad relativa frente a la sombra, indicando que fincas con sombrero medio y bajo presentaron una humedad relativa mayor con 69,4 y 69,0 % respectivamente, mientras que en fincas de sombrero alto un valor menor con 64,5 %, en los meses lluviosos de transición y secos. Por otra parte, en el estudio realizado por Ocampo *et al.* (2017) en Colombia, la humedad relativa varió entre el 74 y el 85 %, con un promedio de 78,86 %; así mismo, refiere que en los ecotopos cafeteros, la humedad relativa promedio anual multianual oscila entre el 75,3 y el 81,5 %, con valores medios de 78,2 % y una desviación estándar de 0,81 %.

Por otro lado la sombra regula la humedad y la temperatura dentro del cultivo,

reduce la evapotranspiración de árboles y el cultivo, disminuye el daño causado por el granizo y la lluvia (Farfán, 2004) por la disminución del impacto bajo el dosel (Avelino y Rivas, 2013; y Thériez, 2015).

d. Precipitación.

La precipitación de la zona en promedio fue de 1 015 mm en un rango de 966,6 a 1 111,8 mm, tales valores se encuentran dentro de los rangos óptimos planteados por ciertos autores como Andrade (2013), quien señala que los límites bajos para un buen desarrollo de café fluctúan entre 760 y 780 mm, mientras los límites altos varían de 990 a 3 000 mm. Bharati *et al.* (2002), Li (2003) y Rodríguez *et al.* (2001), afirman que el agua disponible en el suelo es controlada por la lluvia, por los cambios en la temperatura, por las características del suelo y por los procesos de infiltración. Jaramillo (2003) y Villegas (2004), indican que parte de la precipitación incidente en un área determinada es interceptada por la vegetación, lo que provoca una disminución de la cantidad de agua que llega al suelo; esta interceptación está relacionada con la precipitación total, la densidad de la cobertura y la estratificación de los árboles entre otros aspectos. Por tanto, según Cazco (2015) en sistemas agroforestales de café bajo sombra, la pérdida de suelo depende entre otros factores de la cantidad de lluvia y escurrimiento superficial.

e. Velocidad del viento.

El promedio de la diferencia de velocidad del viento entre el sistema abierto y el cafetal para la zona fue de $-0,19 \text{ m s}^{-1}$, en un rango de $-0,16$ a $-0,26 \text{ m s}^{-1}$; así mismo, la velocidad del viento al interior del sistema fue de $0,10 \text{ m s}^{-1}$, en un rango de $0,04$ a $0,19 \text{ m s}^{-1}$, lo cual según la escala de Beaufort corresponde a un

viento calmo; mientras que a lo externo fue de $0,29 \text{ m s}^{-1}$, en un rango de $0,20$ a $0,45 \text{ m s}^{-1}$, mismo que según la escala de Beaufort pertenece a un viento calmo y ventolina respectivamente.

Según Jaramillo (2005), la vegetación tiene una fuerte influencia sobre la velocidad de viento, el componente turbulento del aire dentro de las comunidades vegetales depende de la forma del árbol, del índice del área foliar, de la distancia de siembra y las prácticas de cultivo como el sombrero.

Así también, la velocidad del viento aumenta con la altura en forma exponencial debido a la disminución de la rugosidad de la superficie y a la menor fricción, la velocidad del viento en el interior del cultivo también decrece exponencialmente (Jaramillo, 2005); además, la velocidad del viento, contrario a la humedad relativa, se reduce debido a que es interceptada por los árboles, el estudio realizado por Bahamonde *et al.* (2011) corrobora tal información, ya que señalan que la velocidad del viento medida en dos clases de sitios dentro del bosque con respecto al lugar sin árboles, en ambos sitios presentaron variaciones de reducción con una magnitud importante y se debería principalmente a que la presencia del bosque produce un efecto de rugosidad que detiene al viento. La reducción de la velocidad del viento en los sistemas agroforestales, también permite proteger las hojas del café contra daños mecánicos y reducir la entrada de hongos oportunistas (Rapidel *et al.*, 2015).

5.3. Relaciones entre las condiciones del microclima en el SAF y los requerimientos del café.

En consecuencia, en el estudio realizado, ciertos indicadores del sistema estuvieron dentro de los requerimientos óptimos para el desarrollo del café; el

porcentaje de sombra estuvo en general dentro de los rangos óptimos para el café señalado por varios autores (SCAN, 2014; Encalada, 2016), a excepción del sitio San José de Mercadillo que presentó un valor relativamente bajo; por otra parte, los valores de la temperatura del aire interno al SAF estuvieron superiores a los indicados como óptimos por Andrade (2013) y CICAFFE (2011); sin embargo, no fueron extremos y debe considerarse que los datos obedecen a la medición de un momento y no de las 24 horas del día. Por otra parte, el estudio de la temperatura de cada sitio utilizando la estación Zaruma y estimada con el coeficiente altotérmico, indicó coincidencia con el óptimo; mientras que, los valores de humedad relativa en general estuvieron dentro del rango óptimo para el café, a excepción del sitio Huásimo donde se presentó un valor inferior al óptimo indicado por Enríquez y Duicela (2014), sin llegar a ser perjudicial para el cultivo; finalmente, los valores de velocidad del viento fueron bajos para los tres sitios, sin causar daños al cultivo de café, correspondiendo al valor óptimo que el café necesita.

6. CONCLUSIONES.

Al finalizar el análisis de los resultados de la presente investigación, se establecieron las siguientes conclusiones:

- ✓ La riqueza evaluada en la zona cafetalera Puyango fue de 15 familias, 18 géneros y 25 especies vegetales para sombra, de las cuales las más comunes en todos los sitios fueron *Musa paradisiaca* e *Inga edulis*.
- ✓ Las especies con IVIs mayor fueron *Musa paradisiaca*, *Senna spectabilis* e *Inga edulis*, en Huásimo; *Musa paradisiaca*, *Inga edulis* y *Erythrina velutina* en Pindal de Vicentino; *Musa paradisiaca*, *Citrus x sinensis* e *Inga edulis* en San José de Mercadillo, determinando que la biodiversidad existente en los árboles y arbustos de sombra no es homogénea.
- ✓ No se presentó uniformidad de los indicadores DAP, altura y diámetro de copa entre individuos dentro de la misma especie en los tres sitios, lo que determina que no existió un plan para el establecimiento de la sombra y por ende se dificultaría su manejo.
- ✓ La sombra no presentó uniformidad en las diferentes parcelas, con variaciones dentro de un mismo sitio y entre ellos de hasta 22 %, lo cual hace que existan parcelas que se encuentran fuera de los rangos óptimos.
- ✓ Los indicadores del microclima como temperatura, humedad relativa y viento presentaron modificaciones dentro de los SAF, respecto a las condiciones de pleno sol.
- ✓ La temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento fue diversa entre las evaluaciones, parcelas y sitios; por tanto, no existió una coincidencia total con los rangos óptimos señalados por varios autores.

7. RECOMENDACIONES.

Sobre la base de la caracterización del sistema agroforestal de la zona cafetalera Puyango, se establecen las siguientes recomendaciones:

- ✓ Investigar qué tipo de combinación es más adecuada para obtener mejores rendimientos, tomando en cuenta las especies con mayor IVIs que se determinaron en el estudio realizado.
- ✓ Utilizar varias especies arbóreas y arbustivas en asocio con diferentes variedades de café para así obtener diversificación de las mismas y suplir los requerimientos del mercado.
- ✓ Realizar estudios similares en época seca de julio a diciembre, ya que para la presente evaluación se consideró la época de lluvias.

8. BIBLIOGRAFÍA.

Abarca, J. y Armendáriz, D. 2014. Estudio de la cadena productiva de café de altura en la Parroquia La Carolina, Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura. Tesis de Economía. Universidad Central del Ecuador, 143 p.

Aguirre, Z. y Aguirre, C. 2014. Especies leñosas y cultivos objetivos para sistemas agroforestales en zonas semiáridas del sur del Ecuador. Revista Bosques. Latitud Cero, vol. 4, pp. 21-30.

Alulima, M. 2012. Alternativas agroecológicas para el manejo del café (*Coffea arabica*). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Cuenca, pp. 15-24.

Álvarez, O., y Montaña, T. 2015. La radiación solar global en la región sur de Ecuador. Aproximación a partir de modelos teóricos. Tecnológica ESPOL – RTE, vol. 28, no. 4, pp. 1-16.

Alegre, J., García, S., Guerra, P., Lao, C. y Vega, R. 2014. Manual la materia orgánica en los Sistemas Agroforestales. Consultado el 08 de junio de 2018, en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2014-MANUALMOENSAF.pdf>

Andrade, H., Segura, M., Canal, D., Gómez, M., Marín, M. del P., Sierra, E., Ortiz, I., Alvarado, J. y Feria, M. 2013. Estrategias de adaptación al cambio climático en sistemas de producción agrícola y forestal en el departamento del Tolima. Cultivos Tropicales (Proecut). Universidad Del Tolima, 100 p.

Andrade, E. 2013. Buenas prácticas agrícolas para café. AGROCALIDAD. MAGAP. Consultado el 19 de diciembre de 2017, en: <http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/dia/guia-cafe.pdf>

Arcila, J. 2007. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En: Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L. e Hincapié, E. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. 1ra Edición. Editorial de Cenicafe y Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, pp. 22-60. Chinchiná Colombia.

Augstburger, F., Berger, J., Censkowsky, U., Heid, P., Milz, J. y Streit, C. 2000. Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico, guía de cultivo de café. Asociación Naturland, 21 p.

Ávila, G. 2007. Análisis de Contexto Socioeconómico y Agroforestal. Conservación Internacional Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica, 112 p.

Avelino, J. y Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del cafeto. Consultado el 21 de mayo de 2018, en: <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal01071036>, 47 p.

Bahamonde, H., Peri, P., Martínez, G. y Lencinas M. 2011. Variaciones microclimáticas en bosques primarios y bajo uso silvopastoril de *Nothofagus antarctica* en dos Clases de Sitio en Patagonia Sur. 1er. Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Aspectos relacionados al componente forestal arbóreo, forestales.

Bharati, L., Lee K. y Isenhardt, T. 2002. Soil-water infiltration under crops, pasture and established riparian buffer in Midwestern USA. *Agroforestry Systems*, vol. 56, no. 3, pp. 249-257.

Cazco, K. 2015. Efectos del tipo de sombra en la escorrentía y erosión en el sistema agroforestal café en la microcuenca Santa Inés, Honduras. Tesis de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 20 p.

CENICAFE. 2017. Guía para la caracterización de las variedades de café: Claves para su identificación. Consultado el 14 de diciembre de 2017, en: http://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/avances_tecnicos

Chaves, A., Ten-Caten, A., Ribeiro, A., Pinheiro, H. y DaMatta, F. 2008. Seasonal changes in photoprotective mechanisms of leaves from shaded and unshaded field-grown coffee (*Coffea arabica* L.) trees. *Trees - Structure and Function*, vol. 22, no. 3, pp. 351-361.

Chablé, R., Palma, D., Vázquez, C., Ruiz, O., Mariaca, R. y Ascensio, J. 2015. Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 2, no. 4, pp. 23-39.

Cirilo, A. 2004. Fecha de siembra y rendimiento en maíz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, vol. 4, no. 6, pp. 122-127.

CICAFE. 2011. Guía Técnica para el Cultivo del Café. Instituto del Café De Costa Rica. Centro de Investigaciones en Café, Heredia-Costa Rica, 72 p.

CINFA (Centro Integrado de Geomática Ambiental UNL). 2018. Laboratorio de Geomática. Universidad Nacional de Loja, Loja - Ecuador.

COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional). 2012. El Sector Cafetalero en el Ecuador, Diagnóstico, 55 p. Consultado el 19 de diciembre de 2017, en: <http://www.cofenac.org/wp-content/uploads/2010/09/Diagn%C3%B3stico-Sector-Caf%C3%A9-Ecu2011.pdf>

COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional), y MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca). 2014. Sistema nacional de innovación tecnológica cafetalera, Quito, Ecuador, 46 p.

Columbus, M. y Pulgarín, G. 2002. Proyecto de producción de café orgánico para exportación como una nueva alternativa comercial para Ecuador. Tesis de Economista con mención en gestión empresarial, especialización finanzas. Escuela Superior Politécnica Del Litoral, pp. 44-46.

DaMatta, F. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: A review. *Field Crops Research*, vol. 86, no. 2-3, pp. 99-114.

Delgado, P., Larco, A., García, C., Alcívar, R., Chilán, W. y Patiño, M. 2002. Café en Ecuador: Manejo de la Broca del Fruto (*Hypothenemus hampei* Ferrari). ANACAFÉ, 18 p.

Elosegi, A. y Sabater, S. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. España: Rubes. SciELO, pp. 1-20.

Enríquez, G. y Duicela, L. 2014. Guía técnica para la Producción y poscosecha del café arábigo. 1ra Edición. Editorial COFENAC y SICA. Portoviejo – Ecuador, pp. 4-50.

Encalada, M., Soto, F. y Morales, D. 2016. Crecimiento de posturas de cafeto (*Coffea arabica* L.) con cuatro niveles de sombra en dos condiciones edafoclimáticas de Ecuador. *Cultivos Tropicales*, vol. 37, no. 2, pp. 72-78.

ESPANICA. 2015. Variedades del café. Consultado el 25 de diciembre de 2017, en: <https://espanica.org/cafe-de-nicaragua/variedades/>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 2005. Consultado el 19 de diciembre de 2017, en: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. Producción/Rendimiento de Café, verde en Mundo 1994-2016. Consultado el 28 de mayo de 2018, en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>

Farfán, F. 2016. Sistemas Agroforestales para establecer en la finca cafetera. *Cenicafé*, pp. 1-29.

Farfán, F. 2014. Agroforestería y Sistemas Agroforestales con Café. Colombia, 342 p, Consultado el 20 de junio de 2018, en: https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf

Farfán, F. y Mestre, A. 2004. Manejo del sombrío y fertilización del café en la zona central Colombiana. *Avances Técnicos CENICAFÉ*, Diciembre. Consultado el 29 de mayo de 2018, en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0330.pdf>

Farfán, F. 2004. Producción de café en sistemas agroforestales, en: Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L., e Hincapié, E. 2004. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2014, 342 p.

Farfán, F. 2007. Producción de café en sistemas agroforestales, en: Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L., e Hincapié, E. 2004. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná (Colombia), Cenicafé-FNC, 2014, pp. 161-200.

FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2015. Panorama Agroalimentario, Café. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial, Informe a agosto del 2015. México.

Flórez, C. 2017. Guía para la caracterización de las variedades de café: claves para su identificación. Cenicafé, pp. 1-12.

Franck, N. y Vaast, P. 2009. Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. *Trees - Structure and Function*, vol. 23, no. 4, pp. 761-769.

G.A.D.M. PUYANGO (Gobierno Autónomo Descentralizado Del Cantón Puyango). 2014. Plan De Desarrollo y Ordenamiento Territorial Del Cantón Puyango 2012-2022 - Actualización 2014. Consultado el 24 de marzo de 2018, en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/PDOTPuyangoActualizaci%C3%B3nDiagn%C3%B3stico2014_14-11-2014.pdf

Gómez, F., Roupsard, O., Le Maire, G., Taugourdeau, S., Pérez, A., Van Oijen, Vaast, P., Rapidel, B., Harmand, J., Voltz, M., Bonnefond, J., Imbach, P. y Moussa, R. 2011. Modelling the hydrological behaviour of a coffee agroforestry basin in Costa Rica. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 15, no. 1, pp. 369-392.

Guhl, A. 2009. Café, bosques y certificación agrícola en Aratoca, Santander. *Revista de Estudios Sociales*, vol. 32, pp. 114-125.

Guharay, F., Monterrey, J., Monterroso, D. y Staver, M. 2000. Manejo Integrado de Plagas en el cultivo de Café. CATIE Nicaragua, serie técnica, manual técnico, vol. 44, pp.18-21.

Hummel, S. 2000. Height, diameter and crown dimensions of *Cordia alliodora* associated with tree density. *Forest Ecology and Management*, pp. 31-40.

IPCC. 2013. Summary for Policymakers. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 33 p.

Jaramillo, C., Silva, R., Prieto, H., Cecon, P. y Pereira, M. 2010. Producción y crecimiento vegetativo de cafetales bajo fertilización y niveles de sombra.

Scientia Agricola, vol. 67, no. 6, pp. 639-645.

Jaramillo, A. 2005. Clima Andino y café en Colombia. CENICAFÉ. Chinchiná, Caldas, Colombia, 196 p.

Jaramillo, A. 2003. La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. Cenicafé, vol. 54, no. 2, pp.134-144.

Jerez, E. y Martín, R. 2012. Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) Spunta. Cultivos Tropicales, vol. 33, no. 4, pp. 53-58.

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.

Leiva, I. 2017. Análisis de oferta y demanda del café en la provincia de El Oro y Ecuador en los últimos ocho años. Trabajo de titulación. Universidad Técnica de Machala, 16 p.

Leiva, E. 2011. Efectos del marco político y legislativo en el aprovechamiento de la madera de sistemas agroforestales del Municipio de El Cuá, Nicaragua. Tesis de Magister Scientiae Agroforestería Tropical. Turrialba, Costa Rica.

Li, X. 2003. Gravel–sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. Catena, vol. 52, no. 21, pp. 105-127.

Lin, B. 2007. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 144, pp. 85-94.

Lin, B. 2010. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 150, no. 4, pp. 510-518.

López, J. 2004. Comportamiento del intercambio gaseoso de *Coffea arabica* L. en tres altitudes de la zona cafetera central colombiana. Cenicafé. (Colombia), vol. 55, no. 3, pp. 202-212.

López, D., Virginio, E. y Avelino, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions Crop Protection, vol. 38, pp. 21-29.

López, M. 2013. Estudio de factibilidad para la importación de maquinaria y equipos especializados para la producción y procesamiento de café en la Provincia de Loja. Tesis de Ingeniera en negocios Internacionales. Universidad Internacional del Ecuador - Sede Loja, pp. 1-190.

López, F., Martínez, Y. y Villar, G. 2015. Caracterización del sistema

agroforestal de café orgánico de los productores asociados a Unión Ejidos de la Selva. Memorias del V congreso latinoamericano de agroecología. Consultado el 08 de junio de 2017, en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/53270/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1

Maldonado, R., Rodríguez, G., Enríquez, J., Carrillo, J. y Pérez, M. 2014. Efecto De La Cobertura Arbórea En Sistemas De Café Orgánico En El Sur De Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, vol. 1, no. 1, pp. 12-19.

Martínez, R., Tuya, L., Martínez, M., Pérez, A. y Cánovas, A. 2009. El coeficiente de correlación de los rangos de spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, vol. 8, no. 2.

Meylan, L. 2012. Design of cropping systems combining production and ecosystem services: developing a methodology combining numerical modeling and participation of farmers. These le grade de Docteur de Sciences Agronomiques. Montpellier Supagro. Costa Rica, 125 p.

Monroig, M. 2005. Morfología Del Cafeto. Consultado el 23 de diciembre de 2017, en: <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id53.htm>

Montoya, E. y Jaramillo, Á. 2016. Efecto de la temperatura en la producción de café. *Cenicafé*, vol. 67, no. 2, 63 p.

Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H. y Eibl, B. 2015. *Sistemas Agroforestales; Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. 1ra Edición. Editorial: Cali, CO: CIPAV; Turrialba, CR: CATIE, 454 p.

Mora, E. 1984. Normas para la investigación silvicultural de especies para leña. Costa Rica: AGRINTER K10.

Muñoz, J., Erazo, S. y Armijos. D. 2014. Composición florística y estructura del bosque seco de la quinta experimental “El Chilco” en el suroccidente del Ecuador. *CEDAMAZ*, vol. 4, no. 1, pp. 53-61.

Nieto, Z. 2016. Comportamiento ecofisiológico de café variedad castillo bajo tres niveles de sombrío en el municipio de Tibacuy, Cundinamarca. Tesis de Magister en Agroforestería Tropical. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales –UDCA, 62 p.

Ocampo, O., Vélez, J. y Londoño, A. 2014. Análisis de vulnerabilidad hídrica de la cuenca del río Chinchiná. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

Ocampo, O., Castañeda, K. y Vélez, J. 2017. Caracterización de los ecotopos cafeteros colombianos en el Triángulo del Café. *Revista Perspectiva*

Geográfica, vol. 22, no. 1, pp. 89-108.

OIC (Organización Internacional del Café). 2016. Informe del mercado del café, febrero 2016. Consultado el 11 de diciembre de 2017, en: <http://www.ico.org/documents/cy2015-16/cmr-0216-c.pdf>

OIC (Organización Internacional del Café). 2017. World coffee consumption. Consultado el 21 de diciembre de 2017, en: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

OIC (Organización Internacional del Café). 2018. Informe del mercado de café: estadísticas comerciales-marzo 2018. Consultado el 11 de diciembre de 2017, en: <http://www.ico.org/>

Ortega, J. 2003. Análisis sectorial del café. Apuntes de economía, dirección general de estudios, pp. 23-24.

Pauli, N., Barrios, E., Conacher, A. y Oberthür, T. 2011. Soil macrofauna in agricultural landscapes dominated by the Quesungual Slash-and-Mulch Agroforestry System, western Honduras, vol. 47, pp. 119-132.

Pérez, H. 2005. Características de las especies forrajeras adaptadas a las condiciones del Noroeste del país. Consultado el 26 de diciembre de 2017 en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/68-caforra.pdf

Pompelli, M., Martins, S., Antunes, W., Chaves, A. y DaMatta, F. 2010. Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and light availabilities in winter conditions. *Journal of Plant Physiology*, vol. 167, no. 13, pp. 1052-1060.

Ponce, L., Orellana, K. D. y Acuña, I. 2016. Diagnóstico y propuesta de un sistema de innovación tecnológica cafetalera en Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, vol. 4, no. 2, pp. 120-129.

PRO-ECUADOR. 2016. Boletín de Análisis Mercados Internacionales. Consultado el 15 de diciembre de 2017, en <http://www.proecuador.gob.ec/exportadores/sectores/cafe/>

Rainforest Alliance. 2004. New York. Estados Unidos. Estándares para agricultura sostenible. Módulo de estándares adicionales para café. Certificación Rainforest Alliance, Versión 2004. Red de Agricultura Sostenible, 41 p.

Ramírez, E. y Calvo, J. 2003. Caracterización de los sistemas agroforestales con café en el Área de Amortiguamiento de la Reserva de Biosfera La Amistad, Pejibaye de Jiménez, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, vol. 10, no 37-38.

Rapidel, B., Allinne, C., Cerdan, C., Meylan L., Virginio E. y Avelino J. 2015. In: Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., y Eibl B. (Eds.). *Sistemas Agroforestales: Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales*. Colombia: CATIE, pp. 5-20. (Serie técnica. Informe técnico CATIE, 402 p.).

Righi, C., Lunz, A., Bernardes, M., Pereira, C., Dourado, D. y Favarin, J. 2008. Radiation availability in agroforestry system of coffee and rubber trees. In *Advances in agroforestry; toward agro- forestry design: an ecological approach*. Springer, pp. 249-327.

Rodríguez, I., Porporato, A., Laio, F. y Ridolfi, L. 2001. Plants in water-controlled ecosystems: Active role in hydrologic processes and response to water stress scope and general outline. *Advances in Water Resources*, vol. 24, no. 7, pp. 695-705.

Rodríguez, D. 2015. Análisis del gradiente térmico en las vertientes este y oeste de la Isla de La Palma. Tesis de grado en Geografía y ordenación del territorio. Universidad de La Laguna, 44 p.

Rojas, F., Canessa, R. y Ramírez, J. 2005. Cafetales arbolados. *Revista Forestal*, vol. 2, no. 4, pp. 1-6.

Rojas, Á., Hartman, K. y Almonacid, R. 2012. El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. *Ambiente y Desarrollo*, vol. 16, no. 30, pp. 93-104.

Rubiano, J., Rincón, M. y Catro, F. 2014. Identificación de áreas potenciales para la implementación del sistema agroforestal Quesungual en el Valle del Cauca. *Perspectiva Geográfica*, vol. 19, no. 2, pp. 201-218.

Salgado, J. 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales con café. En: Detlefsen, G. y Somarriba, E. 2012. *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica*. 1ra Edición. Editorial CATIE. Turrialba, Costa Rica, pp. 145-160.

Santiana, G. 2013. Proyecto de factibilidad para creación de una microempresa dedicada a la producción de café y comercialización de café molido lojano en la ciudad de Quito. Tesis de Ingeniero Comercial. Universidad Politecnica Salesiana Sede Quito, pp. 1-49.

Santaella, W. 2013. Modelos espaciales de la dinámica de la vegetación en escenarios de cambio climático en el «Timberline» selva nublada - paramo de la vertiente norte de la Sierra Nevada de Mérida (Venezuela); escenario B1 y situación constante. *Revista de Teledetección*, vol. 39, pp. 63-82.

SCAN (Plataforma Nacional de Café Sostenible). 2014. La regulación de la

sombra “Una alternativa para hacer el cafetal sostenible”. Consultado el 10 de abril de 2018, en: <http://scanprogram.org/wp-content/uploads/2012/08/Doc-2-Regulacion-de-la-sombra-Full.pdf>

Seidel, D., Ruzicka, K. y Puettmann, K. 2016. Canopy gaps affect the shape of Douglas-fir crowns in the western Cascades, Oregon. *Forest Ecology and Management*, pp. 31-38.

Sisalima, S. 2011. Ruta del café y desarrollo agroturístico en el Cantón Puyango-Provincia de Loja. Tesis de Ingeniera en Turismo. Universidad de Cuenca, 310 p.

Solórzano, N. y Querales, D. 2010. Crecimiento y desarrollo del café (*Coffea arabica*), bajo la sombra de cinco especies arbóreas. *Revista Forestal Latinoamericana*, pp. 61-80.

Soto, L., Osuna, E. y Báez, S. 2012. Modelos de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays* L.) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith). *Agrociencia*, vol. 46, no. 4, pp. 399-410.

Staver, C., Guharay, F., Monterroso, D. y Muschler, R. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems*, vol. 53, no. 2, pp. 151-170.

Suatunce, P., Díaz, G. y García, L. 2009. Evaluación de cuatro especies forestales asociadas con café (*Coffea arabica* L.) y en monocultivo en el Litoral Ecuatoriano. *Ciencia y Tecnología*, vol. 2, no. 2, pp. 29-34.

Taiz, y Zeiger. 2006. *Fisiología Vegetal*. 3ra Edición. Editorial III. Titol. IV. Serie, 690 p. Castellón de la Plana España.

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 voluntaria. CIRAD, 32 p.

Verma, N., Lamb, D., Reid, N. y Wilson, B. 2014. An allometric model for estimating DBH of isolated and clustered Eucalyptus trees from measurements of crown projection area. *Forest Ecology and Management*, pp. 125-132.

Villavicencio, E. 2013. Caracterización agroforestal en sistemas de café tradicional y rústico, en San Miguel, Veracruz, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, vol. 19, no. 1, pp. 67-80.

Villavicencio, L. y Hernández, J. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*, vol. 37, pp. 413-423.

Villegas, J. 2004. Análisis del conocimiento en la relación agua suelo vegetación para el departamento de Antioquia. Revista EIA, vol. 1, pp. 73-79.

Virginio, E., Caicedo, C. y Astorga, C. 2014. Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. Consultado el 08 de junio de 2018, en:file:///C:/Users/Usuario/Downloads/AgrofSostAmazoniaEcuador32014.pdf

Waller, J., Bigger, M. y Hillocks, R. 2007. Coffee pests, diseases and their Management. Centro de Agricultura y Biosciences International CABI, 437 p.

Wilson, J. y Wild, D. 1991. Improvement of nitrogen nutrition and grass growth under shading. In: Shelton, H.M.; Stur, W.W. (Eds.) Forages in plantations crops. ACIAR Proc, vol. 32, pp. 77-82.

Zapata, P., Andrade, H. y Nieto, Z. 2017. Comportamiento ecofisiológico del cafeto (*Coffea arabica* L.) CV. Castillo en sistemas agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, vol. 20, no. 1, pp. 61-70.

9. ANEXOS.

Anexo 1. Medias mensuales de temperatura a partir de los datos históricos de seis años de la estación meteorológica Zaruma. A. Temperatura máxima media; B. Temperatura mínima media.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

A

Temperatura Máxima Media (°C)

 SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: ZARUMA

CODIGO: M0180

PERIODO: 2010 - 2015 LATITUD: 3G 41' 51.1" S

LONGITUD: 79G 36' 41.6" W ELEVACION: 1100.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2010	29.9	28.8	29.3	29.5	29.1	29.4	29.6	30.8	31.7	32.2	32.1	29.4	361.8	30.1
2011	27.8	28.3	28.9	28.1	29.2	28.6	28.4	30.9	31.9	31.6	30.9	28.1	352.7	29.3
2013	26.6		28.1						32.4	31.5	32.8	30.3		
2014	26.9	26.6	27.7	28.5	28.0	28.6	30.3	30.9	31.6	31.6	31.3	29.6	351.6	29.3
2015	28.2	28.3	27.7	28.7	28.4	29.0	29.7	30.7						
media	27.8	28.0	28.3	28.7	28.6	28.9	29.5	30.8	31.9	31.7	31.7	29.3	355.5	29.6
minima	26.6	26.6	27.7	28.1	28.0	28.6	28.4	30.7	31.6	31.5	30.9	28.1		26.6
maxima	29.9	28.8	29.3	29.5	29.2	29.4	30.3	30.9	32.4	32.2	32.8	30.3		32.8

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

B

Temperatura Mínima Media (°C)

 SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: ZARUMA

CODIGO: M0180

PERIODO: 2010 - 2015 LATITUD: 3G 41' 51.1" S

LONGITUD: 79G 36' 41.6" W ELEVACION: 1100.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2010	18.1	18.1	18.1	18.0	17.7	17.4	16.2	15.9	16.4	16.4	15.6	15.9	203.8	16.9
2011	16.7	16.7	17.2	17.6	17.5	17.4	16.7	16.1	16.4	16.3	16.6	17.1	202.3	16.8
2013	18.1		18.5						15.9	17.4	16.9	17.6		
2014	18.0	18.0	17.9	18.6	18.4	18.0	17.4	16.7	17.1	17.3	17.6	17.8	212.8	17.7
2015	18.1	18.3	17.8	18.3	18.7	17.5	17.1	16.8						
media	17.8	17.7	17.9	18.1	18.0	17.5	16.8	16.3	16.4	16.8	16.6	17.1	207.5	17.2
minima	16.7	16.7	17.2	17.6	17.5	17.4	16.2	15.9	15.9	16.3	15.6	15.9		15.6
maxima	18.1	18.3	18.5	18.6	18.7	18.0	17.4	16.8	17.1	17.4	17.6	17.8		18.7

Anexo 2. Datos históricos mensuales de precipitación de seis años de la estación meteorológica de Mercadillo.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Precipitación Total Mensual (mm)

 SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: MERCADILLO

CODIGO: M0762

PERIODO: 2010 - 2015 LATITUD: 4G 01' 10" S

LONGITUD: 79G 59' 5" W

ELEVACION:

1142.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2012							6.8	1.6	0.0	5.4	56.8	49.7		
2013	130.8	192.0	277.3	84.6	168.3		0.0	0.0	35.6	0.3	1.8	130.0		
2014	88.9	145.1	474.2	89.5	436.1	34.9	12.7	4.7	0.3	29.7	17.6	86.3	1420.0	118.3
2015	216.5	175.8	550.3	217.6	98.4	50.6	37.6	1.3	0.9	24.3	43.9	77.9	1495.1	124.5
suma	436.2	512.9	1301.8	391.7	702.8	85.5	57.1	7.6	36.8	59.7	120.1	343.9	4056.1	338.0
media	145.4	170.9	433.9	130.5	234.2	42.7	14.2	1.9	9.2	14.9	30.0	85.9	1314.1	109.5
minima	88.9	145.1	277.3	84.6	98.4	34.9	0.0	0.0	0.0	0.3	1.8	49.7		0.0
maxima	216.5	192.0	550.3	217.6	436.1	50.6	37.6	4.7	35.6	29.7	56.8	130.0		550.3

Anexo 3. Datos históricos mensuales de precipitación de seis años de la estación meteorológica de Alamor.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Precipitación Total Mensual (mm)

 S E R I E S M E N S U A L E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: ALAMOR

CODIGO: M0435

PERIODO: 2010 - 2015 LATITUD: 4G 1' 17.2" S

LONGITUD: 80G 1' 31.6" W

ELEVACION: 1250.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2010	201.2	255.3	483.7	190.0	30.6	0.0	0.8	0.0	0.0					
2011	118.6	179.1	32.9	314.2	11.3									
2012	392.6	805.6	518.1	383.1	62.0	22.6	0.0	0.0	0.0	0.0	30.3	42.4	2256.7	188.0
2013	96.7	143.0	183.6	89.6	125.9	0.0	0.0	0.0	3.5	17.4	0.0	48.8	708.5	59.0
2014	170.1	112.7	309.1	54.1	486.3	30.5	7.6	3.1	1.0	15.5	9.8	141.2	1341.0	111.7
2015	217.3	147.7	588.3	220.1	51.3	39.2	12.5							
suma	1196.5	1643.4	2115.7	1251.1	767.4	92.3	20.9	3.1	4.5	32.9	40.1	232.4	7400.3	616.6
media	199.4	273.9	352.6	208.5	127.9	18.4	4.1	0.7	1.1	10.9	13.3	77.4	1288.6	107.3
minima	96.7	112.7	32.9	54.1	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.4		0.0
maxima	392.6	805.6	588.3	383.1	486.3	39.2	12.5	3.1	3.5	17.4	30.3	141.2		805.6

Anexo 4. Formato para registro de las especies arbóreas y arbustivas.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

PROYECTO: Caracterización de la vegetación y el microclima en Sistemas Agroforestales Café (*Coffea arabica* L.) en tres pisos altitudinales del cantón Puyango en la provincia de Loja.

DATOS GENERALES	
ZONA:	
SITIO:	
ALTITUD:	
ÁREA:	
FECHA:	

DATOS ESPECÍFICOS							
Parcela	N° de especie	N° sp/ha	Familia	Nombre científico	Nombre común	Altura (m)	Diámetro de Copa (m)
1							
2							
3							

Anexo 5. Encuesta dirigida a los productores de zona cafetalera Puyango.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**

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

Proyecto de tesis: Caracterización de la vegetación y el microclima en Sistemas Agroforestales Café (*Coffea arabica* L) en tres pisos altitudinales del cantón Puyango en la provincia de Loja.

Encuesta dirigida a los productores de café en Sistemas Agroforestales, en la zona de Puyango con el propósito de obtener información sobre el manejo de sus cultivares con fines netamente académicos. Le rogamos se digne contestar las siguientes preguntas:

INFORMACIÓN GENERAL

Fecha:/.....de 2018. N°.

Nombre.....Edad.....

Cantón..... Parroquia.....Barrio.....

1. ¿Qué edad tiene su cultivo?
.....
2. ¿Qué cultivares tiene en su plantación?
.....
.....
3. ¿Qué tipo de fertilización realiza y en qué época?
.....
.....
4. ¿Realiza riego en su cafetal? SI (), No ()
5. ¿Cuándo realiza el riego y de qué manera?
.....
.....
6. ¿Realiza podas del cafetal? SI (), NO ().
7. ¿En qué momento realiza las podas?
.....
.....
8. ¿Qué tipo de poda realiza?
.....
9. ¿Realiza podas de la sombra? SI (), NO ().
10. ¿Cuándo realiza la poda de la sombra?
.....
.....

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN.

Anexo 6. Formato de registro de las variables microclimáticas internas y externas

SITIO:..... Fecha: Hora inicio:..... Hora final: N° de toma de datos:.....					
Parcela	Muestra	LUZ (lux)	TEMPERATURA (°C)	HR (%)	VIENTO (m s⁻¹)
1	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
2	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
3	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				

Anexo 7. Escala de la velocidad del viento según Beaufort

ESCALA DE BEAUFORT PARA LA FUERZA DEL VIENTO			
Núm. Beaufort	Nombre en tierra	Velocidad equivalente a 10 m de altura sobre terreno descubierto, intervalo en metros por segundo	Características para la estimación en tierra
0	Calma	0.0 a 0.2	El humo se eleva verticalmente
1	Ventolina	0.3 a 1.5	El viento se releva por el movimiento del pero no por las veletas
2	Flojito	1.6 a 3.3	El viento se percibe en el rostro, las hojas se agitan, la veleta se mueve
3	Flojo	3.4 a 5.4	Hojas y ramitas agitadas constantemente, el viento despliega las banderolas
4	Bonancible	5.5 a 7.9	El viento levanta polvo y hojitas de papel, ramitas agitadas.
5	Fresquito	8.0 a 10.7	Los arbustos con hojas se balancean, se forman olitas con crestas en los estanques
6	Fresco	10.8 a 13.8	Las grandes ramas se agitan, los hilos telegráficos silban; el uso del paraguas se hace difícil
7	Frescachón	13.9 a 17.1	Los árboles enteros se agitan, la marcha contra el viento es penosa
8	Duro	17.2 a 20.7	El viento rompe las ramas, es imposible la marcha contra el viento
9	Muy duro	20.8 a 24.4	El viento ocasiona ligeros daños en las viviendas (arranca cañerías, chimeneas y tejados)
10	Temporal	24.5 a 28.4	Raro en los continentes, árboles arrancados, importantes daños en las viviendas
11	Borrasca	28.5 a 32.6	Observado muy raramente, acompañado de grandes destrozos
12	Huracán	> 32.7	Estragos graves y extensos

Anexo 8. Frecuencia relativa de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio Huásimo del cantón Puyango, evaluado en diciembre de 2017.

Nombre científico	Número de parcela en las que se presenta cada especie	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
<i>Musa paradisiaca</i> L.	3	1	16
<i>Inga edulis</i> Mart.	3	1	16
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby.	2	0,67	11
<i>Carica papaya</i> L.	1	0,33	5
<i>Acnistus arborescens</i> (L.) Schltl.	2	0,67	11
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	1	0,33	5
<i>Citrus x sinensis</i> Osbeck	1	0,33	5
<i>Psidium guajava</i> L.	1	0,33	5
<i>Mangifera indica</i> L.	1	0,33	5
<i>Laurus nobilis</i>	1	0,33	5
<i>Juglans regia</i> L.	1	0,33	5
<i>Vernonanthura patens</i> (Kunth) H. Rob.	1	0,33	5
<i>Hedyosmum mexicanum</i> Cordem.	1	0,33	5
TOTAL		6,33	100

Anexo 9. Densidad relativa de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio Huásimo del cantón Puyango, evaluado en diciembre de 2017.

Nombre científico	Valor absoluto	Densidad Absoluta por sp.	Densidad absoluta de todas las spp.	Densidad Relativa
<i>Musa paradisiaca</i> L.	14	0,005	0,016	29
<i>Carica papaya</i> L.	9	0,003	0,016	18
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby.	6	0,002	0,016	12
<i>Acnistus arborescens</i> (L.) Schltl.	5	0,002	0,016	10
<i>Inga edulis</i> Mart.	4	0,001	0,016	8
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	2	0,001	0,016	4
<i>Citrus x sinensis</i> Osbeck	2	0,001	0,016	4
<i>Psidium guajava</i> L.	2	0,001	0,016	4
<i>Laurus nobilis</i>	1	0,000	0,016	2
<i>Juglans regia</i> L.	1	0,000	0,016	2
<i>Hedyosmum mexicanum</i> Cordem.	1	0,000	0,016	2
<i>Vernonanthura patens</i> (Kunth) H. Rob.	1	0,000	0,016	2
<i>Mangifera indica</i> L.	1	0,000	0,016	2
TOTAL		49		100

Anexo 10. Frecuencia relativa de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango, evaluado en diciembre de 2017.

Nombre científico	Número de parcela en las que se presenta cada especie	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
<i>Musa paradisiaca</i> L.	3	1	27
<i>Inga edulis</i> Mart.	3	1	27
<i>Erythrina velutina</i> Willd.	2	0,67	18
<i>Carica papaya</i> L.	1	0,33	9
<i>Bixa orellana</i> L.	1	0,33	9
<i>Persea americana</i> Mill.	1	0,33	9
TOTAL		3,67	100

Anexo 11. Densidad relativa de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio Pindal de Vicentino del cantón Puyango, evaluado en diciembre de 2017.

Nombre científico	Valor absoluto	Densidad Absoluta por sp.	Densidad absoluta de todas las spp.	Densidad Relativa
<i>Musa paradisiaca</i> L.	58	0,019	0,037	52
<i>Inga edulis</i> Mart.	23	0,008	0,037	21
<i>Erythrina velutina</i> Willd.	20	0,007	0,037	18
<i>Carica papaya</i> L.	5	0,002	0,037	4
<i>Bixa orellana</i> L.	3	0,001	0,037	3
<i>Persea americana</i> Mill.	3	0,001	0,037	3
TOTAL	112			100

Anexo 12. Frecuencia relativa de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango, evaluado en diciembre de 2017.

Nombre científico	Número de parcela en las que se presenta cada especie	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
<i>Musa paradisiaca</i> L.	3	1	27
<i>Citrus x sinensis</i> Osbeck	3	1	27
<i>Inga edulis</i> Mart.	2	0,67	18
<i>Psidium guajava</i> L.	1	0,33	9
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb) Lindl.	1	0,33	9
<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D.A.Webb	1	0,33	9
TOTAL		3,67	100

Anexo 13. Densidad relativa de todas las especies del Sistema Agroforestal en el sitio San José de Mercadillo del cantón Puyango, evaluado en diciembre de 2017.

Nombre científico	Valor absoluto	Densidad Absoluta por sp.	Densidad absoluta de todas las spp.	Densidad Relativa
<i>Musa paradisiaca</i> L.	30	0,010	0,015	65
<i>Citrus x sinensis</i> Osbeck	6	0,002	0,015	13
<i>Inga edulis</i> Mart.	4	0,001	0,015	9
<i>Psidium guajava</i> L.	2	0,001	0,015	4
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	2	0,001	0,015	4
<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D.A.Webb	2	0,001	0,015	4
TOTAL		46		100

Anexo 14. Fotografías de los recorridos realizados en el zona cafetalera Puyango, donde se realizó la investigación. A. Huásimo; B. Pindal de Vicentino; C. San José de Mercadillo.



A



B



C

Anexos 15. Socialización de resultados de Tesis. A. Presentación de resultados en el aula del VII Ciclo de la Carrera de Ingeniería Agronómica; B. Registro de estudiantes presentes en la socialización de resultados de tesis.



A

Universidad Nacional de Loja
Carrera: Ingeniería Agronómica
“CICLO VII”
PERÍODO ACADÉMICO ABRIL – SEPTIEMBRE 2018
Nómina de estudiantes presentes en la Socialización de resultados de Tesis

No	Apellidos y Nombres	Nº de Cédula	Firma
1	Asonza Espinoza Karla Jazmin	0766083292	<i>[Handwritten Signature]</i>
2	Afronte Vera Arianna Lizzette	1105466568	<i>[Handwritten Signature]</i>
3	Pomero Maiza Adriana Elizabeth	1105631012	<i>[Handwritten Signature]</i>
4	Edison Sael Simenez Combieus	1150142493	<i>[Handwritten Signature]</i>
5	Correa Campoverde Jhon Alexander	1105977922	<i>[Handwritten Signature]</i>
6	Taen Rigaud Ximena Marilu	1104452139	<i>[Handwritten Signature]</i>
7	Maria José Romero Romero	1150208393	<i>[Handwritten Signature]</i>
8	Silvia Patricia Amijos Choncho	1106045014	<i>[Handwritten Signature]</i>
9	Fernandez Arcego David Alejandro	1105023327	<i>[Handwritten Signature]</i>
10	Gordillo León Cristina del Rocío	1150009312	<i>[Handwritten Signature]</i>
11	Cuenca Cabrera Edith Alejandra	110605221	<i>[Handwritten Signature]</i>
12	Thalia Belén Figueroa E.	1150078515	<i>[Handwritten Signature]</i>
13	Richard Fabricio Peña González	1105926016	<i>[Handwritten Signature]</i>
14	José Eduardo Pomero Navariz	1100351947	<i>[Handwritten Signature]</i>
15	Teresa A. Jimenez Guayanay	1900786847	<i>[Handwritten Signature]</i>
16	Mildred Estrella Lozano González	1105888563	<i>[Handwritten Signature]</i>
17	Nanna Elizabeth Masdio Tagoi	195005049	<i>[Handwritten Signature]</i>
18	Silvana Elizabeth Pinta Pinta	1150143475	<i>[Handwritten Signature]</i>
19	Gabriela Beatriz Saranyo Pinta	1105048704	<i>[Handwritten Signature]</i>
20	José Agustín Guanche Gámez	1105882876	<i>[Handwritten Signature]</i>
21	Nataly Anabel Aguiló Córdova	1150149673	<i>[Handwritten Signature]</i>
22	Juliana Lilibeth Córdova Zambiano	1150671608	<i>[Handwritten Signature]</i>
23			
24			

B