



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EVALUACIÓN DE TRES SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN SISTEMAS
AGROFORESTALES CON CAFÉ DE LOS CANTONES JIPIJAPA Y SANTA
ANA DE LA PROVINCIA DE MANABÍ**

AUTORES:

Ayala Intriago Alexia Cecilia
Saltos Zambrano José Gerónimo

TUTORA:

Ing. Miryan Angélica Pinoargote Chang, *M.Sc.*

COTUTOR:

Ing. José Newthon Pico Mendoza, *Ph. D.*

LODANA- MANABÍ- ECUADOR

2020

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar en cada paso que doy, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio

En segundo lugar a mis padres, Cecilia Intriago y Iván Ayala, en especial a mi madre, que desde el comienzo ellos con sus consejos y amor me dieron todo su apoyo y recursos necesarios para continuar estudiando. Y hoy gracias a ellos que me inculcaron valores, empeño en mis deberes y a ser una buena persona la cual sea capaz de poder conseguir las metas que me proponga

En tercer lugar a mi pareja, amigo y confidente José Daniel e hija Saray Sornoza Ayala, quienes han estado presente en mi vida apoyándome con su gran cariño

En cuarto lugar a mis hermanos, Wilmer y Lili Ayala Intriago que a pesar de todo siempre me apoyaron y me dieron ese ánimo para no rendirme ante nada

Y por último y no menos importante a mis abuelos, en especial a Carmen y Eduardo por apoyarme en cada momento

Gracias Dios por la hermosa familia que me has dado

Ayala Intriago Alexia Cecilia

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por mis familiares, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida han demostrado su amor

A los docentes que con mucha paciencia y dedicación decidieron darnos a conocer sobre los conocimientos que ellos poseen

A mi estimado amigo Ramón Almeida “Gareca” por su amistad y apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera

Por último y no menos importante a mis compañeros de clase, especialmente a ese grupo “Los de siempre” con la cual tuve la dicha de conocerlos y compartir muchas experiencias a lo largo de mi carrera

Ayala Intriago Alexia Cecilia

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios por darme sabiduría y fuerza para alcanzar esta meta. A mis padres, Liborio Saltos y Bélgica Zambrano por brindarme su apoyo y cariño. A mí esposa Berenice Muñoz por el cariño y la ayuda que me brindó durante mi carrera universitaria. A mis demás familiares, amigos y docentes de la FIAG que contribuyeron de una u otra forma para que logre mi objetivo.

José Gerónimo Saltos Zambrano

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la, sabiduría y fortaleza necesaria para cumplir con mis metas.

A mis padres, a mi esposa, por brindarme el apoyo, la motivación y el consejo necesario para cumplir con esta nueva etapa.

A mis compañero/as por darme su ayuda siempre que la necesité.

A mi tutora de tesis Ing. Miryan Angélica Pinoargote Chang, M.Sc. por brindarme su ayuda en este proceso de realización de nuestro trabajo de investigación.

José Gerónimo Saltos Zambrano

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo general.....	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. MARCO REFERENCIAL	14
3.1. Café	14
3.2. Producción de café en Ecuador.....	16
3.3. Sistemas agroforestales.....	16
3.4. Sistemas agroforestales con café	17
3.5. Servicio de aprovisionamiento.....	18
3.6. Servicios de regulación.....	19
3.7. Servicios culturales	19
3.8. Servicios de soporte o apoyo	19
3.9. Servicios ecosistémicos	20
3.9.1. Conservación de agroecosistemas	20
3.9.2. Control de la erosión	20
3.9.3. Almacenamiento de carbono	21
4. METODOLOGÍA	22
4.1. Diseño de la investigación	22
4.2. Hipótesis	22
4.3. Definición de variables	22
4.3.1. Conservación de agroecosistema	22
4.3.2. Control de erosión	22
4.3.3. Almacenamiento de carbono	22
4.4. Recolección de datos	22
4.4.1. Conservación de agroecosistemas.	24
4.4.2. Conservación del suelo	24
4.4.3. Almacenamiento de carbono	24
4.5. Análisis estadístico	25
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25

5.1 Conservación de agroecosistemas.....	25
5.1.1. Indicador: Número de estratos (estructura vertical) que constituyen los sistemas de café con sombra	27
5.1.2. Indicador: Especies arbóreas nativas	29
5.1.3. Indicador: Árboles con DAP > 5 cm.....	29
5.1.4. Indicador: porcentaje de epífitas en los árboles	30
5.2. Conservación de suelo	31
5.2.1. Indicador: Porcentaje de cobertura de suelo.....	31
5.3. Almacenamiento de carbono en biomasa aérea.....	32
5.3.1. Indicador: Carbono almacenado en árboles.....	32
5.3.2. Indicador: Carbono almacenado en café	34
5.4. Comparaciones entre las dos localidades.....	35
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
6.1 Conclusiones.....	35
6.3. Recomendaciones	36
7. BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS.....	42
Anexo 1.- Fotografía de los sistemas agroforestales con café evaluados.	42
Anexo 2.- Recolección de datos en las fincas de Jipijapa y Santa Ana.	43
Anexo 3.- Fotografías de las especies arbóreas presentes en el sistema agroforestal.	44
Anexo 4.- Fotografías del café presente en el sistema agroforestal.	44
ANEXO 5.- FORMULARIO 1: CENSO COMPLETO DE ESPECIES DEL DOSEL	45
ANEXO 6.- FORMULARIO 2: MUESTREO DE CAFETOS DIÁMETROS A 15	46
cm	
ANEXO 7.- FORMULARIO 3: CONSERVACIÓN DE SUELO	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características edafoclimáticas de los cantones de Santa Ana y Jipijapa 2020.	23
Tabla 2. Criterios e indicadores para la evaluación de los servicios ecosistémicos en los sistemas agroforestales con café de Jipijapa y Santa Ana, 2020.	23
Tabla 3. Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de las plantas de café y árboles en los sistemas agroforestales con café de Jipijapa y Santa Ana, 2020.	25
Tabla 4. Especies de plantas presentes en los sistemas agroforestales con café de Jipijapa y Santa Ana, 2020.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de cobertura de suelo en los sistemas agroforestales con café de Jipijapa y Santa Ana, 2020.	32
Figura 2. Especies de árboles con mayor almacenamiento de carbono en las fincas del cantón Santa Ana y Jipijapa, 2020.	33

RESUMEN

El café arábigo (*Coffea arabica* L.) es un cultivo de importancia socioeconómica y ambiental a nivel mundial, regional y local. Las familias caficultoras se benefician directa e indirectamente de los servicios ecosistémicos que obtienen de estos agroecosistemas especialmente del café bajo sombra. El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar tres servicios ecosistémicos: conservación de agroecosistemas, control de erosión y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica* L.) mediante criterios e indicadores. Durante el período septiembre 2019 a marzo 2020 se inventariaron 12 hectáreas de cafetales distribuidos en 6 fincas en el cantón Santa Ana y 6 fincas en Jipijapa, donde las plantas de café tenían entre 2 y 5 años de edad. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 0.05 y comparaciones múltiples mediante el método de la Diferencia Significativa Honesta de Tukey ($\alpha = 0.05$) para todos los indicadores evaluados que en el ANOVA mostraron diferencias estadísticas. Los sistemas agroforestales con café en ambas localidades son muy similares (no existieron diferencias significativas en el ANOVA) están compuestos comúnmente por *Musa* spp. e *Inga* spp., combinados con árboles frutales como cítricos, aguacate, entre otros; árboles maderables y no maderables. En la conservación de agroecosistemas ambas localidades contienen cuatro estratos presentes en el sistema, siendo el estrato medio bajo (5-9.9 m) el de mayor presencia en todas las fincas. Los cafetales tienen en promedio entre 87 y 94 árboles ha^{-1} , de los cuales el 18% y 26% son árboles de especies nativas y la presencia de epífitas en los árboles es de 54% y 60% en Jipijapa y Santa Ana, respectivamente. La conservación del suelo se estimó a partir del porcentaje de cobertura del suelo, 78 y 87%, en Jipijapa y Santa Ana. El carbono almacenado en la biomasa aérea de los cafetales fue de 4 Mg C ha^{-1} , el carbono en la biomasa aérea de los árboles fue mayor que en las plantas de café en una proporción 70-30 entre cada componente.

ABSTRACT

Coffee (*Coffea arabica* L.) is a crop of socio-economic and environmental importance at the global, regional, and local levels. Coffee-growing families benefit directly and indirectly from the ecosystem services that they obtain from these agroecosystems, especially from shade-grown coffee. The present work was carried out with the objective of evaluating three ecosystem services: conservation of agroecosystems, erosion control, and carbon storage in agroforestry systems with coffee (*Coffea arabica* L.) using criteria and indicators. During the period September 2019 to March 2020, 12 hectares of coffee plantations were inventoried distributed in 6 farms in the Santa Ana canton and 6 farms in Jipijapa, where the coffee plants were between 2 and 5 years old. An analysis of variance (ANOVA) was performed with a significance level of 0.05 and multiple comparisons using Tukey's Honest Significant Difference method ($\alpha = 0.05$) for all the evaluated indicators that showed statistical differences in the ANOVA. The agroforestry systems with coffee in both locations are very similar (there were no significant differences in the ANOVA) and are commonly composed of *Musa* spp. and *Inga* spp., combined with fruit trees such as citrus, avocado, among others; timber and non-timber trees. In the conservation of agroecosystems, both localities contain four strata present in the system, with the medium-low stratum (5-9.9 m) being the one with the highest presence in all the farms. The coffee plantations have an average between 87 and 94 trees ha⁻¹, of which 18% and 26% are trees of native species and the presence of epiphytes in the trees is 54% and 60% in Jipijapa and Santa Ana, respectively. Soil conservation was estimated from the percentage of soil cover, 78 and 87%, in Jipijapa and Santa Ana. The carbon stocks in the aboveground biomass of the coffee plantations were 4 Mg C ha⁻¹, the carbon in the aboveground biomass of trees was higher than in coffee plants in a 70-30 ratio between each component.

1. INTRODUCCIÓN

El café arábigo (*Coffea arábica* L.) suple el 63% del mercado cafetalero global y mueve la economía de varios países africanos, asiáticos y latinoamericano (DaMatta.F, 2003). La producción de café puede desarrollarse en monocultivo o en sistemas agroforestales (Van et al., 2010) que brindan diversos servicios ecosistémicos y benefician directa e indirectamente a las familias caficultora (Jha et al., 2011).

Los sistemas agroforestales con café (SAF café) proveen productos de alto valor para los caficultores tanto por los ingresos en efectivo por venta y ahorros por autoconsumo de alimentos, incluyendo la producción de madera, frutas, bananas, cítricos y leña producto de las podas del cafetal y de los árboles de sombra (Beer et al., 1998). Además, los SAF café pueden generar otros servicios ecosistémicos como regular las concentraciones de dióxido de carbono atmosférico mediante el almacenamiento de carbono (C) en la biomasa aérea de los árboles del dosel y plantas de café, conservar los agroecosistemas (Jha et al., 2011). Estos beneficios pueden ser considerados como aportes parciales a los mecanismos de adaptación y mitigación del cambio climático que además mejoran la producción de alimentos, la provisión de otros servicios ecosistémicos y los medios de vida de pequeños caficultores (Rahn et al., 2013).

La caficultura en Ecuador se caracteriza por poseer pequeñas unidades de producción (<5 ha) en sistemas agroforestales (Ponce et al., 2018). Estos sistemas cafetaleros contribuyen con la conservación del ambiente, mediante la producción primaria equilibrada como garantía del bienestar de las generaciones presentes y futuras (Ponce et al., 2018). La producción de café en la provincia de Manabí se concentra principalmente en los cantones Jipijapa, 24 de Mayo, Paján y Santa Ana, aunque existen pequeños cultivos a lo largo de casi toda la provincia (Pincay, 2017).

En la actualidad aún existen vacíos de conocimientos y limitaciones sobre los SAF y sus beneficios (Beer et al., 2003). Además existe una limitada promoción y mejoramiento de propuestas de café sostenible sobre la contribución que tienen en la conservación de los servicios ecosistémicos en los sistemas agroforestales (Pico, 2011). Los SAF se muestran como alternativas al uso exhaustivo del suelo, en donde estudios y encuestas realizadas a los campesinos han determinado que ellos destacan el aspecto socioeconómico como una razón para mantener o aplicar sus SAF (Pinta, 2015). Sin

embargo, existen tanto ventajas y desventajas de los S.A.F. desde el punto de vista biofísico, biológico y económico; es necesario decir que el análisis del sistema es el que permite definir las ventajas y desventajas del mismo; las cuales ayudaran a determinar los costos y beneficios del sistema usando el mejor beneficio real para el productor (Mendieta & Racha, 2007).

Según Atallah et al. (2018) La transición de los sistemas de café intensivo cultivado al sol a los de sombra se promueve como una estrategia prometedora de adaptación climática basada en el ecosistema. El cultivo intercalado de árboles de sombra con arbustos de café puede producir múltiples servicios ecosistémicos. Sin embargo, dependiendo de los niveles de cobertura de sombra, la producción conjunta de estos servicios puede ser complementaria o competitiva en función de sus impactos en los rendimientos del café. En donde *C. arabica*, tiene capacidades fotosintéticas adaptadas a ambientes sombreados. Los árboles de sombra protegen al cafeto contra extremos climáticos, pero también incrementan el consumo de agua de la plantación. La sombra permite generalmente mejorar la calidad del café, aunque este efecto depende del lugar (Montagnini et al., 2015).

Con base en lo anterior, la finalidad de este trabajo fue evaluar tres servicios ecosistémicos (calidad del hábitat, conservación del suelo y cantidad de carbono almacenado en biomasa aérea) en los sistemas agroforestales con café de Jipijapa y Santa Ana de la provincia de Manabí. En estos cantones se desarrolla tradicionalmente la caficultura y se ha basado únicamente en la producción de café y no se han cuantificado otros servicios ecosistémicos de estos sistemas agroforestales para beneficios de las familias y comunidades caficultoras.

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

- Evaluar tres servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales con café de Jipijapa y Santa Ana.

2.2.Objetivos específicos

- Analizar la calidad de hábitat que proveen los sistemas agroforestales con café.
- Determinar el estado de conservación de los suelos de los sistemas agroforestales con café a través de tres indicadores.
- Estimar el carbono en biomasa aérea de los sistemas agroforestales con café.
- Comparar los servicios ecosistémicos provistos por los sistemas agroforestales con café entre las dos localidades en estudio.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. Café

El café (*Coffea arabica* L.) es un arbusto que pertenece a la familia Rubiaceae. La planta es una leñosa perenne, cuenta con un solo tallo o eje principal; con más ramas laterales que se originan en las yemas axilares, las cuales se alargan continuamente a medida que el eje central madura, el ápice del tallo es el responsable de la formación de nudos, hojas y del crecimiento en altura de la planta (crecimiento ortotrópico que crecen verticalmente comprendiendo el tallo principal y los chupones). En el ápice de las ramas ocurre la formación de nudos, hojas y la expansión lateral de la planta (crecimiento plagiotrópicos) (Arcila, 2007).

El sistema radicular está formado por un eje central o raíz pivotante, la cual puede extenderse de forma cónica hasta un metro desde el tronco. El fruto es una drupa ovalada o elipsoidal (Solórzano, 2010). En principio el fruto es de color verde, y en la medida en la que van madurando se vuelven de color rojo; o en algunos casos de color amarillo. En el interior de cada fruto hay dos semillas separadas por un surco; estos son los granos del café, los cuales se encuentran protegidos por una película plateada y recubiertos por una piel de color amarillo.

El tiempo que transcurre desde el florecimiento hasta la maduración del grano varía según la especie, en *C. arábica* toma de 6 a 8 meses y en *C. canephora* de 9 a 11 meses. Durante su desarrollo, el fruto pasa a través de diferentes estados (Arcila, 2007) así:

Etapa 1: Primeras 7 semanas después de la floración (0 – 50 días). Es una etapa de crecimiento lento, en la cual el fruto tiene el tamaño de un fósforo.

Etapa 2: Semanas 8 a la 17 después de la floración (50 – 120 días). El fruto crece en forma acelerada y adquiere su tamaño final, y la semilla tiene consistencia gelatinosa.

Etapa 3: Semanas 18 a la 25 después de la floración (120–180 días). La semilla o almendra completa su desarrollo, adquiere consistencia sólida y gana peso.

Etapa 4: Semanas 26 a la 32 después de la floración (180 – 224 días). El fruto se encuentra fisiológicamente desarrollado y comienza a madurar.

Etapa 5: Después de la semana 32 (más de 224 días), el fruto se sobremadura y se torna de un color violeta oscuro y finalmente se seca. En esta etapa generalmente el fruto pierde peso.

Las partes de la fruta desde el exterior al interior son:

- Epicarpio (cutícula, cáscara, pulpa) de color rojo o amarillo en su madurez, jugoso y envuelve todas las demás partes del fruto.
- Mesocarpio (mucílago, baba) de consistencia gelatinosa y color cremoso.
- Endocarpio (pergamino, cascarilla) cubierta corácea de color crema a marrón que envuelve la semilla.
- Espermoderma (película plateada) envuelve la semilla (integumento seminal)
- Endospermo la semilla propiamente constituida
- Embrión localizado en la superficie convexa de la semilla y representado por un hipocotíleo y dos cotiledones.

La semilla o cotiledón tiene un surco o hendidura en el centro del lado plano por donde se unen las dos semillas. El grano o semilla tiene un extremo que termina en forma puntiaguda donde se encuentra el embrión (Monroig, s.f.).

El cafeto tiene la particularidad de que puede albergar flores, frutos verdes y frutos maduros de manera simultánea. Estas plantas necesitan climas tropicales; calurosos y con abundante agua, las temperaturas ideales para los cafetos de la especie arábica oscilan entre 18° C y 24°C y el óptimo de pluviosidad se ubica entre 1500 mm y 1900 mm anuales (Solórzano, 2010).

Un arbusto de café comienza a dar sus primeros frutos a los dos años de edad; alcanzando sus cosechas óptimas luego de sus cuatro o cinco años de sembrado. Entre las condiciones físicas del suelo limitativas para el desarrollo radical están: la alta pedregosidad, el mal drenaje, la poca aireación y la baja retención de agua. Cuando se presentan horizontes de arcilla compactos muy superficiales, la raíz no se desarrolla bien, porque al quedar muy superficial está sujeta a condiciones de exceso de agua en las épocas lluviosas o de deficiencia en las épocas secas (Arcila, 2007).

Existen diferentes factores ambientales que pueden afectar al fruto durante su desarrollo. Entre estos factores, la disponibilidad hídrica juega un papel primordial y su efecto varía de acuerdo con la etapa del desarrollo en que se encuentra el fruto. Si hay

un exceso de agua puede tener un efecto indirecto a la planta presenciando enfermedades que ataca los frutos como el mal rosado o la pérdida de flores.

3.2. Producción de café en Ecuador

Las especies de café que se cultivan en Ecuador son el *C. arabica* y *C. canephora* en las cuatro regiones geográficas, produciendo café en 23 de sus 24 provincias del territorio ecuatoriano, La importancia ecológica del café en Ecuador radica, por su parte, en la amplia diversidad de suelos en que se cultiva, fundamentalmente en ricos sistemas agroforestales que contribuyen significativamente a la conservación de los recursos filogenéticos, a la captura de carbono (FórumCafé, 2019).

Las hectáreas cultivadas en el Ecuador correspondieron en el año 2002 de 260,528.00 ha ya para el año 2019 la cifra disminuyó a 60,000.00 ha, de acuerdo a las estadísticas de la Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFE), en el año 2019 se exportaron 12,554.00 sacos de 60 kilos de café arábigo y 11,749.00 sacos de 60 kilos de café robusta y hasta agosto de 2020 se han exportado 14,828.15 sacos de 60 kilos de estos dos tipos de café (Sánchez et al., 2019).

En Manabí uno de los cantones conocido por historia como la “Sultana del café” es el cantón Jipijapa el cual ha sufrido en estos últimos años por las consecuencias de los fenómenos ambientales, el envejecimiento de los cafetales y las malas prácticas agrícolas (Pincay, 2017).

3.3. Sistemas agroforestales

La agroforestería es una forma de cultivo múltiple que satisface tres condiciones básicas: 1) existen al menos dos especies que interactúan biológicamente; 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne; y 3) al menos dos de los componentes se manejan para satisfacer los objetivos del administrador de la tierra (Somarriba, 2012).

La agroforestería aprovecha la relación complementaria entre árboles y cultivos , de tal forma que la productividad, la estabilidad y la sostenibilidad del sistema en conjunto sean superiores en comparación con la mayoría de los casos individuales, y que su adecuada explotación sea una notable oportunidad para mejorar sitios degradados y estabilizar los ecosistemas frágiles, constituyéndose también en un

sistema agrícola ideal para la recuperación de la agricultura sostenible en zonas de bajo potencial productivo (Valencia, 2014).

La agroforestería busca aplicar eficientemente los recursos de luz, agua y nutrientes con el objetivo de aumentar el rendimiento económico y ambiental en busca de generar agroecosistemas sostenibles (Meylan, 2017). La agroforestería se utiliza desde los inicios de la agricultura hace 12 000 años, pero a partir de la segunda mitad de la década de los 90 se recobró importancia como una respuesta ante la demanda de una agricultura capaz de proveer múltiples servicios ambientales, lo que ha permitido el desarrollo de nuevos enfoques conceptuales y metodológicos en esta disciplina (Fernández, 2018).

Los sistemas agroforestales son una alternativa sostenible el aprovechamiento de los recursos naturales y mejorar las condiciones de los suelos en zonas donde la degradación ha aumentado producto de la expansión de la frontera agrícola, el aprovechamiento no sostenible de los recursos forestales y los conflictos por uso del suelo, entre otros factores. Además, el establecimiento de estos sistemas brinda la oportunidad de prevenir la degradación de suelos y aumentar la seguridad alimentaria de las comunidades que habitan en la zona (Rubiano, 2016).

Asimismo, los sistemas agroforestales tienden a mantener o aumentar la producción y la productividad (del suelo o sitio) mediante los productos obtenidos del cultivo y de los árboles, mejoramiento de la producción de los cultivos asociados, reducción en la aplicación de insumos, mano de obra eficiente y eficaz (Valencia, 2014).

3.4.Sistemas agroforestales con café

Los sistemas agroforestales con café, aparte de la función de proporcionar sombra, realiza mejoras en la calidad de los suelos, propicias condiciones favorables para la biodiversidad y genera ingresos adicionales, ya sea como madera, leña u otros productos no maderables (Pico,2017). Así un sistema debe ser productivo, funcional y sustentable de manera económica, social y ambiental (Barahona, 2018). Los sistemas de café se pueden distinguir según el nivel de gestión y complejidad vegetativa y estructural de los cuales se clasifican en cinco sistemas de producción de café: tradicional rústico o “montañés”, policultivo tradicional, policultivo comercial, monocultivo sombreado y monocultivo sin sombra (Moguel & Toledo ,1999).

Las cinco clasificaciones se pueden dividir primero en términos del uso de árboles como sombra, separando el café sombreado del no sombreado (o al sol) sistemas. Esta división también contribuye a una gestión básica contraste: agroforestería versus sistemas agrícolas (ninguna especie arbórea). Un segundo criterio distingue policultivos de monocultivos. Los dos últimos sistemas monocultivos sombreados y no sombreados: contrastan fuertemente con los policultivos donde el café se cultiva bajo un dosel de varias especies de árboles y tiene como vecinos varias especies cultivadas (como cítricos, bananos y plátanos) (Moguel & Toledo, 1999).

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad. Están agrupados en cuatro categorías: 1) servicios de aprovisionamiento o bienes y productos brindados por los ecosistemas tales como los alimentos, el agua, los recursos genéticos, los productos forestales; 2) servicios de regulación que permitan obtener los beneficios de los procesos ecosistémicos e inciden en el clima, la calidad del agua; 3) servicios culturales definidos como los bienes no materiales obtenidos de los ecosistemas: el enriquecimiento espiritual, la reflexión y la recreación; 4) servicios de soporte o apoyo que se refieren a procesos ecológicos necesarios para la provisión y existencia de los demás servicios ecosistémicos, tales como la producción primaria, el ciclado de nutrientes y la formación del suelo (Fernández, 2015).

3.5. Servicio de aprovisionamiento

Los servicios de aprovisionamiento son aquellos recursos naturales, bienes tangibles o materiales que provienen de los ecosistemas con beneficio directo para las personas. Estos servicios dan el sustento básico de la vida humana y a menudo también tienen valor monetario (Rodríguez, 2017).

Estos incluyen: alimentos para el consumo humano, usualmente estos alimentos vienen de agroecosistemas manejados (ej., maíz, arroz, carne, etc.), pero también pueden venir de los ecosistemas marinos o ribereños (peces, algas, camarones, mariscos), o de ecosistemas naturales como bosques (frutas silvestres, miel, hongos, etc.) (Rodríguez, 2017).

Materia prima: tales como materiales de construcción, leña, biocombustibles y aceites que vienen tanto de las plantas cultivadas en agroecosistemas como de plantas silvestres de los bosques (Rodríguez, 2017).

Medicina: proporcionadas para el bienestar humano y animal por medio de plantas que pueden ser medicinales cultivadas, y otras sustancias (ej. Miel, jalea real) con compuestos medicinales provenientes de ecosistemas naturales (Rodríguez, 2017).

3.6. Servicios de regulación

Los servicios de regulación son aquellos métodos ecológicos esenciales para conservar la calidad del suelo y del aire, la fluctuación en la provisión de agua y temperatura, el control de las inundaciones y enfermedades o la polinización de cultivos. Los servicios que están estrechamente relacionados con la agricultura son la polinización animal y el control biológico de plagas (FAO, 2016).

3.7. Servicios culturales

Los servicios ecosistémicos culturales son beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas y que constituyen al mantenimiento de la salud humana y el bienestar mediante oportunidades de recreación, estéticas y educativas (FAO, 2019).

Estos servicios comprenden la inspiración estética, la identidad cultural, el sentimiento de apego al terruño y la experiencia espiritual relacionada con el entorno natural. Usualmente, en este grupo se incluyen también las oportunidades para el turismo y las actividades recreativas (FAO, 2019).

3.8. Servicios de soporte o apoyo

Los servicios de soporte son los que proporcionan espacios vitales para las plantas y animales, conservan su diversidad, así mismo, constituyen la base de todos los ecosistemas y sus servicios (FAO, 2016). Además, éstos sirven como base para la producción de granos, lana, frutas y vegetales e involucran procesos como la fotosíntesis y la producción primaria, el ciclaje de nutrientes y agua (Galic, 2012 ; FAO, 2019).

3.9.Servicios ecosistémicos

3.9.1. Conservación de agroecosistemas

3.9.1.1.Calidad de hábitat

Este criterio pertenece a la categoría de servicios de apoyo. Los sistemas agrícolas o agroecosistemas son una interacción compleja entre procesos sociales y económicos externos e internos y entre procesos biológicos y ambientales; estos pueden ubicarse espacialmente al nivel del terreno de cultivo, pero a menudo también incluyen una dimensión temporal (Alterí, 2013).

La función de los agroecosistemas se relaciona con el flujo de energía y con el ciclaje de los nutrientes que pueden sufrir modificaciones mediante el manejo de los insumos que se introducen (Alterí, 2013).

El aumento de la diversidad favorece la diferenciación de hábitat, incrementa las oportunidades de coexistencia y de interacción entre las especies y generalmente lleva asociado una mayor eficiencia en el uso de los recursos (Sans, 2007).

De forma general, los agroecosistemas más diversificados que suelen coincidir con los gestionados mediante prácticas de la agricultura ecológica y tradicional tienen mayores ventajas que los altamente simplificados, como los sistemas agrícolas convencionales y, particularmente, los monocultivos. Pero los agroecosistemas, dentro de las limitaciones impuestas por la necesidad de extraer biomasa, pueden tender a niveles de diversidad parecidos a los de los sistemas naturales y beneficiarse del aumento de estabilidad asociada a una mayor diversidad (Sans, 2007).

3.9.2. Control de la erosión

3.9.2.1.Conservación del suelo

Este criterio pertenece a la categoría de servicios de regulación. El manejo de suelos en un sistema agroforestal persigue alternativas a disminuir los riesgos de erosión y consecuentemente a mejorar la fertilidad de los mismos mediante la implementación de algunas prácticas culturales como: conservar la cubierta vegetal u hojarasca durante el mayor tiempo del año, la conservación del contenido de materia orgánica y minimizar labores o actividades que produzcan la remoción de materia orgánica y nutrientes en las cosechas (Ramírez, 2005).

Pero si existe erosión del suelo que es un proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo por agentes erosivos (Ellison, 1947). Provocará el empobrecimiento y deterioro de las propiedades físicas del suelo incrementando los costos de producción, debido a los mayores requerimientos de fertilización y al aumento del consumo energético para preparar el suelo (González et al., 2007).

Los sistemas agroforestales pueden mejorar la productividad de los suelos, controlar la erosión y regular la disponibilidad de agua en las tierras degradadas o menos productivas. El manejo de suelos en un sistema agroforestal persigue alternativas a disminuir los riesgos de erosión, el mejoramiento del suelo en SAF está vinculado al crecimiento de los árboles fijadores de nitrógeno o de árboles/arbustos de raíces profundas que aumentan la disponibilidad de los nutrientes a través de la fijación biológica, reciclaje de nutrientes desde capas profundas hacia la superficie del suelo (Beer et al., 2003).

3.9.3. Almacenamiento de carbono

3.9.3.1. Almacenamiento de carbono en biomasa aérea

Este criterio pertenece a la categoría de servicios de regulación. Los árboles tienen un rol importante de regulación de la concentración de CO₂ en la atmósfera, ya que son capaces de fijar CO₂ por medio de la fotosíntesis y almacenar el carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongado, por lo que son estimados como reservas naturales de carbono (Timoteo, 2016).

Los sistemas agroforestales tienen la capacidad de almacenar mayor contenido de carbono en forma de biomasa en comparación con los sistemas de cultivos en sistemas convencionales. Estos sistemas, al combinar los cultivos o frutales con especies forestales, incrementan los niveles de captura de carbono, mejorando a su vez la productividad. No obstante, se debe considerar que, la cantidad de carbono almacenada varía en función a la edad, diámetro y altura de los árboles, densidad de la plantación de cada estrato y la asociación vegetal (Alegre, 2002).

Los SAF que combinan principalmente los cultivos perennes (café y cacao) con árboles de sombra, cumplen un papel importante en la mitigación del calentamiento del planeta, ya que estos pueden almacenar entre 12 y 228 t C ha⁻¹, principalmente en la madera del componente leñoso (Poveda, 2013).

4. METODOLOGÍA

4.1. Diseño de la investigación

Este trabajo consistió en una investigación descriptiva de campo, donde se evaluó la sostenibilidad de los agroecosistemas cafetaleros a través de criterios e indicadores de tres servicios ecosistémicos.

4.2. Hipótesis

Los servicios ecosistémicos provistos por los sistemas agroforestales con café son diferentes entre Jipijapa y Santa Ana.

4.3. Definición de variables

4.3.1. Conservación de agroecosistema

4.3.1.1. Calidad de hábitat

Este criterio describe las características del sistema de producción donde se evaluaron 4 indicadores: número de estratos presentes en el sistema, especies arbóreas nativas o no nativas, número de árboles con DAP > 5 cm y porcentaje de árboles con epifitas.

4.3.2. Control de erosión

4.3.2.1. Conservación de suelo

Por medio de este criterio se estima el porcentaje de cobertura del suelo ya sea con plantas (gramíneas, plantas de hoja ancha, helechos y enredaderas) u hojarasca y el suelo desnudo.

4.3.3. Almacenamiento de carbono

4.3.3.1. Almacenamiento de carbono en biomasa aérea

Se estimó la biomasa aérea en plantas de café y de todo el componente arbóreo utilizando ecuaciones alométricas. Luego se extrapolaron los valores de biomasa a hectárea y se multiplicaron por una fracción de carbono.

4.4. Recolección de datos

Esta investigación se condujo desde el 20 de mayo 2020, en donde se evaluaron 12 fincas con café (12 ha fueron inventariadas) en la provincia de Manabí en los cantones cafetaleros Jipijapa (6 fincas) y Santa Ana (6 fincas), los cuales presentan diferencias edafoclimáticas en lo que respecta a humedad relativa, temperatura, altitud y

precipitación (Tabla 1). Las plantaciones tuvieron entre 2 y 5 años, las variedades encontradas fueron arará amarillo, arará rojo y sarchimor.

Tabla 1. Características edafoclimáticas de los cantones de Santa Ana y Jipijapa 2020.

Sitio	Humedad relativa	Temperatura	Altitud	Precipitaciones
Santa Ana	75%	23.5° C	659 msnm	1876 mm
Jipijapa	66%	29 ° C	300 msnm	1626 mm

Fuente: Climate-data-org. 2020

La metodología se basa en la evaluación de criterios e indicadores (Tabla 2). Un criterio es un aspecto considerado importante para la evaluación de un servicio ecosistémico, y un indicador es una característica cuantitativa, cualitativa o descriptiva que, sí se mide o controla periódicamente, permite indicar la dirección de los cambios producidos.

La evaluación de servicios ecosistémicos, por medio del uso de criterios e indicadores facilita la definición del estado actual de los servicios ecosistémicos, hacia donde van, la información generada ayuda a la toma de decisiones (Medina, 2008).

Tabla 2. Criterios e indicadores para la evaluación de los servicios ecosistémicos en los sistemas agroforestales con café de Jipijapa y Santa Ana, 2020.

Servicios ecosistémicos	Criterios	Indicadores
Conservación de agroecosistemas	Calidad del hábitat	1. Número de estratos presentes en el sistema 2. Especies arbóreas nativas o no nativas 3. Número de árboles con DAP > 5 cm 4. Árboles con epifitas (%).
Control de erosión	Conservación del suelo	1. Cubertura del suelo (%).
Almacenamiento de carbono	Almacenamiento de carbono en biomasa aérea	1. Carbono almacenado en árboles (Mg ha ⁻¹). 2. Carbono almacenado en plantas de café (Mg ha ⁻¹).

Fuente: Pico-Mendoza et al. (2020).

4.4.1. Conservación de agroecosistemas.

Para analizar el criterio calidad de hábitat del servicio ecosistémicos conservación de agroecosistemas, se consideraron 4 indicadores (Tabla 2). El número de estratos presentes en el sistema se estimaron de acuerdo con cuatro rangos de altura: bajo (<5 m); medio-bajo (5–9.9 m); medio-alto (10–15 m), y alto (> 15 m). Se utilizó la estimación visual para medir la altura de los árboles. Cada especie arbórea se clasificó de acuerdo con su origen (nativo o no nativo). Se realizará un censo completo de todos los árboles con diámetro de tronco a la altura del pecho (DAP; 1.30 m) \geq 5 cm presentes en los cafetales. El porcentaje de árboles con epifitas dentro de cada finca se estimó en función del inventario.

4.4.2. Conservación del suelo

Para analizar el criterio Conservación del suelo del servicio ecosistémicos control de erosión, se consideró 1 indicador (tabla 2). La cobertura del suelo se estimó del área cubierta con plantas (gramíneas, plantas de hoja ancha, helechos y enredaderas), hojarasca y suelo desnudo. Se determinaron 100 puntos dentro de todo el cafetal, en donde se recorrió la parcela en zigzag (método punta de zapato que consiste en caminar 5 pasos en donde callera la punta del zapato observando la cubierta del suelo) el cual mide el valor del porcentaje de cobertura del suelo cuantificando el área cubierta.

4.4.3. Almacenamiento de carbono

Para analizar el criterio almacenamiento de carbono en biomasa aérea del servicio ecosistémicos almacenamiento de carbono, se consideraron 2 indicadores (tabla 2). Se estimó la biomasa aérea en plantas de café y de todo el componente arbóreo utilizando ecuaciones alométricas (Tabla 3). Se midió la circunferencia del tallo a 15 cm del suelo en 100 plantas de café en cada finca, para ello se seleccionaron 4 puntos en la plantación, cada punto corresponde a un cuadro de 25 plantas (5 plantas por 5 surcos). Luego se extrapolaron los valores promedios de biomasa (kg) al total de plantas de café por hectárea. Se tomaron los diámetros a la altura del pecho (DAP) de todos los árboles presentes en el cafetal para calcular la biomasa aérea del componente arbóreo.

La fracción de carbono que se utilizó fue de 0.5 (Intergovernmental panel on climate change IPCC, 2003) y el contenido de carbono se estimó multiplicando la

biomasa aérea de las plantas (kg) por la fracción de carbono. Finalmente se presentaron los resultados en Mg C ha⁻¹ (Pico et al., 2020).

Tabla 3. Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de las plantas de café y árboles en los sistemas agroforestales con café de Jipijapa y Santa Ana, 2020.

Especie	Modelo	Fuente
<i>Coffea arabica</i> L.	$\text{Log}_{10}(\text{BT}) = -1.181 + 1.991 * \text{Log}_{10}(\text{d15})$	(Segura et al., 2006)
Árboles en cafetales	$B = -0.9578 + 2.3408 * \log_{10}(\text{DBH})$	(Suárez et al., 2004)
Cítricos	$B = -6.64 + 0.279(\text{BA}) + 0.000514(\text{BA}^2)$	(Schroth et al., 2002)
Árboles frutales	$B = 10^{(-1.11 + 2.64 * \text{Log}_{10}(\text{DBH}))}$	(Segura & Andrade 2008)
<i>Theobroma cacao</i> L.	$B = 10^{(-1.625 + 2.63 * \text{Log}_{10}(\text{d}_{30}))}$	(Segura & Andrade 2008)

Notas: B = biomasa en material seco (kg); Log₁₀ = logaritmo base10; DAP = diámetro del tronco (cm) en el pecho altura (1.3 m sobre el suelo); d15 = diámetro del tronco (cm) 15 cm sobre el suelo; d30 = diámetro del tronco (cm) 30 cm sobre el suelo; BA = área basal (m²).

4.5. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 0.05. Los datos se sometieron a pruebas de normalidad (Shapiro Wilks) y homogeneidad de los residuos de la varianza. Los valores de las variables en estudio se presentarán como media ± desviación estándar. Se realizó prueba de comparación múltiple para las variables que fueron significativas en el ANOVA, mediante el método de la Diferencia Significativa Honesta de Tukey ($\alpha = 0.05$). El análisis se lo realizó por medio del programa estadístico InfoStast versión estudiantil 2017 (Di Rienzo et al., 2017) para el análisis de los datos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Conservación de agroecosistemas

Se registró un total de 35 especies y 61 árboles por hectárea en las fincas ubicadas en el cantón Santa Ana; mientras que, en Jipijapa, las fincas presentaron un total de 32 especies y 58 árboles por hectárea (Tabla 4), distribuidas en 30 especies para ambos cantones, como: *B. orellana*, *P. americana*, *A. squamosa*, *P. millei*, *C. cainito*, *M. heterofylla*, *F. elastica*, *A. hottlei*, *Pouteria sp.*, *A. altilis*, *Inga spp.*, *A. muricata*, *C. peltata*, *P. guajava*, *C. alliodora*, *C. limonia*, *A. blackiana*, *C. reticulata*, *M. indica*, *F. golmanii*, *C. kujete*, *C. oblonga*, *C. sinensis*, *C. papaya*, *E. velutinade*, *Musa spp.*, *T. grandis*, *C. paradisi* y *C. erio stigma*; quedando 5 especies para Santa Ana que no están en Jipijapa como: *T. cacao*, *T. cumingiana*, *S. purpurea*, *S. saponaria* y *C. aurantifolia*; y 2 especies para Jipijapa que no se encuentran en Santa Ana: *C. siliqua* y *S. saman*.

El número total de especies de las fincas del catón Santa Ana y Jipijapa mantienen una relación con lo expuesto por Díaz y Molina (2011) quienes, al evaluar un sistema combinado de café con árboles nativos en la comunidad de Las Minas, departamento de El Paraíso de Honduras se encontraron, que dentro de los SAF existen 49 especies de árboles. Además, mencionan que el 55% de estos árboles corresponden a tres especies de *Inga* spp, lo que no concuerda con los resultados obtenidos, ya que en Santa Ana el 18% corresponde a la especie *Inga* spp y en Jipijapa el 24 %. Según la FHIA (2004) la población de árboles en los SAF debe estar entre los 44 y los 69 árboles por ha.

Tabla 4. Especies de plantas presentes en los sistemas agroforestales con café de Jipijapa y Santa Ana, 2020.

N°	Nombre Común	Nombre científico	Localidad
1	Achiote	<i>Bixa orellana</i> L.	Santa Ana /Jipijapa
2	Aguacate	<i>Persea americana</i> (Mill).	Santa Ana /Jipijapa
3	Algarrobo	<i>Ceratonia siliqua</i> L.	Jipijapa
4	Anona	<i>Annona squamosa</i> L.	Santa Ana /Jipijapa
5	Beldaco	<i>Pseudobombax millei</i> (Standl.)	Santa Ana /Jipijapa
6	Caimito	<i>Chrysophyllum cainito</i> L.	Santa Ana /Jipijapa
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i> L.	Santa Ana
8	Cativo	<i>Mauria heterofylla</i> (Kunth.)	Santa Ana /Jipijapa
9	Cauchillo	<i>Ficus elastica</i> (Roxb. ex Hornem)	Santa Ana /Jipijapa
10	Cautivo	<i>Ampelocera hottlei</i> (Standl.)	Santa Ana /Jipijapa
11	Caimitillo	<i>Pouteria</i> sp.(Aubl.)	Santa Ana /Jipijapa
12	Chamango	Especie 1.	Santa Ana /Jipijapa
13	Fernán Sánchez	<i>Triplaris cumingiana</i> Fisch. Y CA Mey.	Santa Ana
14	Fruta de Pan	<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg	Santa Ana /Jipijapa
15	Guaba	<i>Inga</i> spp. J León.	Santa Ana /Jipijapa
16	Guanábana	<i>Annona muricata</i> L.	Santa Ana /Jipijapa
17	Guarumo	<i>Cecropia peltata</i> L.	Santa Ana /Jipijapa
18	Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.	Santa Ana /Jipijapa
19	Obo	<i>Spondias purpurea</i>	Santa Ana
20	Jaboncillo	<i>Sapindus saponaria</i> L.	Santa Ana
21	Laurel	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz y Pav.) cham.	Santa Ana /Jipijapa
22	Limón lima	<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm.)	Santa Ana
23	Limón mandarina	<i>Citrus limonia</i> L.	Santa Ana /Jipijapa
24	Mameicillo	<i>Alseis blackiana</i> (Hemsl.)	Santa Ana /Jipijapa
25	Mandarina	<i>Citrus reticulata</i> (Marcov.)	Santa Ana /Jipijapa
26	Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Santa Ana /Jipijapa
27	Matapalo	<i>Ficus golmanii</i> (Moraceae.)	Santa Ana /Jipijapa
28	Tecomate	<i>Crecentia kujete</i> L.	Santa Ana /Jipijapa

39	Membrillo	<i>Cydonia oblonga</i> (Miller)	Santa Ana /Jipijapa
30	Naranja	<i>Citrus Sinensis</i> (L.) osbeck	Santa Ana /Jipijapa
31	Papaya	<i>Carica papaya</i> L.	Santa Ana /Jipijapa
32	Pepito	<i>Erythrina velutinade</i> (Willd.)	Santa Ana /Jipijapa
33	Plátano	<i>Musa spp.</i> L.	Santa Ana /Jipijapa
34	Samán	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Jipijapa
35	Teca	<i>Tectona grandis</i> L.F.	Santa Ana /Jipijapa
36	Toronja	<i>Citrus paradisi</i> Macfad.	Santa Ana /Jipijapa
37	Totumbo	<i>Cordia eriostigma</i> Pittier	Santa Ana /Jipijapa

5.1.1. Indicador: Número de estratos (estructura vertical) que constituyen los sistemas de café con sombra

En Santa Ana el 84% de las fincas cuentan con cuatro estratos (bajo, medio - bajo, medio - alto y alto) y el 16% restante corresponde a las fincas que registraron dos estratos (medio - bajo y medio - alto). Por otro lado, en Jipijapa el 50% de las fincas están constituidas por cuatro estratos (bajo, medio - bajo, medio - alto y alto) y el 50% restante pertenece a las fincas que presentaron tres estratos (bajo, medio - bajo, medio-alto), dando un promedio en la localidad de Santa Ana de 3.50 y en Jipijapa, presento un promedio de 3.67 estratos, por lo que no se determinó diferencias estadísticas entre localidades ($P > 0,05$) (Tabla 5). Lo que difieren en menor valor de lo expuesto por Pico-Mendoza et al. (2020), quienes, al evaluar los servicios en sistemas agroforestales con café en fincas, bajo diferentes certificaciones en Turrialba- Costa Rica, encontraron un promedio de 2.9 estratos presentes en los sistemas, además indica que los árboles frutales en los sistemas agroforestales con café son representativos dentro de una finca; de igual manera lo menciona Virginio (2014), quien hace énfasis que los sistemas agroforestales con 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, además en otro artículo publicado por Pérez, L. y Suárez, L. (2011), determinaron que los estratos presentaron un exceso de sombra, afectando el rendimiento del cultivo del café, cuando existe un promedio alto de estratos. Además, en el análisis que realiza Moguel y Toledo (1999) que en México las áreas productoras de café se localizan en porciones de gran importancia biogeográfica y ecológica, ahí donde se ponen en contacto los elementos tropicales y templados; que entre el 60 y 70% de las áreas cafetaleras se encuentran bajo manejo tradicional; y que por lo menos 14 de 155 regiones prioritarias recomendadas para su conservación se sobreponen o están próximas a áreas con café bajo sombra y manejo

tradicional. Este último concuerda con la investigación presentada, por lo que en las localidades presentaron el sembrío de árboles frutales son beneficios para un sistema agroforestal con café y además, el uso excesivo de siembra de estos árboles afecta gravemente a estos sistemas de cultivos.

Como resultado del número de estratos que constituyen los sistemas de café con sombra indica que el estrato bajo (<5 m) están los cafetos, en el estrato medio - bajo (5 - 9.9 m) en los que predominan las musáceas, árboles frutales (cítricos, aguacate, guayaba, anona), en el estrato medio - alto (10 - 15 m) árboles maderables como *C. alliodora*, *T. cumingiana*, *T. grandis*, *C. oblonga*, *F. elástica*, entre otras y no maderables como las *Inga* spp. y en el estrato alto (>15 m) en las que se obtuvieron especies como: *E. velutinade*, *A. hottlei*, *F. goldmanii*.

En el estrato medio - bajo (5 - 9.9 m) es el más abundante con mayor número de árboles. Este estrato comprende musáceas, árboles frutales (cítricos, fruta de pan, guabas); para el estrato bajo se encuentran los cafetos; en lo que corresponde al estrato medio alto (10 - 15 m) lo comprenden especies de árboles tales como: *C. eriostigmar*, *S. saman*, *Pouteria* sp., *C. eriostigmar*, *C. cainito*, *A. blackiana*, *A. hottleí*, *C. kujete*, *C. oblonga*, *M. indica* y *B. orellana* y el estrato alto están especies de árboles como: *T. grandis*, *F. elástica*, *E velutina* y *F. goldmanii*.

Tabla 5. Criterios e indicadores evaluados en tres servicios en los sistemas agroforestales con café de Santa Ana y Jipijapa, 2020.

Servicios Ecosistémicos	Criterios	Indicadores	Jipijapa	Santa Ana	Valor-p
Conservación de agroecosistemas	Calidad de Hábitat	1. # de estratos presentes en el sistema	3.67± 0.28	3.50 ± 0.28	0.6867
		2. Especies arbóreas nativas	15.66 ± 3.42	23.72 ± 3.42	0.1262
		3. Árboles con DAP > 5 cm # de individuos.	87.32 ± 12.31	93.67± 12.31	0.7236
		4. Árboles con epifitas (%).	54.41±8.75	60.07±8.75	0.6571
Control de erosión	Conservación del suelo	1. Cubertura del suelo (%).	75.70±10.08	66.32±10.08	0.5346
Almacenamiento de carbono	Almacenamiento de carbono en biomasa aérea	1. Carbono almacenado en árboles (Mg C ha ⁻¹).	3.94 ± 1.04	4.38 ± 1.04	0.7678
		2. Carbono almacenado en plantas de café (Mg C ha ⁻¹).	0.03 ± 1.9	0.03 ± 1.9	0.0687
		Carbono Total	3.97±1.04	4.41±1.04	0.7704

5.1.2. Indicador: Especies arbóreas nativas

Las fincas del cantón Santa Ana presentaron un total de 25 especies de árboles nativos, de las cuales se destacan: *B. orellana*, *P. guajava*, *Inga* spp, *P. americana*, *M. indica*, *A. muricata*, *A. altilis*, *C. papaya* y árboles entre estos: *E. velutinade*, *I. paraguariensis*, *Pouteria*, *C. oblonga*, *C. alliodora*, *T. cumingiana*, *S. saponaria*, *P. millei*, *F. goldmanii*, *C. erioestigma*, *C. peltata*. Entre las especies no nativas se destacan: *T. grandis*, *C. erioestigma*, *M. heterofylla*, *F. elástica*, *A. hottlei* y *Pouteria*.

En la localidad Jipijapa se determinó un total de 28 especies de árboles nativos y 8 especies no nativos. Entre las especies arbóreas nativas están: cítricos, árboles frutales como *Inga* spp., *B. orellana*, *P. guajava*, *P. americana*, *M. indica*, *A. muricata*, *A. altilis*, *C. papaya* y árboles maderables tales como: *E. velutinade*, *I. paraguariensis*, *C. alliodora*, *F. goldmanii*, *C. peltata* y *A. blackiana*, *S. saman*, *C. oblonga*.; mientras que, en las especies arbóreas no nativas se encuentran: *T. grandis*, *C. erioestigma*, *M. heterofylla*, *F. elástica*, *A. hottlei*, *Pouteria* sp, y *C. siliqua*.

En el cantón Santa Ana se encontró un promedio de 23.72 árboles nativos, lo que corresponde al 18%, en tanto que Jipijapa refleja un promedio de 15.66 árboles nativos, que corresponde al 26% (Tabla 5). Por lo tanto, no existe una diferencia significativa ($p > 0.05$); es decir que las ambas localidades tienen mayores especies nativas. Así mismo, se muestra que los sistemas agroforestales están comúnmente constituidos en su mayor parte por especies nativas. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Linkimer (2002), en fincas evaluadas en diferentes distritos de los cantones de Turrialba y Jiménez, en cual especifica la predominancia de especie nativas en los sistemas evaluados; en otra publicación, López-Gómez y Williams-Linera (2008) indican en sus resultados que la proporción de especies arbóreas nativas en cada tipo de manejo de café fue el 78%; además, Boreux, V., Vaast, P., Madappa, LP y Col (2016) demuestran que la producción de café agroforestal aumentó gracias a los árboles nativos de sombra; lo que indica que las especies arbóreas nativas son indispensables en la producción de café en los cantones de Santa Ana y Jipijapa.

5.1.3. Indicador: Árboles con DAP > 5 cm

En las fincas evaluadas en el cantón Santa Ana se registraron 427 árboles, con un diámetro comprendido entre 15 – 23 cm. Entre los más frecuentes están: *Inga* spp. con 116 individuos, *C. sinensis*, con 121 individuos, *F. elástica* con 40 individuos, *A.*

hottlei con 30 individuos y *P. copaifera* con 17 individuos. En tanto en el cantón Jipijapa se registraron 403 árboles y arbustos, con un diámetro comprendido entre 10 – 22 cm. Entre estos árboles y arbustos se destacan: con 113 individuos *C. sinensis*, *Inga* spp., con 92 individuos, 42 individuos *F. elástica*, 36 individuos *A. hottlei*, 15 individuos el *C. peltata* y con 12 individuos *T. grandis*.

No existen diferencias significativas entre la cantidad de árboles en cada localidad, en el cantón Santa Ana hay 93.67 árboles ha⁻¹ con DAP > 5cm y en Jipijapa 87.32 árboles ha⁻¹ con DAP > 5cm (Tabla 5).

En publicaciones de Valencia, Naeem, García-Barrios, West y Eleanor y Sterling (2015), también se encontró que las distribuciones del tamaño de los árboles diferían entre las granjas con árboles de 5 - 20 cm de diámetro. Estos hallazgos sugieren que, para aumentar el potencial de conservación de los sistemas agroforestales de café, particularmente para las fincas establecidas en tierras con un historial agrícola, es importante promover las especies arbóreas distintas de *Inga* spp. y especies arbóreas preferidas.

5.1.4. Indicador: porcentaje de epífitas en los árboles

En Santa Ana se determinó que el 60.07 % de los árboles cuenta con la presencia de epífitas (musgos), de las especies arbóreas con mayor presencia de epífitas fueron: *C. sinensis* (naranja), *F. elástica* (cauchillo) e *Inga* spp. (guabas). Mientras que en las fincas ubicadas en Jipijapa el 54.41% de los árboles tuvieron presencia de epífitas en los árboles. Las especies arbóreas que se encontraban con más frecuencia de epífitas fueron *C. Sinensis*, *Inga* spp. (guabas) y *P. copaifera* (cativo) (Tabla 5).

Ambas localidades se evidencia la existencia de epífitas en dos especies como: *Citrus sinensis* e *Inga* spp., estos datos concuerdan con Cuadra (2011), en la evaluación de sistemas agroforestales con café en cuatro fincas ubicadas en Macizo de Peñas Blancas, Jinotega-Matagalpa, demostrando que la mayor parte de epífitas se encontraban en especies como *Inga* spp., seguidas de *C. alliodora* y *Erythrina poeppigiana*, mientras que Franco (2009) indica que la presencia de epífitas juega un papel fundamental en la dinámica de las comunidades ya que ofrecen una gran variedad de nichos y recursos que son apropiados por diversos grupos de animales artrópodos, anfibios y aves. Sánchez, López y Hernández (2004) en su publicación de ecología de las plantas epífitas presenta un promedio de 20.25% de epífitas en plantas vasculares, lo

que demuestra un porcentaje bajo en referencia al presente estudio. Además, Gentry y Dodson, (1987); Wolf y Flamenco, (2003), estiman que el 10% de las plantas vasculares y cerca del 30% de la diversidad de plantas de bosques andinos están compuestas por epífitas.

Goodall, Bacon y Mendez (2014), en sus resultados indican que la presencia de plantas epífitas aumentó con el tiempo a pesar de la disminución de la densidad de árboles hospedantes, lo que sugiere un cambio en el manejo o mejores condiciones de hábitat para las epífitas, lo que se entiende que la presencia de epífitas se debe mantener, ya que es un indicador fundamental en los sistemas agroforestales.

5.2. Conservación de suelo

5.2.1. Indicador: Porcentaje de cobertura de suelo

En los cafetales del cantón Santa Ana el 66.32% del suelo estuvo cubierto en un 45% de hojarasca, el 27% de plantas de hoja ancha y el 6% por gramíneas. En tanto al 22% restante corresponde a suelos sin cobertura (Figura 1).

Por su parte, en los cafetales de Jipijapa se mostró un suelo cubierto del 75.70%, donde el 44% corresponde a hojarasca, el 31% de plantas de hoja ancha y el 12% de gramíneas. Mientras que el 13% sobrante comprende a suelos sin cobertura (Figura 1).

La figura 1, muestra los porcentajes de cobertura de suelo, donde Santa Ana posee el mayor porcentaje a diferencia de Jipijapa, esto se debe a que las características climáticas que presenta cada cantón proveen las condiciones para la proliferación de vegetación. Es así como, Sarría (2010). Santa Ana posee 45% de cobertura correspondiente a hojarasca, en comparación con el 44% de Jipijapa, en términos de proporción con respecto al total de suelo cubierto en cada sitio de estudios, Jipijapa posee mayor cobertura de hojarasca.

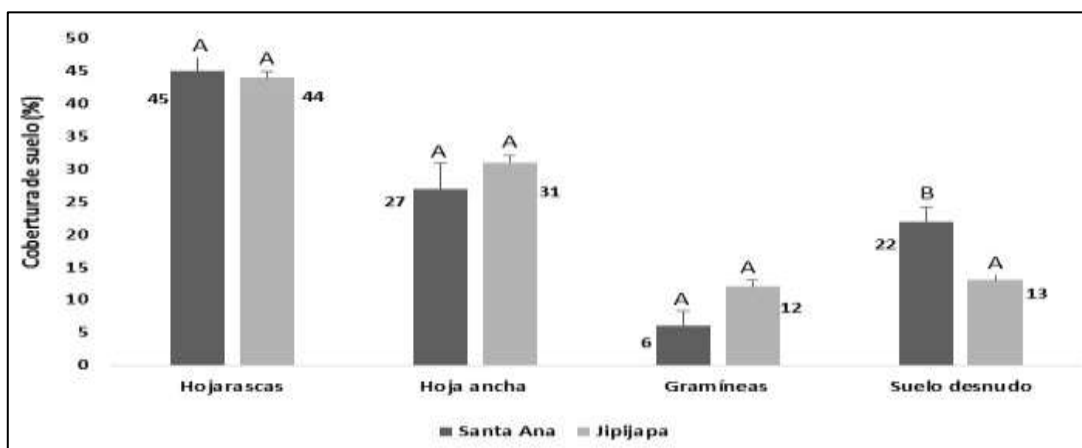


Figura 1. Porcentaje de cobertura de suelo en los sistemas agroforestales con café de Jipijapa y Santa Ana, 2020.

El 89% total de las fincas evaluadas del cantón Santa Ana y Jipijapa tiene en su gran mayoría suelos cubiertos por hojarascas, mismas que son aportadas al suelo por los árboles de sombra, para brindar una buena protección al mismo. Estos resultados son similares a lo expuesto por Filho et al. (2005), quienes al evaluar varias fincas de cooperativas COOCAFE encontraron que el 92.5% del total de las fincas cuenta con una cobertura de hojarascas en sus cafetales; Fauta (2013), demostró que las hojarascas son las que generan el mayor retorno de nutrientes al suelo, contribuyendo a su conservación. Además, una mayor cantidad de hojarasca genera un mayor contenido de humedad al suelo.

Así mismo se evidencia un promedio de 29% de plantas arvenses de hoja ancha en el suelo. Cuando Ramírez (2003), en sistemas convencionales y de transición a manejo orgánico, el predominio de especies de hoja ancha se debe al efecto residual de los herbicidas específicos contra gramíneas utilizados por varios años en la caficultura local. En otro estudio, Beer et al. (1997); Polzot, (2004) y Gutiérrez (2003) demostraron que el uso de especies leguminosas de sombra como *E. poeppigiana*, *Inga* spp. y *Gliricidia*, tienen un efecto sobre las tasas de fijación de nitrógeno, es así que pueden fijar hasta 60 kg N por año por *E. poeppigiana* en asociación con café, por otra parte, los árboles de sombra pueden producir hasta 14 t/ha/año de hojarasca y restos de poda, que pueden producir hasta 340 kg N/ha/año. Blanco y Aguilar (2015), expresan que el valor del umbral de erosión del suelo estuvo entre el 60 y el 65% de la capa de hojarasca; más allá de este nivel, la reducción de la erosión fue estadísticamente significativa; lo que demostró que los sistemas agroforestales reducen la erosión a través de su cubierta de dosel; esto también lo afirma Hartemink (2006), que la erosión del suelo bajo cultivos perennes es relativamente baja, siempre que los cultivos estén bien gestionados, es decir que existan una buena distribución de hojarasca.

5.3. Almacenamiento de carbono en biomasa aérea

5.3.1. Indicador: Carbono almacenado en biomasa aérea de árboles

El mayor contenido de carbono en árboles se encontró en las fincas del cantón Santa Ana, donde existe un promedio de 4.38 Mg ha⁻¹ (Tabla 5). Las especies que

mostraron un alto contenido de carbono almacenado fueron: *Inga* spp. con 7.94 Mg ha⁻¹, *M. indica* con 5.60 Mg ha⁻¹ y, *C. Sinensis* con 5.60 Mg ha⁻¹. Entre las especies que mostraron un contenido por debajo del 0.01 Mg ha⁻¹ están: *B. orellana*, *P. millei*, *C. cainito*, *Especie 1*, *T. cumingiana*, *C. peltata*, *C. alliodora*, *S. saponaria*, *C. aurantifolia*, *A. blackiana*, *F. golmanii*, *C. oblonga*, *I. paraguariensis*, *C. eriostigma* (Figura 2).

En las fincas del cantón Jipijapa, se obtuvo un promedio de 3.94 Mg ha⁻¹. La mayor cantidad se vio reflejada en especies como *Inga* sp con 7.10 Mg ha⁻¹, *M. indica* con 4.22 Mg ha⁻¹, *C. Sinensis* con 5.79 Mg ha⁻¹ y *B. orellana* con 3.56 Mg ha⁻¹. Mientras que las especies con menor contenido de carbono fueron: *C. siliqua*, *P. millei*, *C. cainito*, *Especie 1*, *C. alliodora* y *S. saman* (Figura 2).

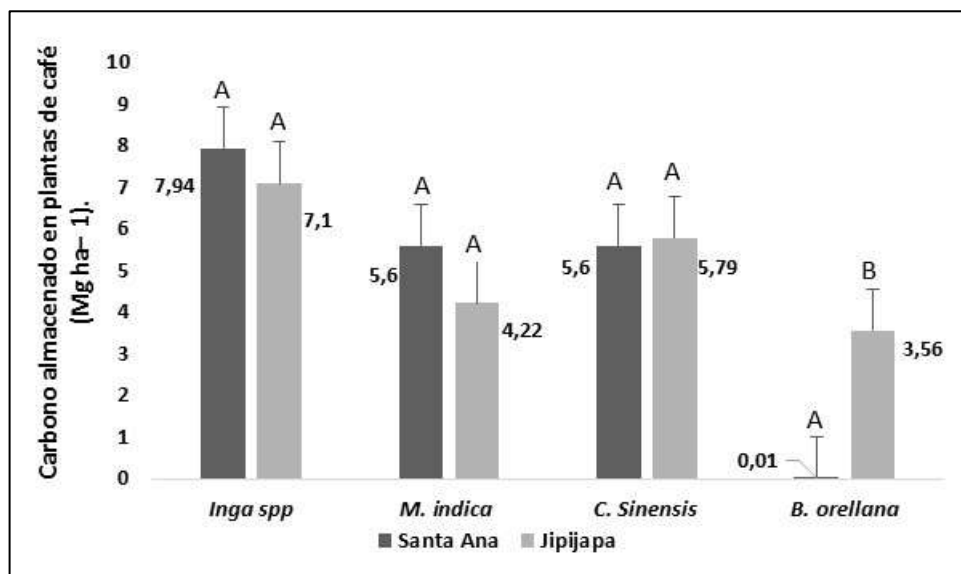


Figura 2. Especies de árboles con mayor almacenamiento de carbono en las fincas del cantón Santa Ana y Jipijapa, 2020

En las dos localidades Jipijapa y Santa Ana, se muestra que el mayor contenido de carbono almacenado se encuentra en la especie *Inga* spp. El mayor almacenamiento de carbono en árboles se ve reflejado en Santa Ana con 4.38 Mg ha⁻¹, el cual se encuentra a una altitud de 659 msnm. En relación con Jipijapa que muestra 3.94 Mg ha⁻¹ de carbono a una altitud de 300 msnm. Estos resultados concuerdan con lo expuesto por Livia (2014), en cual menciona que a mayor gradiente altitudinal aumenta el almacenamiento de carbono en los árboles. De acuerdo con Timoteo (2016) la cantidad de carbono almacenada varía en función a la edad, diámetro y altura de los árboles, la

densidad de la plantación de cada estrato y la asociación vegetal. Además, menciona que los SAF asociados con guabas y mango tienen la capacidad de almacenar gran cantidad de carbono y así mismo menciona que es de gran importancia el establecimiento de los sistemas agroforestales para la recuperación del potencial de captura de carbono en áreas degradadas para la agricultura.

5.3.2. Indicador: Carbono almacenado en biomasa aérea de café

Las localidades de Santa Ana y Jipijapa obtuvieron los mismos resultados de carbono almacenado en biomasa aérea en los cafetos con $0.03 \text{ Mg C ha}^{-1}$.

Por otro lado, los cafetos evaluados fueron de 2 - 14 años, en el cantón Santa Ana y de 2 – 15 años para Jipijapa. Siendo el carbono total en la localidad de Santa Ana de $4.41 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y en Jipijapa de $3.97 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Estos resultados concuerdan con Livia (2014), quien, al evaluar el carbono en plantaciones con café, menciona que la cantidad de carbono en promedio encontrada en las plantaciones de café de 4 años fue de $1.293 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Así mismo concuerdan con Connolly et al. (2007), quienes evaluaron plantaciones con edades promedio de 6.5 años, obtuvieron un valor promedio de $1.14 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en cafeto, lo cual son valores que no difieren a los resultados expuestos. En los sistemas de café con cítricos y café con distintos tipos de vegetación, las densidades de C por sistema en la biomasa viva y la materia orgánica del suelo son similares a las reportadas por Ávila (2001), Callo-Concha (2001) y Rajagopal (2004), en sistemas de café bajo sombra en Costa Rica, Perú y México, respectivamente; no se muestra una diferencia significativa entre ambas localidades en el almacén de carbono en árboles, cafeto y en total de carbono almacenado. Andrade y Marín (2014) en un estudio de fijación y almacenamiento de carbono en varios sistemas de producción de café en el Líbano, Tolima, Colombia, mostraron que los cafetos en asocio con varias especies de árboles tienen un almacenamiento de carbono total de 4.37 unidades, lo que concuerda con los datos expuestos en este trabajo.

En un estudio realizado por Odar (2018), menciona que las reservas de carbono son mayores en sistemas agroforestales con café que en plantaciones de café con poca sombra (monocultivo). Otro dato importante encontrado, es la cantidad de *Ingas* que se encontraron en los SAF, especies que oficialmente son fijadoras de nitrógeno. Wirth y Schumecher (2004), encontraron que los cafetos tienen mayor captura de carbono cuando están en asocio con guabas, mango y árboles como el pachaco. En otra investigación de Pinoargote, Myrian (2014), Los cafetales con mayor diversidad y

densidad de plantas en el dosel de sombra almacenaron mayor cantidad de carbono en la biomasa aérea (35 Mg C ha^{-1}) y disminuyó a medida que se reducía la complejidad del sistema hasta pleno sol (7.8 Mg C ha^{-1}). En la biomasa aérea de las leñosas se registró el 74% del C, el restante se distribuyó entre plantas de café (19%) y musáceas (7%).

5.4. Comparaciones entre las dos localidades

Los sistemas agroforestales proporcionan diversos servicios ecosistémicos que contribuyen al sustento de los agricultores y la conservación de los recursos naturales, los resultados de la presente investigación reflejaron que la conservación de ecosistemas en los cantones Santa Ana y Jipijapa no reflejan mucha variación, ya que en las fincas del cantón Santa Ana y Jipijapa el número de estratos tienen un promedio de 3.50 y 3.67. Sin embargo, Jipijapa muestra un número menor relacionado a la cantidad de árboles con $\text{DAP} > 5\text{cm}$, los cuales cuentan en su mayoría con gran cantidad de plantas epifitas, en comparación con las fincas de Jipijapas. Así mismo las fincas evaluadas en este sitio obtuvieron la mayor cantidad de cobertura de suelo en hojarasca al igual que Jipijapa, pero con la diferencia de mostrar porcentaje considerable de hojas anchas y gramíneas, lo que se atribuye se debe a la poca cobertura de sombra que los árboles proporcionen al suelo; también cuenta con una cobertura de suelo 45 – 100 individuos en su mayoría cubierto por hojarasca, que estaría estrechamente relacionado con la humedad presente; los mayores valores de almacenamiento de carbono en árboles con $4.38 \text{ Mg C ha}^{-1}$, debido a que en estas se presenta una mayor abundancia y riqueza de árboles, mayor densidad de café lo que favorece a la mitigación de gases, debido a que atrapan y mantienen el carbono en las raíces, en el acaparamiento de hojarasca y en los troncos de los árboles. En tanto que en los cafetos se encontró una menor cantidad de almacenamiento de carbono en las fincas del cantón Santa Ana y Jipijapa con $0.03 \text{ Mg C ha}^{-1}$. En relación a las especies arbóreas nativas, la mayor parte de estos árboles se encontraron en el cantón Jipijapa con un promedio de 15.66% con una diferencia del 8.06% en las localidades de Santa Ana, que obtuvo un 23.72%.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Los sistemas agroforestales con café en los cantones Jipijapa y Santa Ana proveen servicios ecosistémicos de conservación de agroecosistemas, control de erosión y almacenamiento de carbono en biomasa aérea con valores cuantitativos similares.

- La calidad de hábitat de los sistemas agroforestales con café en los cantones Jipijapa y Santa Ana está caracterizado por la presencia de tres estratos en el sistema, las especies nativas de árboles que son la cuarta parte de todos los árboles que conforman el dosel de sombra y la presencia de epífitas en la mitad de los árboles de los agroecosistemas cafetaleros evaluados.
- La conservación del suelo de los cafetales depende de la alta cobertura de suelo gracias a la presencia mayoritaria de hojarasca, seguido por la presencia de plantas de hoja ancha y en menor cantidad de gramíneas.
- El carbono almacenado en la biomasa aérea de los árboles representa el 70% del carbono que almacena el agroecosistema.

6.3. Recomendaciones

- Cultivar café en sistemas agroforestales para proveer servicios ecosistémicos a nivel de la parcela, regional y global.
- Asociar árboles de la familia Fabaceae (leguminosas) a los sistemas agroforestales con café, principalmente del género *Inga* sp., ya que además de fijador nitrógeno, este género tiende a proporcionar una gran cantidad de hojarasca al suelo y puede almacenar cantidades considerables de carbono en su biomasa aérea.
- Los árboles asociados al cultivo de café pueden ser de varios tipos como frutales, maderas, árboles de servicios, además hierbas gigantes como las musáceas ya que cada uno además de formar parte de un estrato diferente permite a las familias cafetales obtener otros productos agroforestales como frutas, leña y madera.
- Mantener especies nativas de árboles dentro de los SAF, para así reducir la extinción de algunas especies y contribuir a la conservación de hábitat.
- Considerar las características edafoclimáticas del sitio donde se establecerán los SAF con café, ya que la sombra puede ser de gran beneficio para sitios con climas cálidos y secos y suelos con baja retención de humedad y baja fertilidad.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alegre, J. (2002). Reservas de carbono según el uso de la tierra en dos sitios De la amazonia peruana. Agroforestería para la Producción Animal en América Latina - II - Memorias de la Segunda Conferencia Electrónica, Roma, Italia. <https://www.Fao.Org/3/Y44>
- Altieri, M. (2013). Agroecología y Resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Revista Agroecología*. <https://Revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921/152421>
- Arcila, P. J. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. <https://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf>
- Atallah; Gómez .M y Jaramillo. (2018). A Bioeconomic Model of Ecosystem Services Provision: Coffee Berry Borer and Shade-grown Coffee in Colombia. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092180091631190>
- Beer . John, Harvey. C , Ibrahim. M , Harmand. J, Somarriba . E, y Jiménez . F., Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*. 10 , nº 37-28 (2003).
- Boreux, V., Vaast, P., Madappa, LP y col (2016). La producción de café agroforestal aumentó gracias a los árboles de sombra nativos, el riego y el encalado. *Agron. Sostener. Dev.* 36, 42. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0377-7>.
- Castillo, R. (2015). Fijación y almacenamiento de Carbono en Sistemas Agroforestales con Café Árabe y Cacao, en dos Zonas Agroecológicas del Litoral Ecuatoriano. <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/15.-Fijacion-y-Almacenamiento.pdf>
- Cerdán. CR, Rebolledo. MC, Soto. G, Rapidel. B y Sinclair. FL. (2012). Local knowledge of impacts of tree cover on ecosystem services in smallholder coffee production systems. *Agricultural Systems*.
- CONEFAC. (2013). Fincas Cafeteleras. Quito: CONEFAC: www.redalyc.org/pdf/341/34132815013.pdf
- Cuadra, L. C. (2011). Evaluación de tres servicios ambientales de café agroforestal en fincas con diferentes tipos de manejo ubicadas en el Macizo de Peñas Blancas, Jinotega- Matagalpa. <https://repositorio.una.edu.ni/1145/1/tnk10c961.pdf>
- Díaz Noroña, C. G Molina Méndez. (2011). Evaluación del componente arbóreo en un sistema agroforestal tradicional en Las Minas, El Paraíso, Honduras. Tesis de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. El Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 24 p.
- FAO. (2016). Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura. Servicios ecosistémicos y biodiversidad.

- <http://www.fao.org/ecosystem-services%20biodiversity/background/culturalservices/es/>
- FAO. (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Interacciones dentro del Medio Ambiente. <http://www.fao.org/3/ah648s/AH648S09.htm>
- FAO. (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/b-i7374s.pdf>
- FAO. (2019). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Servicios Ecosistémicos y Biodiversidad. <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/culturalservices/es/>
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). (2004). Cultivo de cacao bajo sombra de maderables o frutales. Cortés, Honduras. http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/cultivo_de_cacao_bajo_sombra_de_maderables_o_frutales.pdf
- Fauta, A. V. (2013). “Evaluación de los sistemas agroforestales para la elaboración de un plan de manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos en el ceypsa, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxí. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Archivo digital. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1640/1/T-UTC-1514.pdf>
- Figueroa, E. P. (2009). Sistemas Agroforestales. https://www.researchgate.net/publication/328368150_Sistemas_Agroforestales
- Franco, M. D. (2009). Diversidad funcional de epífitas en sistemas silvopastoriles como fuente de hábitat para aves en la sub-cuenca del Río Copán, Honduras. http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4813/Diversidad_funcional_de_epifitas.pdf?sequence=1
- Filho, E, Jiménez, G; Detlefsen, G; Virginio. 2017. Vulnerabilidad y Capacidad Adaptativa al Cambio Climático de Pequeños Productores de Café en Honduras. XXIII Simposio Latinoamericano de Caficultura (1, 2017 San Pedro Sula, Honduras). Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- FórumCafe. (2020). El café en el Ecuador. Fórum Cultural del Café. *Fórum Café*, 5(1), 10-13. <https://www.revistaforumcafe.com/el-cafe-en-ecuador>
- Galic, N. (2012). The role of ecological models in linking ecological risk assessment to ecosystem services in agroecosystems. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969711007236?via%3Dihub>
- González Mateos, Ricardo; Volke Haller, Víctor; González Ríos, Jesús; Ocampo Portillo, Minerva; Ortíz Solorio, Carlos; Manzo Ramos, Fernando. Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal. *Terra Latinoamericana*, vol. 25, núm. 4, 2007, pp. 399-408. Chapingo, México

- Hernández. R, Mendoza. J y Salcedo. (2013). Los sistemas Agroforestales: una alternativa para el manejo sustentable de bosques y agroecosistemas. Recursos forestales en el Occidente de México.
<https://www.researchgate.net/publication/317183986>.
- Intergovernmental panel on climate change (IPCC). «WMO (World Meteorological Organization); UNEP (United Nations Environmental Program).» Synthesis Report, Geneva,Switzerland, 2003.casalegre
- INIAP. (2011). Variedades de Café.
[www.iniap.gob.ec/nsite/.../Mejora_Genética_café_experiencias_Ecuador%20\(1\).pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/.../Mejora_Genética_café_experiencias_Ecuador%20(1).pdf)
- Jha. S, Bacon. Ch, Philpott. S, Rice. R,Méndez. E, y Läderach. P. (2011). Una revisión de los servicios de los ecosistemas, los medios de vida de los agricultores y las cadenas de valor en los agroecosistemas de café de sombra. DOI 10.1007/978-94-007-1309-3_4.
- Livia, C. (2014). Carbono almacenado en la biomasa aérea por gradiente altitudinal en plantaciones de café (*Coffea arabica*) en el distrito de Hermilio Valdizán.
https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/PRACTICA%20PRE%20PROFESIONAL.pdf
- Meylan, L. (2017). Evaluating the effect of shade trees on provision of ecosystem services in intensively managed coffee plantations. ELSEVIER, 245, 32-42.
http://agritrop.cirad.fr/584377/1/2342_Meylan_AGEE%202017_Evaluating%20the%20effect%20of%20shade%20trees%20on%20provision%20of%20ecosystem%20services%20in%20intensively%20managed%20coffee%20plantations.pdf
- Melo. E. (2016). Antecedentes y perspectivas en el estudio y promoción de sistemas agroforestales.
- Mendieta. L. M y Rocha. M. L (2007). Sistemas Agroforestales. Nicaragua.
<https://repositorio.una.edu.ni/2443/1/nf08m538.pdf>
- Moguel,P y Toledo,V . Conservación de la Biodiversidad en Sistemas de Cultivo Tradicional de Café en México.
- Medina. Muñoz. Hagar y Aguilar. (2008). Propuesta metodológica para la evaluación de servicios ambientales.
- Montagnini. F; Somarriba. E; Murgueitio. E; Fassola . H y Eibl . B. (2015). Sistemas agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454p.
- Monroig M. F. Morfología Del Cafeto. <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id53.htm>
- Pico-Mendoza, J. N. (2011). Evaluación de servicios ambientales en sistemas agroforestales con café en fincas bajo diferentes tipos de certificaciones en Turrialba, Costa Rica.

http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/5048/Evaluacion_de_servicios_ambientales.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Odar, B. (2018). Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de (coffea spp.) En el anexo de vilaya, distrito de colcamar, provincia de luya, Amazonas, 2017-2018.
<http://181.176.222.66/bitstream/handle/UNTRM/1384/Berlin%20Alexander%20Odar%20Rojas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Patiño. S, Suarez. L, Andrade. H y Segura. M. (2018). Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia.
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2312/2838>.
- Pinoargote. M, Cerda. R, Mercado. L, Aguilar. A, Barrios. M y Somarriba. E. (2017). Reservas de carbono, flujo de caja neto y beneficios familiares de cuatro pequeños tipos de cafetales en Nicaragua, Bosques, Árboles y Medios de Vida. DOI: 10.1080 / 14728028.2016.1268544.
- Pico-Mendoza, J; Pinoargote, M; Carrasco, B; Limongi, R (2020). Ecosystem services in certified and non-certified coffee agroforestry systems in Costa Rica, Agroecology and Sustainable Food Systems. DOI: 10.1080/21683565.2020.1713962.
- Pincay, R. D. (2017). Establecimiento de nuevas plantaciones de café y la perspectiva de desarrollo económico en la parroquia La Unión. [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Archivo digital
<http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1041/1/Tesis-PINCAY%20SALVATIERRA%20ROC%C3%8DO%20DEL%20PILAR-Rev%203%20%283%29.pdf>
- Pinta, S. F. (2015). Sistemas Agroforestales Potencialidades para el caso del Ecuador.
<https://repositorio.una.edu.ni/2443/>
- Proaño, P. (2018). El sistema agroforestal cafetalero. Su importancia para la seguridad agroalimentaria y nutricional en Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 116-129.
- Poveda, V. (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua.
280055443_Almacenamiento_de_carbono_en_sistemas_agroforestales_de_cacao_en_Waslala_nicaragua
- Ponce. I, Acuña. R, Velázquez. W, Proaño. P y Orellana. K. (2018). El sistema agroforestal cafetalero. Su importancia para la seguridad agroalimentaria y nutricional en Ecuador.
- Ramírez, E. (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*,
https://www.researchgate.net/profile/Julio_Calvo-

- Alvarado/publication/262876662_Characterization_of_coffee_agroforestry_systems_in_the_buffer_zone_of_the_La_Amistad_biosphere_reserve_Pejibaye_de_Jimenez_Costa_Rica/links/00b4953a1d1c1296b4000000/Characteri.
- Ramírez, W. (2005). Manejo de sistemas agroforestales.
https://biblioteca.ihatuey.cu/link/libros/sistemas_agroforestales/manejo.pdf
- Rodríguez, G. (2017). Agrobiodiversidad y servicios ecosistémicos: una revisión desde los componentes y prácticas de manejo. [Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Archivo digital.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21156/NietoRodriguezGinaPaola2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruelas, L, Nava, M, Cervantes, J. y Barradas, V. (2014). Importancia ambiental de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. <https://doi.org/10.21829/myb.2014.203149>.
- Rubiano, Jorge Eliecer. «Sistemas agroforestales como estrategia para el manejo de ecosistemas de Bosque seco Tropical en el suroccidente colombiano utilizando los SIG.» Scielo, 2016: 65-77.
- F.X., S. (2007). La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas*, 16 (1).
- Sánchez, D. G. (2003). Ecología de las plantas epífitas.
<https://www.redalyc.org/pdf/629/62913142001.pdf>
- Saborío, M. F. (2015). Agroforestería y biodiversidad: la importancia de los sistemas agroforestales y la conservación de especies.
- Solórzano, N. (2010). Crecimiento y desarrollo del café (*Coffea arabica*) bajo la sombra de cinco especies arbóreas. *Revista Forestal Latinoamericana*, 61-80.
- Timoteo, K. (2016). Estimación Del Carbono Almacenado En Tres Sistemas Agroforestales Durante El Primer Año De Instalación En El Departamento De Huánuco.
https://www.researchgate.net/publication/316706965_Estimacion_Del_Carbono_Almacenado_En_Tres_Sistemas_Agroforestales_Durante_El_Primer_Ano_De_Instalacion_En_El_Departamento_De_Huanuco
- Valencia, F. F. (2014). Agroforestería y sistemas agroforestales con café.
https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf
- Virginio, E. (2014). Agroforestería Sostenible.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5443/1/Valoraci%C3%B3n%20socio-Productiva%20de%20fincas%20diversificadas.pdf>
- Van, M, Dautzat, J, Harmand, J, Lawson, G y Vaast P. (2010). Sistemas agroforestales de café en Centroamérica: Una revisión de información cuantitativa sobre fisiología y procesos ecológicos. DOI: 10.1007/s10457-010-9294-y.

ANEXOS

Anexo 1.- Fotografía de los sistemas agroforestales con café evaluados.



Anexo 2.- Recolección de datos en las fincas de Jipijapa y Santa Ana.



Anexo 3.- Fotografías de las especies arbóreas presentes en el sistema agroforestal.



Anexo 4.- Fotografías del café presente en el sistema agroforestal.



ANEXO 5.- FORMULARIO 1: CENSO COMPLETO DE ESPECIES DEL DOSEL

(Todas las especies con diámetro mayor a 5cm)

Nombre del productor: _____ Fecha: _____ Coordenadas: _____

Carbono			Biodiversidad		Observaciones
#	Nombre común	CAP (cm)	Altura (m)	Epifitas	

Carbono			Biodiversidad		Observaciones
#	Nombre común	CAP (cm)	Altura (m)	Epifitas	

Para cacao la circunferencia a 30 cm del suelo

ANEXO 6.- FORMULARIO 2: MUESTREO DE CAFETOS DIÁMETROS A 15 cm

Nombre del productor: _____ Fecha: _____ Coordenadas: _____

Punto 1				Punto 2				Punto 3				Punto 4			
#	C1	C2	C3	#	C1	C2	C3	#	C1	C2	C3	#	C1	C2	C3
1				1				1				1			
2				2				2				2			
3				3				3				3			
4				4				4				4			
5				5				5				5			
6				6				6				6			
7				7				7				7			
8				8				8				8			
9				9				9				9			
10				10				10				10			
11				11				11				11			
12				12				12				12			
13				13				13				13			
14				14				14				14			
15				15				15				15			
16				16				16				16			
17				17				17				17			
18				18				18				18			
19				19				19				19			
20				20				20				20			
21				21				21				21			
22				22				22				22			
23				23				23				23			
24				24				24				24			
25				25				25				25			

C: circunferencia a 15 cm del suelo

ANEXO 7.- FORMULARIO 3: CONSERVACIÓN DE SUELO

Nombre del productor: _____ Fecha: _____ Coordenadas: _____

Cobertura del suelo

(SD: suelo desnudo, G: gramínea, HA: hoja ancha, H:hojarasca)

TIPO DE COBERTURA					
#	P1	P2	P3	P4	P5
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

Pérdida de suelo (ancho, alto y largo de los canales o cárcavas)

#	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

#	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Práctica de conservación de suelo en la finca

Actividad	# de actividades	Total
Barrera vivas para reducir la escorrentía		
Obra física para evitar erosión (ejm terrazas)		
Obra física para mitigar erosión (ejm paredes de retención)		
Obras de captura de agua		