

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Evaluación de la riqueza y diversidad de especies, eficiencia energética,
carbono aéreo y clorofila en sistemas agroforestales en la cuenca baja del río
Bulu-bulu entre las Provincias de Cañar y Guayas**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Agrónomo

Autoras:

Eva Patricia Guzman Jara

Ivana Micaella Vega Romero

Director:

Pedro René Zea Dávila

ORCID:  0000-0002-2225-7881

Cuenca, Ecuador

2023-07-03

Resumen

El ecosistema natural de la costa ecuatoriana y los SAF han sido fuertemente afectados por la actividad humana para generar actividades agrícolas productivas intensivas, por ello es fundamental conocer la importancia que producen los sistemas agroforestales en el ecosistema. En esta investigación se evaluó la riqueza y diversidad de especies, eficiencia energética, carbono aéreo y la clorofila en sistemas agroforestales en la cuenca baja del río Bulu-bulu entre las Provincias del Cañar y Guayas, con la finalidad de mejorar la información al respecto y buscar relaciones entre todos los elementos. Para estimar el carbono se usó ecuaciones alométricas, para medir el índice de la clorofila se utilizó un equipo atLEAF, para la eficiencia energética se usaron encuestas de entradas y salidas, en la riqueza y diversidad de especies se calculó los índices de alfa y beta. Se establecieron parcelas de 500 m² en sistemas de producción que se estratificaron por número y por tamaño. El aporte energético con mayor cantidad fue los fertilizantes orgánicos de los sistemas agroforestales medianos con el 51,08% y una media de 5325,89 MJ/ha. En el caso de la diversidad beta se obtuvo que una similitud del 0,66% de especies en los 3 tamaños de SAF. El contenido de carbono aéreo fue mayor en las fincas pequeñas con 0,72 t C/ha y la especie que almacena más biomasa aérea fue *Handroanthus chrysanthus* con 0,48 t C/ha. En cuanto a la clorofila la especie *Citrus sinensis* presentó una mediana mayor de 75,13 unidades de atLeaf.

Palabras clave: sistemas agroforestales, eficiencia energética, carbono, clorofila

Abstract

The natural ecosystem of the Ecuadorian coast and the PFE have been strongly affected by human activity to generate intensive productive agricultural activities, therefore it is essential to know the importance that agroforestry systems produce in the ecosystem. This research evaluated species richness and diversity, energy efficiency, aerial carbon and chlorophyll in agroforestry systems in the lower basin of the Bulu-bulu river between the provinces of Cañar and Guayas, in order to improve the information on the subject and to look for relationships between all the elements. Allometric equations were used to estimate carbon, an atLEAF equipment was used to measure the chlorophyll index, energy efficiency was measured using input and output surveys, and species richness and diversity were calculated using alpha and beta indexes. Plots of 500 m² were established in production systems that were stratified by number and size. The energy input with the highest amount was organic fertilizers in medium agroforestry systems with 51.08% and an average of 5325.89 MJ/ha. In the case of beta diversity, it was obtained that a similarity of 0.66% of species in the 3 sizes of PFS. The aerial carbon content was higher in the small farms with 0.72 t C/ha and the species that stores more aerial biomass was *Handroanthus chrysanthus* with 0.48 t C/ha. In terms of chlorophyll, the species *Citrus sinensis* presented a higher median of 75.13 atLeaf units.

Keywords: agroforestry systems, energy efficiency, carbon, chlorophyll

Índice de contenido

1.	Introducción	12
2.	Objetivos.....	14
2.1.	Objetivo General.....	14
2.2.	Objetivos específicos	14
3.	Hipótesis	15
4.	Revisión bibliográfica	16
4.1.	Sistemas Agroforestales (SAF)	16
4.2.	Riqueza y diversidad de especies.....	16
4.3.	Diversidad alfa	17
4.4.	Diversidad beta.....	17
4.5.	Eficiencia Energética	17
4.6.	Captura del carbono aéreo	18
4.7.	Clorofila	19
5.	Materiales y métodos	19
5.1.	Zona de estudio	19
5.2.	Materiales requeridos para el proyecto	20
5.3.	Cálculo de la muestra	21
5.4.	Delimitación de las parcelas	21
5.5.	Metodología para alcanzar el primer objetivo específico: “Identificar la riqueza y diversidad de especies en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio.”.....	22
5.5.1.	Índice de diversidad alfa de Shannon	23

5.5.2. Índice de dominancia de Simpson	23
5.5.3. Índice de diversidad alfa de Simpson.....	24
5.5.4. Índice de diversidad beta de Simpson	24
5.5.5. Índice de diversidad de Margalef	24
5.6. Metodología para alcanzar el segundo objetivo específico: “Evaluar la eficiencia energética en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio”.....	25
5.7. Metodología para alcanzar el segundo objetivo específico: “Estimar el carbono aéreo en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio”.....	26
5.8. Metodología para alcanzar el segundo objetivo específico: “Estimar el contenido de clorofila en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio”	27
5.9. Análisis de datos.....	28
6. Resultados y discusión	28
6.1. Identificar la riqueza y diversidad de especies en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio (Primer objetivo).....	28
6.1.1. Diversidad Alfa.....	29
6.1.2. Diversidad Beta	29
6.1.3. Curva de acumulación de especies	29
6.2. Evaluación de eficiencia energética en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio (Primer objetivo)	31
6.2.1. Comparación de los sistemas agroforestales en la zona de estudio.	34
6.2.2. Correlaciones entre entradas, salidas y eficiencia energética de los sistemas de producción.....	34
6.3. Estimación del contenido de carbono aéreo almacenado en los sistemas agroforestales (SAF) en las zonas de estudio (Segundo objetivo).....	38

6.4. Estimación del contenido de carbono aéreo almacenado por especies vegetales leñosas dentro de los sistemas agroforestales en las zonas de estudio (Segundo objetivo)	
39	
6.5. Estimación del índice de clorofila foliar de los sistemas agroforestales en la zona de estudio (Segundo objetivo)	41
6.5.1. Correlación entre la clorofila foliar y la altura de las plantas almacenado por planta (Segundo objetivo)	42
7. Conclusiones	43
8. Recomendaciones	44
Referencias.....	45
Anexos.....	53

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del Cantón El Piedrero	20
Figura 2. Curvas de acumulación de especies en relación Sistemas de producción – riqueza (A) y Número de individuos – riqueza (B).....	31
Figura 3. Balance energético de los diferentes sistemas de producción.....	32
Figura 4. Cantidad de carbono almacenado en los diferentes tamaños de clasificación de las zonas de estudio mediante la representación de las medianas.....	39
Figura 5. Representación de la mediana de la estimación de carbono alométrico de cada especie existente en la zona de estudio.....	40
Figura 6. Mediana del porcentaje de actividad clorofila por especies encontradas en la zona de estudio.....	42
Figura 7. Dispersión del nivel de correlación y significancia entre las variables clorofila foliar y la altura de las plantas por planta (intervalo de confianza $\alpha=0,05$) mediante la prueba de Pearson	43

Índice de tablas

Tabla 1. Materiales requeridos en el proyecto.....	20
Tabla 2. Clasificación de las fincas	22
Tabla 3. Encuesta de salidas	25
Tabla 4. Encuestas de entrada	26
Tabla 5. Ecuaciones alométricas utilizadas para la estimación de biomasa arriba del suelo en los cacaotales.	27
Tabla 6. Composición florística en los diferentes tamaños de fincas.....	29
Tabla 7. Promedio de entradas y salidas de energía en los sistemas de producción.	33
Tabla 8. Prueba de Kruskal-Wallis	34

Agradecimientos

Queremos agradecer principalmente a las comunidades María Teresa, La Trinca, El Ají, Nueva Unión, Playa Seca y San Eduardo por habernos brindado la oportunidad de estudiar sus zonas y dejarnos desarrollar nuestro proyecto. Un agradecimiento especial a nuestro tutor de tesis Ing. Pedro Zea M.SC., por siempre apoyarnos y guiarnos en este trabajo, fue un apoyo incondicional y motivacional, nos brindó sus conocimientos y nos impulsó a ser mejores profesionales. A todos los docentes que guiaron y compartieron con nosotras sus enseñanzas, conocimientos, prácticas, etc., y al personal administrativo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Aquellos que compartieron y convivieron con nosotras, estamos agradecidas por la oportunidad que nos brindaron y por todo lo que recorrimos en la carrera, a nuestros amigos que nos ofrecieron su ayuda cuando la necesitábamos y agradecidas por su amistad, nos dejan un grato recuerdo.

Ivana Vega y Eva Guzman

Dedicatoria

"A Dios, por darme la sabiduría, fuerza y paciencia para poder seguir luchando cuando más sentía que quería rendirme. A mis padres, Patricia y Marino, que han sido pilares fundamentales en mi vida. Muchos de mis logros se los debo a ustedes, entre los que se incluyen este. Gracias por toda la paciencia y amor que me han brindado en estos años de estudios, gracias por todo el apoyo que me han dado en todas las decisiones que he tomado. Espero que me alcance la vida para honrarlos como se merecen.

A mis hermanos, Jhon, Daniela y Matías, por todo el apoyo incondicional que me han dado a lo largo de mi vida.

A toda mi familia, que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

Y gracias a mí por la paciencia y valentía."

Eva Guzman

Dedicatoria

Agradecida con Dios, todo mi fuerzo y logro se lo dedico a mi abuelita Irma Peñarreta, mi ángel del cielo. Especialmente a mis padres, Sonia y Telmo por ser los pilares fundamentales en mi vida, gracias por su bendición, por creer en mí siempre, por sus esfuerzos y sus sacrificios, pero por sobre todas las cosas gracias por todo el amor que me brindan, por haber sido pacientes conmigo en todo este proceso, espero que me alcance la vida para brindarles todo lo que se merecen. A mis hermanos Lucy y Jinson por su apoyo y muestras de cariño, a mi familia y a las personas que me han rodeado en estos últimos años de carrera, gracias por quedarse a mi lado, por motivarme a seguir adelante, gracias por todo su apoyo incondicional y no dejarme nunca sola, estoy eternamente agradecida.

Ivana Vega

Introducción

Ecuador tiene una alta tasa de deforestación en el trópico, perdiendo 66.000 hectáreas cada año, esto significa que la cantidad de vegetación presente en los bosques amazónicos se reducirá y la madera se abastece permanentemente. Como base para la producción de madera, leña y otros productos forestales, los debates históricos muestran la importancia de promover el manejo sostenible de los árboles en el sistema agroforestal (Jadán, Günter, Torres, & Selesi, 2015).

El Sistema Agroforestal (SAF) es reconocido como una alternativa sostenible en las regiones tropicales, donde la producción agrícola en rápida expansión está dañando los bosques naturales, los SAF son la interacción entre una planta y/o animales mayores de interés económico unida a una planta leñosa, algunos estudios destacan la capacidad de SAF para proteger la biodiversidad y algunos servicios si se establece en el ecosistema sin afectar el rendimiento del cultivo objetivo, estableciendo un nivel de sombra apropiado (Selesi, 2013).

Específicamente, los SAF están involucrados en servicios regulatorios como el mantenimiento de nutrientes, evitar la erosión del suelo, secuestro de carbono, polinización, control de plagas y malezas, además, los productos de los árboles han generado ingresos para los agricultores, estos sistemas buscan una alternativa ante la problemática del monocultivo, para optimizar la producción por unidad de superficie, respetando el principio de lograr una producción sostenible. Al integrar árboles en sistemas de producción y paisajes agrícolas, la producción se diversifica y ayuda a aumentar los beneficios sociales, económicos y ambientales (Rodríguez, Suárez, Casanova, & Ngo, 2021).

Al mismo tiempo, los sistemas agrícolas requieren insumos altos y crecientes, lo que significa altos costos de energía. El uso racional de la energía es la forma de optimizar el uso del agua de riego, fertilizantes, abonos orgánicos, combustibles, herbicidas e insecticidas, mejorando así la competitividad de las fincas de cultivo en el mercado mundial. Por tanto, se debe tener en cuenta el aprovechamiento de la energía a través de insumos y, además, se deben seleccionar sistemas de producción que sean eficientes en la gestión energética, que además permitan generar recursos energéticos, alimentarios o energéticos, sin aumentar la concentración de gases que contribuyen al efecto invernadero (Denioia & Montico 2010).

Además, el dióxido de carbono es considerado el principal gas de efecto invernadero, con una tasa de crecimiento anual del 1,4% desde el 2010. Por ello son importantes las acciones encaminadas al control de las emisiones de carbono y la estimación del potencial de secuestro de CO₂ por parte de la vegetación. Los sistemas agroforestales (SAF) basados

en cultivos de cacao juegan un papel importante en el ciclo global del carbono (Castillo, Duicela, Luis, & Chamba, 2016). En este caso, la edad de las plantas, la fertilidad del suelo, el diámetro del tronco, la composición de los árboles, la abundancia y el área geográfica son identificados como factores que determinan la captura y retención de carbono en la vegetación (Cueva, Lozano, & Yaguana, 2019).

Es importante mencionar que el análisis de clorofila que se encuentra presente en las hojas de las especies vegetales ayuda a establecer la cantidad de carbono almacenado así mismo como los niveles de asimilación de nitrógeno. El contenido de clorofila en hojas es considerado como una de las variables importantes al momento de evaluar el estado fisiológico de las plantas y la relación entre su origen y vertedero. Esto hará que sea más fácil determinar cuándo la planta está bajo estrés ya sea por salinidad o de cualquier otro tipo, esta perjudica el proceso fotosintético y reduce la asimilación de nitrógeno y la fijación de carbono (Castañeda, Merchán, Pinzón, Cely, & Serrano, 2018).

En el año 2019 se incrementó la demanda mundial por el cacao orgánico en un 35% por lo cual los SAF es una alternativa de implementación y en el cultivo de cacao está conformado por una gran cantidad de árboles de sombra con la finalidad de mejorar la biodiversidad, es por ello que el enfoque principal de este trabajo serán los SAF relacionados con varios cultivos frutales en la zona de estudio. En el terreno, el establecimiento SAF puede estar relacionado con el aumento de la comunidad de macrofauna, almacenamiento de carbono, agua y nutrientes (Alcívar et al, 2021).

Esta investigación nos permitió estudiar y recolectar datos de los sistemas de producción para lograr con los objetivos de evaluación de la riqueza y diversidad de especies, eficiencia energética, carbono aéreo y clorofila en sistemas agroforestales en la Parroquia el Piedrero. Esta es una de las primeras investigaciones realizadas en la zona que nos servirá como apoyo para futuros proyectos y planificaciones dentro de la zona de estudio.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar la riqueza y diversidad de especies, eficiencia energética, carbono aéreo y clorofila en sistemas agroforestales en la cuenca baja del río Bulu-bulu entre las Provincias de Cañar y Guayas.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar la riqueza y diversidad de especies en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio.
- Evaluar y estimar la eficiencia energética, el carbono aéreo y el contenido de clorofila en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio.

3. Hipótesis

H1: Existirá relación entre la eficiencia energética y la evaluación de carbono y la clorofila entre los sistemas de producción observados.

H2: Existirá diferencia de diversidad entre los sistemas de producción grandes, medianas y pequeñas en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio.

4. Revisión bibliográfica

4.1. Sistemas Agroforestales (SAF)

La agroforestería es un sistema de gestión sostenible de la tierra y los cultivos que tiene como objetivo aumentar continuamente la productividad, mediante la combinación de la producción de cultivos forestales (incluidos frutales y otros cultivos) con cultivos de campo o arables y/o animales durante mucho tiempo, de forma simultánea o secuencial en la misma unidad de tierra, y al mismo tiempo aplicar métodos de manejo adecuados compatibles a las prácticas culturales de la población local (Farell & Altieri, 1999).

En la agroforestería, los factores agrícolas interactúan con los elementos del bosque y crean un sistema de producción sostenible en la misma unidad de tierra. En general, es un sistema de manejo sostenible de cultivos y tierra, a través de la cual se busca continuamente aumentar y combinar la producción de especies arbóreas económicamente valiosas, pastos para el ganado de forma simultánea o continua (Farfán, 2014).

La agroforestería es una parte muy importante en el proceso de conservación y mejoramiento del suelo, es una estrategia deliberada para fortalecer y establecer la sostenibilidad de la finca de los agricultores mediante la promoción de diversificación de la producción y formación en el manejo de sistemas estratificados, mejorar y mantener todo tipo de agricultura, aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo, la fijación de nitrógeno en la atmósfera, reciclaje de los nutrientes y regula el microclima de las plantas. Sobre todo, maximizar la productividad del sistema a través de la producción sostenible (Anguiano, Aguirre, & Palma, 2015).

La importancia relativa e impacto de varias interacciones con árboles bajo sombra dependen de las condiciones de ubicación (suelo y clima), la selección del genotipo (especies, variedades, fuentes), las características de las plantas y los cultivos, tanto superficiales como subterráneos, y las prácticas de manejo de los principales cultivos. Esto genera un impacto positivo en la producción de cacao (Ordóñez, 2008).

4.2. Riqueza y diversidad de especies

Carmona & Carmona en el año 2013 define a la riqueza de especies como el número de especies detectadas durante un muestreo. Esta riqueza de especies vegetales está en estrecha relación con la altitud, las características que presente el suelo (textura, contenido de carbono, pH, profundidad, drenaje y nutrientes) y el clima (lluvias anuales, estacionales y

sequías) son las causas más importantes que influyen en los patrones de riqueza y diversidad de especies (Sánchez et al., 2018).

4.3. Diversidad alfa

La diversidad alfa representa a la diversidad de especies en todas las subunidades locales relevantes y está conformada por dos variables (1) la riqueza de especies y (2) la abundancia relativa de especies (Carmona & Carmona, 2013).

Hay que tener en cuenta que existen varios índices para calcular esta diversidad como por ejemplo el índice de Fisher, índice de Simpson y el índice de Shannon – Wiener. La mayoría de estos índices utilizan las variables de riqueza y abundancia relativa, la diferencia es que en las operaciones matemáticas estos valores se colocan y organizan de manera diferente (Carmona & Carmona, 2013).

4.4. Diversidad beta

Según (Halffter, Soberón, Koleff, & Melic, 2005), la diversidad beta se define como la medición de las diferencias entre especies en dos puntos, dos comunidades o dos paisajes. Las diferencias se pueden medir en base al espacio si las mediciones se realizan en lugares distintos, pero en un mismo tiempo, o en el tiempo, cuando las mediciones se hacen en la misma área, pero en tiempos distintos.

4.5. Eficiencia Energética

En el sector agrícola se ha visto un incremento en el consumo de energía debido al uso de maquinarias, fertilizantes y pesticidas. En la agricultura el uso de energía se refiere a los recursos energéticos no renovables e implica resultados en las dimensiones sociales, económicas y de sostenibilidad. Un método ampliamente utilizado para evaluar la eficiencia energética de los sistemas agrícolas es el análisis de entrada y salida de energía. En este método, todas las entradas y salidas agrícolas se multiplican por factores de conversión para aproximar las entradas y salidas de energía. Este es un método que se ha aplicado de forma global, nacional y regionalmente para analizar la eficiencia energética de varios productos agrícolas (Hatirli, Ozkan, & Fert, 2016).

A través de estudios comparativos, también se ha utilizado para evaluar la efectividad de diferentes sistemas de producción, como convencional versus orgánico y campo abierto versus invernadero. Una vez que las entradas y salidas se convierten en unidades de energía,

se pueden derivar indicadores como la eficiencia energética, el rendimiento energético, la energía específica y la energía neta (Bojacá, Casilimas, Gil, & Shrevens, 2012).

A medida que el producto pasa por el sistema de producción, también se deben considerar los costos de energía de almacenar y transportar el producto al mercado y procesamiento o el valor que se le agrega, realizando un análisis integral de la cadena de producción (Denoi & Montico, 2010).

En el artículo “Caracterización de la sustentabilidad, eficiencia energética y rentabilidad económica de los sistemas de producción hortícola de la parroquia san Joaquín-Azuay Ecuador” realizado por (Zea, Chilpe, Sánchez, & Chica, 2020), obtienen el cálculo de la eficiencia energética a través de encuestas de entradas (abonos orgánicos e inorgánicos, productos químicos, sistemas de riego, etc.) y salidas (cacao, dinero, o productos de los sistemas de producción) planteadas a los dueños de cada una de las fincas a trabajar.

4.6. Captura del carbono aéreo

La transformación del uso de suelo es una de las principales razones para contribuir a las emisiones de gases de efecto invernadero. El dióxido de carbono (CO₂) es el gas más importante que se produce en grandes cantidades cada año, el aumento de la concentración de gas en la atmósfera y el tiempo de residencia es el causante del 50% del calentamiento global debido a la absorción de la radiación de calor emitida desde la superficie de la tierra. (Casanova, Petit, & Solorio, 2011).

En el contexto forestal, cuando el dióxido de carbono atmosférico se incorpora fotosintéticamente a los procesos metabólicos del bosque de plantas (masas forestales, agricultura, sistemas agroforestales, plantaciones, cobertura vegetal), este dióxido de carbono está involucrado en toda la composición para que una planta pueda desarrollarse. Por lo tanto, es importante comprender los conceptos de gestión forestal, recuperación de carbono y asumir la responsabilidad de las emisiones (Ordóñez, 2008).

La acumulación de carbono en la biomasa de los árboles agrícolas y otras especies de árboles es una opción de mecanismo de desarrollo limpio y alternativo disponible para los productores rurales en los trópicos de buen crecimiento. La temperatura, la insolación y la humedad promueven un alto crecimiento de las plantas y, por lo tanto, aumentan la absorción de carbono atmosférico. Los bosques son el principal reservorio de CO₂ atmosférico. Sin embargo, el sistema agroforestal, es un sistema agrícola similar a un bosque, también puede capturar y almacenar grandes cantidades de CO₂ en la atmósfera.

Los SAF (principalmente una combinación de plantas perennes (café y cacao) y árboles de sombra) pueden almacenar de 12 a 228 toneladas de C/ha sobre todo en la madera del componente leñoso, mientras que Pocomucha, Alegre, & Abregú, (2016) mencionan que en el suelo presenta una variación desde $71,93 \text{ t C ha}^{-1}$ hasta $216,31 \text{ t C ha}^{-1}$ en sistemas cacaotales y desempeñan un papel importante en la mitigación del calentamiento global (Poveda, Orozco, Medina, Cerda, & López, 2013).

4.7. Clorofila

El contenido de clorofila de las hojas es un parámetro muy útil para evaluar el crecimiento celular y estado fisiológico, este indicador nos refleja el nivel de estrés y productividad que puede tener la planta se encuentra presente en los cloroplastos que capturan la energía luminosa durante la fotosíntesis, absorbe luz violeta, azul y roja y refleja luz verde. Todas las hojas verdes tienen una gran capacidad de absorción con un rango de 400-700 nm donde ocurre la transferencia de electrones entre clorofilas y carotenoides. Es la sustancia que permite absorber a las plantas la luz solar para convertirla en energía saludable y les proporciona el color verde, forman un anillo de porfirina enlazada a una larga cadena de hidrocarburos (Streit, 2015).

5. Materiales y métodos

5.1. Zona de estudio

El proyecto de investigación se realizó en la Parroquia Manuel J Calle en las zonas de El Ají, La Trinca, María Teresa, Nueva Unión, Playa Seca y San Eduardo, ubicados al norte del Cantón la Troncal entre las Provincias Cañar – Guayas. Tiene una altura de 90-120 msnm, la zona de estudio tiene un clima Tropical Monzónico y una temperatura comprendida entre los $24,5^{\circ}\text{C}$. y los $27,1^{\circ}\text{C}$ presentando una humedad relativa anual de 87%. Tiene una extensión territorial de 17018,35 hectáreas y la topografía de los predios son usualmente planos, los suelos por su textura corresponden la gran mayoría a la clasificación de franco limosos, arenosos, aunque en ciertos lugares presenten suelos pedregosos y arcillosos, son suelos pocos profundos cercanos de la cordillera. Cuenta con pendientes que se encuentran entre el 3% al 5%, las aguas se escurren por causas naturales. La mayor superficie del suelo está ocupada por cultivos de cacao y frutales (mandarina, naranja, mango, aguacate, banano, entre otros) de manera asociativa, donde el cultivo predominante es el Cacao CCN51 (Garofalo, 2019). En la Figura 1, se presenta la ubicación de la Parroquia Manuel J Calle en el Cantón el Piedrero dentro de las provincias Guayas – Cañar.



Figura 1 Mapa de ubicación del Cantón El Piedrero

Fuente: (Guzman & Vega, 2022).

5.2. Materiales requeridos para el proyecto

Tabla 1 Materiales requeridos en el proyecto

Físicos	Equipos	De oficina
Piola	Cámara	Computadora
Estacas	Medidor de clorofila AtLEAF	
Fichas de campo	GPS	
Pintura	Celular	
Brochas		
Cinta métrica		
Esferos		
Cuaderno		

5.3. Cálculo de la muestra

Para realizar el cálculo de la muestra utilizamos la fórmula de poblaciones finitas descrita por (Morales, 2012) en este caso nuestra investigación es finita ya que contamos con un número limitado de sistemas de producción en nuestra zona de estudio.

Ecuación descrita por (Morales, 2012).

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2pq}}$$

Donde:

n= Es el tamaño de la muestra que deseamos conocer.

N= Es el tamaño de la población conocida.

e²= Es el margen de error.

z= Es el nivel de confianza

p y q= Son el porcentaje de éxito y fracaso del experimento respectivamente.

El número de muestras se obtuvo gracias a la colaboración de la asociación de cacaoteros “ASOPROCANU” donde se nos brindó la información del universo a estudiarse y se tiene que son 377 sistemas agroforestales de lo cual se obtuvo una muestra de 67 sistemas de producción y un área total de 168,69 hectáreas, con esta información recopilada se procedió a realizar los cálculos respectivos. Se utilizó un nivel de confianza o “z” del 95% es decir 1.96, un margen de error del 5% “e” y los porcentajes de éxito “p” y porcentaje de fracaso “q” será del 80% y 20% respectivamente.

5.4. Delimitación de las parcelas

En cada uno de los sistemas de producción a estudiar se clasificaron por sistemas pequeños, medianos y grandes y se establecieron parcelas de 20x25 m². Se evaluó una parcela en cada sistema de producción pequeño, mediano y grande, el número de parcelas propuestas se las estableció de acuerdo con el tamaño de los sistemas de producción con la finalidad de poder realizar una comparación entre las mismas. En cuanto a la riqueza y diversidad de los sistemas se tomó en cuenta cada una de las especies vegetales que se encuentran dentro

de las parcelas. Se estratificaron por número y por tamaño cada una de las fincas para que exista una homogeneidad entre las mismas.

Tabla 2 Clasificación de las fincas

Número de fincas a estudiar		
Clasificación	Total, de fincas	Total, en ha
Pequeña (0-1,5)	23	43,96
Mediana (1,6-3)	22	24,28
Grande (3,1-13,5)	22	100,46
Total	67	168,69

5.5. Metodología para alcanzar el primer objetivo específico: “Identificar la riqueza y diversidad de especies en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio.”

Para la identificación de este objetivo se tomaron muestras de las especies encontradas en cada una de las parcelas para la elaboración de un herbario y realizar una comparación entre ellas. De acuerdo con la literatura encontrada tenemos diversidad alfa y diversidad beta para calcular la riqueza y diversidad de especies. Se utilizó la fórmula descrita por Campo & Duval (2014), siendo una de las más fáciles para medir la biodiversidad de las especies es:

$$DMg = S - 1 / \ln N$$

Donde:

DMg: Índice de riqueza de Margalef

S: Es el número de especies

In: Logaritmo natural

N: Es el número de individuos

Índice de biodiversidad y valores de importancia para la interpretación de los resultados

- Valores menores a 2 significa una diversidad baja.
- Valores entre 3 y 4 significa una diversidad media.
- Valores mayores a 5 significa una diversidad alta (Campo & Duval, 2014).

5.5.1. Índice de diversidad alfa de Shannon

Según Carmona & Carmona (2013) el índice de la diversidad alfa de Shannon es popular en la literatura ecológica donde se utilizan los valores de riqueza y abundancia. Esto se calculó con la siguiente fórmula.

$$H: - \sum_{i=1}^s p_i * \ln(p_i)$$

Donde:

H: Índice de Shannon-Wiener

ln: Logaritmo natural

i: cada especie

p_i: abundancia proporcional de la especie i.

s: número total de especies

5.5.2. Índice de dominancia de Simpson

En este índice podemos obtener la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influenciado por la importancia de las especies más dominantes.

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Donde:

λ : Índice de dominancia de Simpson

p_i: es la abundancia proporcional de la especie.

5.5.3. Índice de diversidad alfa de Simpson

En estos cálculos, p_i es la abundancia relativa de la especie i , es decir, la abundancia de la especie i dividida entre la suma de las abundancias de las S especies que conforman la comunidad; $\log(p_i)$ es el logaritmo en base b de p_i ; y la sumatoria (Σ) se extiende a las S especies.

$$S = 1 - \sum p_i^2$$

Donde:

S : es el índice de diversidad de Simpson

p_i : es la abundancia relativa

D : dominancia de Simpson

5.5.4. Índice de diversidad beta de Simpson

Para calcular el índice de diversidad beta de Simpson se necesitó tener registradas las especies de dos comunidades entre las cuales se desea calcular la beta diversidad, se puede obtener el cociente entre el número de especies distintas y el número de especies total considerando el conjunto de ambas comunidades.

$$\beta = \frac{2 * C}{S_1 + S_2}$$

Donde:

β : Índice de diversidad beta de Simpson

C : especies comunes (número de individuos presentes)

S_1 : el número de especies de la comunidad 1

S_2 : el número de especies de la comunidad 2

5.5.5. Índice de diversidad de Margalef

Este índice representa un indicador de la riqueza específica de una zona determinada de acuerdo con la relación que existe, entre distribución de los individuos y la cantidad total de la muestra.

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde:

D_{Mg} : Índice de riqueza de Margalef

S: número de especies

In: Logaritmo natural

N: número total de individuos

5.6. Metodología para alcanzar el segundo objetivo específico: “Evaluar la eficiencia energética en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio”.

Se utilizó la metodología planteada por Zea, Chilpe, Sánchez, & Chica (2020), donde obtienen el cálculo de la eficiencia energética a través de encuestas de entradas y salidas propuestas a los dueños de cada una de las fincas a trabajar. La cual se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3 Encuesta de salidas

SALIDAS								
Cultivo	Cantidad (kg)	por N° ciclo de producción	Veces de producción/año	Subtotal/Año	Energía equivalente	Total, MJ		
Naranja								
Mandarina								
Cacao								
Total								

Se realizó una base de datos donde colocamos toda la información adquirida a través de las encuestas, se multiplicaron los resultados obtenidos por su contenido energético en Mega Joule (MJ) por unidad de peso o volumen. Estos equivalentes se utilizaron para calcular la eficiencia energética (EE) y energía neta (NE), estos resultados fueron expresados ya sea en Mega joule por hectárea (MJ/h^{-1}), por litro (MJ/L^{-1}), por kilogramo (MJ/kg^{-1}), por metro cúbico (MJ/m^{-3}). Para obtener la eficiencia energética se utilizó la siguiente formula:

$$EE = \frac{\text{Total de egreso de energía}}{\text{Total de ingreso de energía}}$$

Tabla 4 Encuestas de entrada**ENTRADAS**

Producto	Nombre	Cantidad	Concentración	Total	de	Veces/año	Total	MJ/kg	Total
O Insumos	común	por ciclo de producción	de I.A. (kg)	I.A./ciclo	de		I.A./año de producción	de I.A.	MJ/kg
		(kg o l)			producción	(kg)	(kg)		
Fertilizantes	Urea								
Abonos	Abono								
orgánicos	mixto								
Fungicidas									
Agua									
Gasolina									
Diésel									
Mano de obra									

5.7. Metodología para alcanzar el segundo objetivo específico: “Estimar el carbono aéreo en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio”.

Para la estimación de carbono aéreo se evitó usar un método directo que dañe o perjudique a los sistemas de producción por lo que hemos optado por usar un método indirecto donde se usó ecuaciones alométricas. En el artículo expuesto por (Acosta, Vargas, A, & Etchevers, 2002) las estimaciones indirectas de material vegetal pueden inferir en la biomasa a partir de las relaciones alométricas basadas en el tamaño y dimensiones del árbol; este es el método más conveniente que se pudo utilizar. Para la estimación de biomasa arriba del suelo se usaron las fórmulas para *Theobroma cacao* y Árboles Frutales expuesta por Andrade, Segura, Somarriba, & Villalobos, (2008) y la fórmula Pantripical Model propuesta por Chavé, et al. (2014).

Tabla 5 Ecuaciones alométricas utilizadas para la estimación de biomasa arriba del suelo en los cacaotales.

Especie	Ecuación	R ²	Autor
<i>Theobroma cacao</i>	Bt = 10(-1,63 + 2,63 * log(d 30))	0.98	(Andrade, Segura, Somarriba, & Villalobos, 2008)
Árboles Frutales	Bt = 10 – 1.11 + 2.64 * log(dap)	0.95	(Andrade, Segura, Somarriba, & Villalobos, 2008)
Pantropical Model	$ABG_{est} = 0.0673 \times (\rho D^2 H)^{0.976}$	0.47	(Chavé, et al. 2014)

Donde:

ABG_{est}: Biomasa aérea en Kg

D: Diámetro de la altura del pecho (cm)

H: La altura de la especie

Bt: biomasa total arriba del suelo (kg árbol-1)

d30: diámetro del tronco a 30 cm sobre el suelo

dap: diámetro a 1,30 m del suelo (cm)

log: logaritmo de base 10

ρ = densidad de cada una de las especies encontradas

5.8. Metodología para alcanzar el segundo objetivo específico: “Estimar el contenido de clorofila en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio”.

Para la evaluación del contenido de clorofila se utilizó un medidor atLEAF CHL STD el cual nos ayudó a calcular el índice de verdor que está relacionado directamente con el contenido de clorofila en la hoja, donde los valores obtenidos mayores a 35 nos indican una planta en buen estado. Este dispositivo compara la transmisión de luz en longitudes de ondas rojas e

infrarrojas cercanas. Se tomaron 3 muestras en los mejores prospectos es decir en las mejores hojas de cada planta de las parcelas que se seleccionaron, todos los datos obtenidos fueron promediados (AtLEAF, 2020).

5.9. Análisis de datos

Se analizaron cada una de las variables obteniendo resultados sobre: la riqueza y la diversidad de especies, la eficiencia energética, el carbono aéreo y la clorofila en un diseño estratificado completamente al azar, teniendo un total de 67 repeticiones a estudiar y se utilizó el software estadístico de Infostat, donde se verificó el supuesto de normalidad de los datos utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov para datos menores a 50 y la prueba de Shapiro-Wilk para datos mayores a 50, estas pruebas nos sirvieron para saber si los datos son o no paramétricos, en caso de ser paramétricos se realizó la prueba ANOVA y en caso de no ser paramétrica se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis que nos permite determinar las diferencias entre los tipos de producción con las tres variables a estudiar, mientras que para el análisis de la riqueza y diversidad de especies se utilizaron los índices alfa de Shannon y beta de Simpson.

6. Resultados y discusión

6.1. Identificar la riqueza y diversidad de especies en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio (Primer objetivo)

El área de los SAF evaluados tiene una composición florística de 3849 individuos que pertenecen a 5 familias y 5 órdenes. La familia que tiene una mayor predominancia en el área estudiada es la Malvaceae con un total de 3760 individuos. ***Theobroma cacao*** (Cacao CCN51) es la especie que más se encuentra de esta familia con 3707 individuos y la variedad ***Theobroma cacao*** (Fino de Aroma) con 53 individuos, siguiéndole la especie ***Citrus sinensis*** (Naranja) con un total de 60 individuos, ***Citrus reticulata*** (Mandarina) 23 individuos, ***Citrus Jambhiri*** (Limón) 2 individuos, ***Handroanthus Chrysanthus*** (Guayacán) 2 individuos, ***Mangifera indica*** (Mango) 1 individuo, ***Annona Muricata*** (Guanábana) 1 individuo. Esto se podría deber a lo expresado Hervé y Vidal (2008) mencionan que la diversidad vegetal en sistemas agroforestales cacaoteros aumenta con la intensidad de manejo y viceversa; de esta forma a medida que se intensifica el manejo, la diversidad florística muestra una tendencia a disminuir (Tabla 6).

Tabla 6 Composición florística en los diferentes tamaños de fincas.

Familia	Especies	Número de individuos		
		Pequeño	Mediano	Grande
Anonaceae	<i>Annona Muricata</i>	1	0	0
Rutaceae	<i>Citrus Jambhiri</i>	1	1	0
Rutaceae	<i>Citrus Reticulata</i>	6	9	8
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	10	34	16
Bignoniaceae	<i>Handroanthus Chrysanthus</i>	2	0	0
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	0	1	0
Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i>	1256	1278	1173
Malvaceae	<i>Theobroma cacao nacional</i>	53	0	0

6.1.1. Diversidad Alfa

Según el índice de Margalef (DMg), para riqueza en los sistemas agroforestales pequeño presentó un dé (0.18), al igual que los sistemas medianos (0,17) y grande (0,16). En el índice de Shannon se presentaron diversidades en los sistemas agroforestales pequeño (0,38), mediano (0,23) y grande (0,11).

El índice de Shannon y el índice de Margalef mostraron diversidades bajas en los 3 tipos de sistemas agroforestales una explicación de la relación con la disminución y aumento de estos índices se puede explicar con lo investigado por Somarriba et al., (2003) del establecimiento y manejo de los cacaotales depende la conservación de las especies determinadas y las buenas prácticas tienen efectos directos sobre la estructura y composición del cacaotal, influyendo en los animales que lo utilizan como hábitat. Los valores de Shannon encontrados la presente investigación son bajos en comparación de otros estudios realizados, como el de Ramírez et al., (2013) en sistemas agroforestales de cacao en México donde tuvieron diversidades de (2,89) y (2,57), ellos concluyen que la edad de los sistemas agroforestales es un factor muy importante además del uso de suelo antes del establecimiento de los cultivos de cacao.

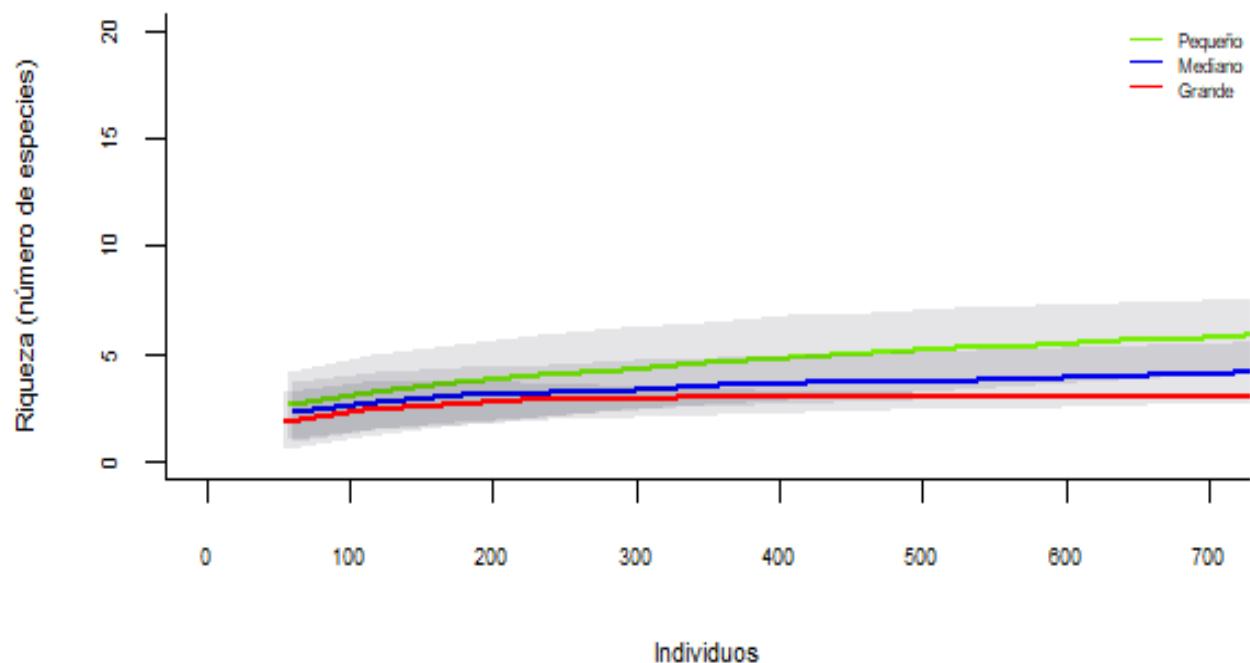
6.1.2. Diversidad Beta

En el caso de la diversidad beta, se utilizó el índice de similitud de Jaccard (IJ) los datos presentan que se obtuvo un porcentaje de similitud del 0,66% de las especies es decir que el

0,66% de especies se pueden encontrar en los 3 tamaños de sistemas agroforestales evaluados. Otro reporte similar lo obtuvo Matute (2022) en Colombia donde encontraron similitud de especies en plantaciones de cacao en tres municipios que se encuentran cercanas, como también a un patrón de semejanza con respecto a las prácticas de establecimiento de los cacaotales. Zapfack et al. (2002) mencionan que la similitud entre sistemas agroforestales de cacao se debe al tipo de manejo que se de en los SAF, lo cual determina un menor porcentaje de similitud.

6.1.3. Curva de acumulación de especies

Se realizaron curvas de rarefacción o acumulación de especies, estas comparan el número de especies con el número de sistemas agroforestales y el número de especies con el número de individuos, en relación al tamaño de los sistemas agroforestales; los mismos no presentaron similitudes. Esto se debe a que las desviaciones estándar no se superponen, lo que sugiere que las muestras difieren mucho entre sí. No obstante, se observa en los 3 sistemas agroforestales la cantidad de especies encontradas no será igual conforme se incrementa el número de SAF y la cantidad de individuos evaluados. Esto no concuerda con el estudio realizado por Matute (2022) en Colombia donde las curvas de acumulación de especies en sistemas agroforestales de cacao presentaron una similitud y poseen una tendencia a normalizarse.



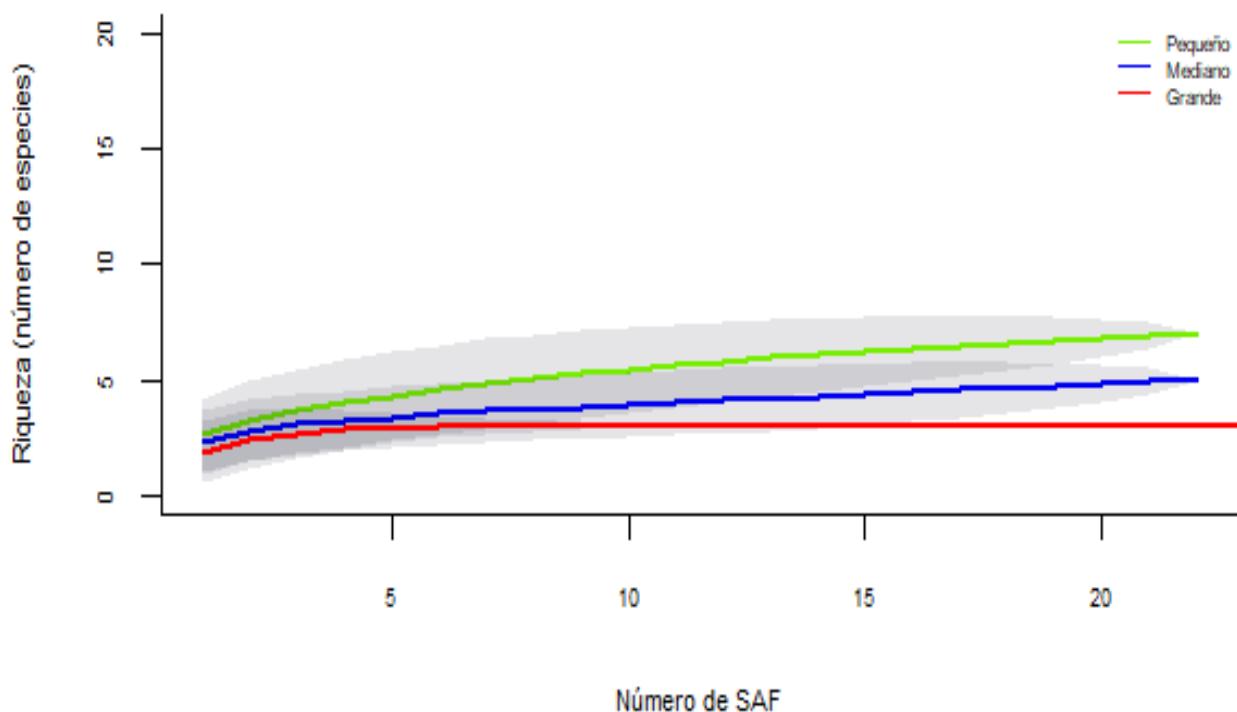


Figura 2 Curvas de acumulación de especies en relación Sistemas de producción – riqueza (A) y Número de individuos – riqueza (B).

6.2. Evaluación de eficiencia energética en los sistemas agroforestales (SAF) en la zona de estudio (Primer objetivo)

Se evaluaron 67 sistemas de producción agroforestales de los cuales se obtuvo un promedio de medianas en cuanto a la eficiencia energética de 5,78 MJ/ha y una energía neta de 26071,171, concordando con lo reportado por Pereira et al (2020), la producción de energía del cacao osciló entre 2,2 y 5,6 MJ ha⁻¹. De acuerdo a los resultados obtenidos el 92,54% de los sistemas de producción son energéticamente eficientes y el 7,46% son energéticamente ineficientes, como se puede observar en la Figura 3.

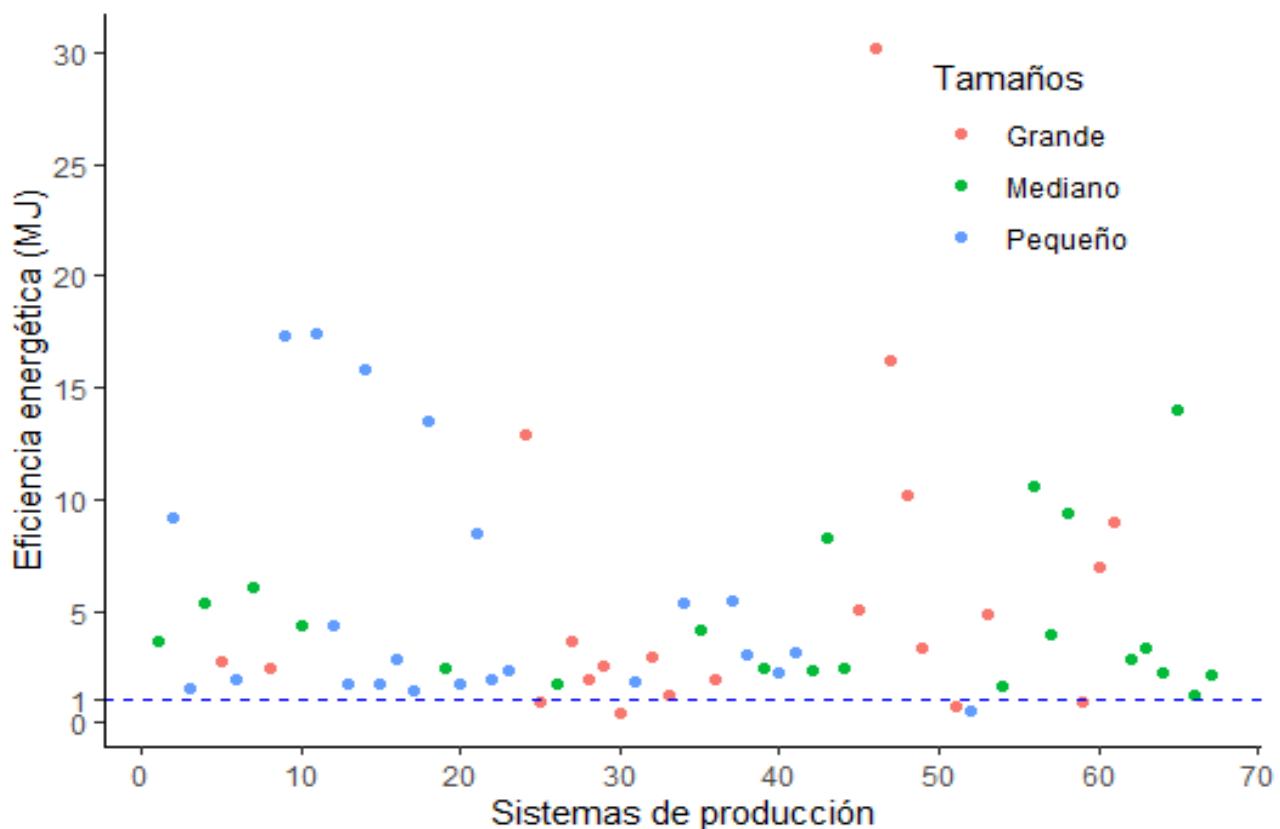


Figura 3 Balance energético de los diferentes sistemas de producción.

En los sistemas agroforestales pequeños se evaluaron 23 predios de los cuales 22 sistemas agroforestales son energéticamente eficientes y 1 sistema es energéticamente ineficiente. De los sistemas agroforestales pequeños se obtuvo un promedio de eficiencia energética de 5,44 MJ/ha y una energía neta de 11075,74 MJ/ha.

En el análisis de los sistemas agroforestales medianos se evaluaron 22 predios de los cuales todos ellos resultaron ser sistemas energéticamente eficientes. Los valores de eficiencia energética oscilaron en 5,25 MJ/ha y la energía neta en 28360,72 MJ/ha. En el caso de los sistemas agroforestales grandes se evaluaron 22 predios de los cuales 4 resultaron energéticamente ineficientes. En el análisis de la eficiencia energética y energía neta se tuvo promedios de 6,68 MJ/ha y 39458,66 MJ/ha respectivamente (Tabla 8).

El aporte energético con mayor cantidad fue los fertilizantes orgánicos de los sistemas agroforestales medianos con el 51,08% y una media de 5325,89 MJ/ha, esto se puede deber a lo expuesto por Orozco et al., (2016) el uso de abonos orgánicos por las ventajas que éstos presentan, ya que es una alternativa para mejorar las condiciones edáficas y de esta manera aumentar la productividad en los cultivos y reducir la dependencia de fertilizantes químicos, otro estudio realizado por Loor y Alcívar (2016) mencionan que los agricultores prefieren el

uso de abonos orgánicos por las mejoras en las propiedades físicas y químicas del suelo, favoreciendo el desarrollo y producción de los cultivos, seguido los fertilizantes químicos de los sistemas agroforestales pequeños con un 38,65% y una media de 2363,88 MJ/ha en un estudio realizado por Barrezueta et al., (2017), plantea que el agricultor busca una mayor rentabilidad en el cacao (CCN-51), con el uso constante de insumos sintéticos. Por otro lado, Hernández y Díaz (2019), también habla que la mayor cantidad de energía consumida en insumos de síntesis química, se da en fertilizantes y plaguicidas. La mano de obra de los sistemas agroforestales grandes con 22,4% y una media de 3992,70 MJ/ha Armengot et al.,(2016) los sistemas agroforestales de cacao tienen una mayor demanda de mano de obra humana, principalmente por trabajos asociados al manejo de árboles agroforestales y la cosecha de subproductos, corroborando lo investigado por Rodríguez et al. (2020) quienes encontraron que la mano de obra en los sistemas agroforestales aumenta debido a que las operaciones de control de malezas, podas, aplicación de fertilizantes, riego y cosecha se las hace de manera manual Gezer et al., (2003)

El menor aporte energético se obtuvo con el agua, con un porcentaje de valores que oscilan entre 0,02% y 0,03% en los tres tamaños de sistemas agroforestales, en un estudio realizado por Armengot et al., (2021) en Bolivia, se menciona que en sistemas agroforestales se usa el agua verde, proveniente de la humedad del suelo después de las precipitaciones, además que el uso de agua de riego es menor en sistemas agroforestales. Por otro lado, el uso de fungicidas presento valores de 0,01% en los tres tipos de sistemas, Kenfack, (2020) menciona en su investigación que los agricultores no utilizaban pesticidas principalmente porque no podían acceder a ellos, otro estudio realizado por Sánchez, (2003) menciona que se limita el uso de fungicidas debido a la baja rentabilidad que tiene el cultivo en el mercado, lo cual dificulta realizar un adecuado programa de aspersiones programadas de agroquímicos (Tabla 8).

Tabla 7 Promedio de entradas y salidas de energía en los sistemas de producción.

ENTRADAS DE ENERGÍA

	Pequeñas		Medianas		Grandes	
	Media	%	Media	%	Media	%
	(MJ/año)		(MJ/año)		(MJ/año)	
Mano de obra	846,20	13,84	1220,01	11,70	3992,70	22,94
Fertilizantes químicos	2363,88	38,65	3054,05	29,29	5325,41	30,60
Fertilizantes orgánicos	2478,45	40,52	5325,89	51,08	7588,33	43,60
Insecticidas	43,64	0,71	34,87	0,33	30,65	0,18

Fungicidas	0,00	0,00	1,41	0,01	14,17	0,08
Herbicidas	245,22	4,01	674,94	6,47	228,82	1,31
Agua	1,91	0,03	2,45	0,02	4,55	0,03
Combustible	136,71	2,24	113,50	1,09	460,51	2,65
Total de entradas	6116,00	100	10427,12	100	17403,07	100
Salidas	17191,74		38787,85		56861,73	
EE	5,44		5,25		6,68	
EN	11075,74		28360,72		39458,66	

6.2.1. Comparación de los sistemas agroforestales en la zona de estudio.

De acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis no existe diferencias significativas ($p=0,001393$) con relación a la variable eficiencia energética entre los tamaños de los sistemas de producción. En cuanto a las medianas el sistema de producción que presento un mayor valor fue el grande con (6,68), siguiéndole el pequeño (5,44) y el de menor valor el sistema de producción mediano con (5,25) (Tabla 9).

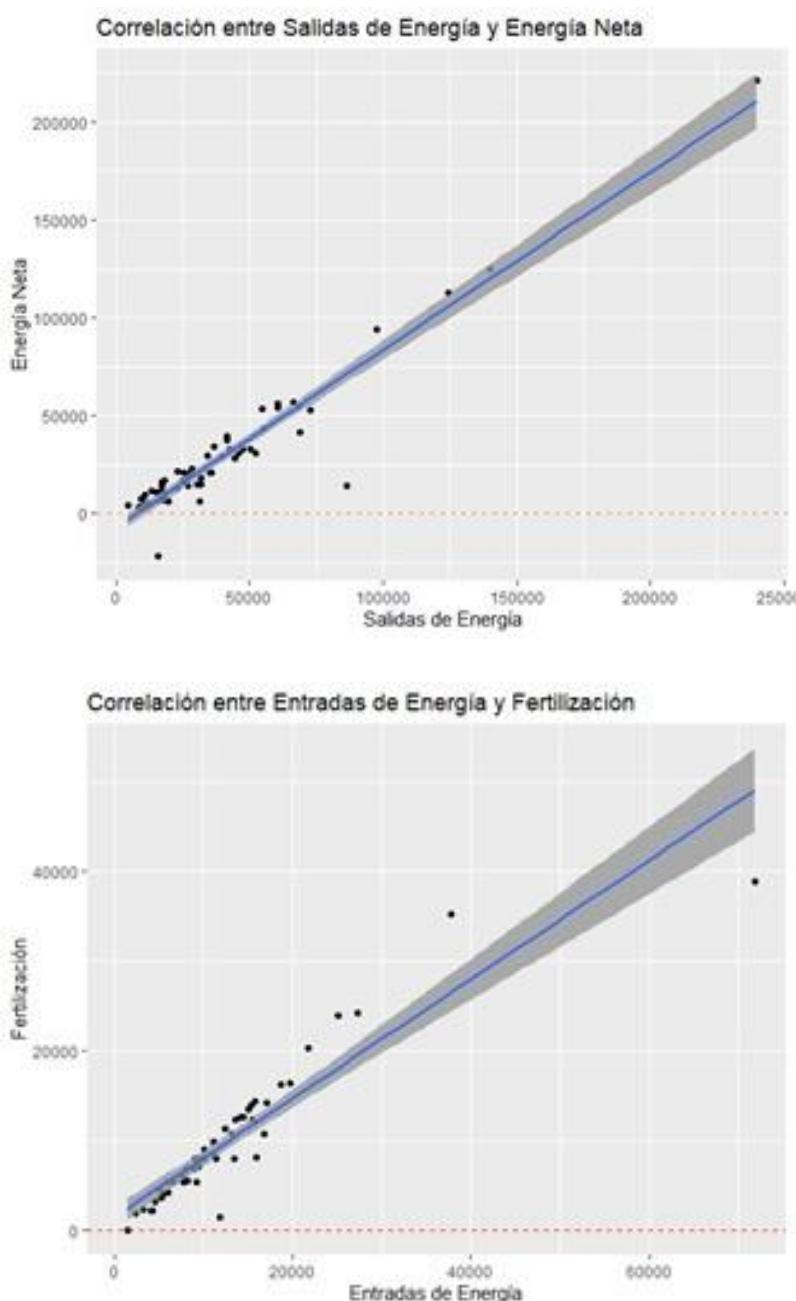
Tabla 8 Prueba de Kruskal-Wallis

Prueba de Kruskal-Wallis ($P<0,05$)	
Eficiencia energética	
Chi-cuadrado	13,153
Df	2
p valor	0,001393

6.2.2. Correlaciones entre entradas, salidas y eficiencia energética de los sistemas de producción.

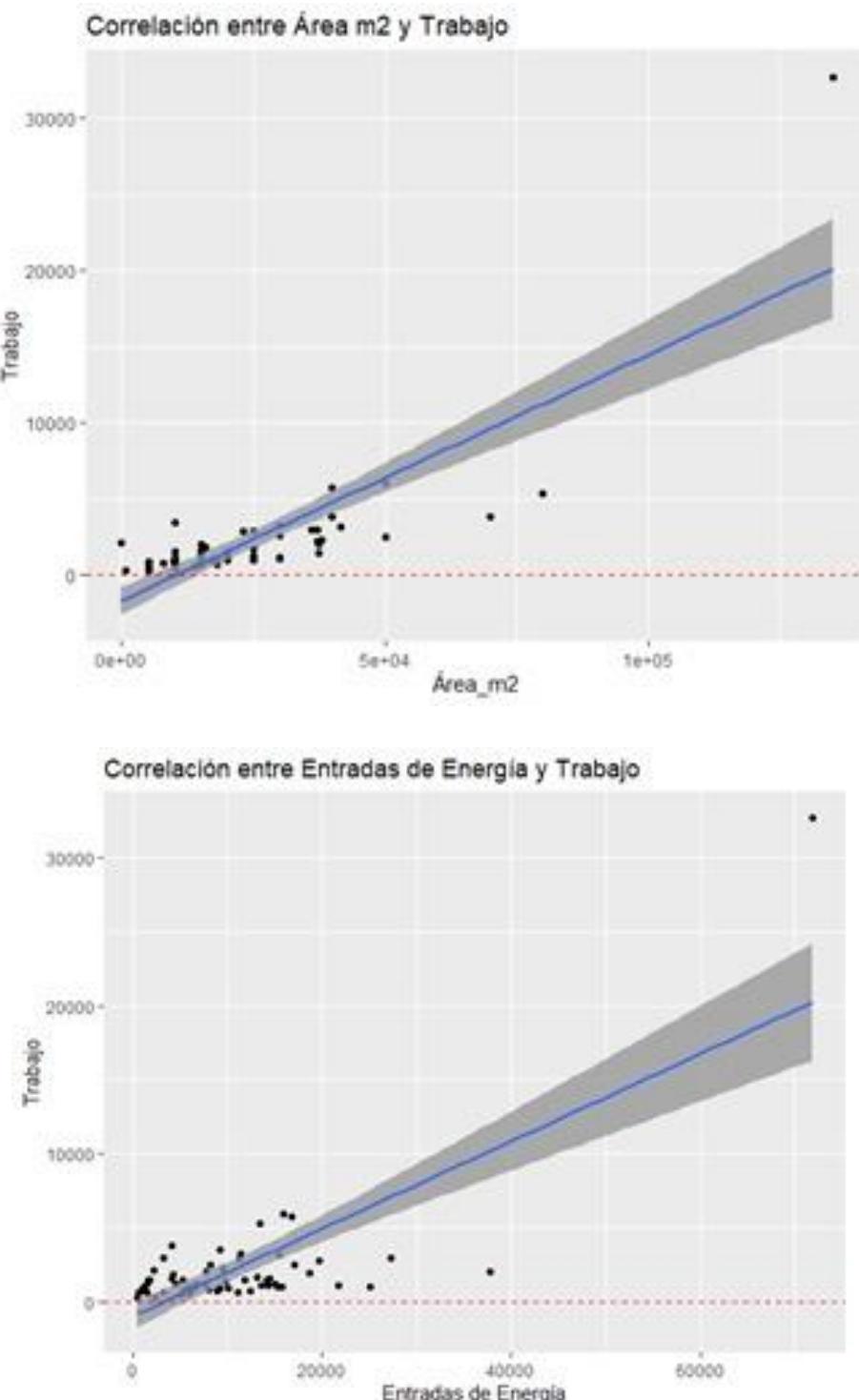
En los sistemas agroforestales, se realizaron varias correlaciones con el método de Spearman pues los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad, una de ellas es de energía neta y salidas de energía donde se obtuvo una significancia estadística de ($p=1,15e-13$) y una correlación positiva de ($R=0,958$) donde se da entender que a mayores salidas de energía mayores niveles de EN, mientras que la correlación entre entradas de energía y fertilizantes (fertilizantes orgánicos y químicos) tuvo una significancia estadística de ($p=1,37e-10$) y una correlación positiva de ($R=0,927$), interpretándolo que a mayores salidas de energía mayor es el gasto de fertilización. Stout (1990) señala que la producción de fertilizantes minerales demanda altas cantidades energéticas, por lo tanto, su coeficiente energético o contenido energético por unidad es alto; también Gökdogan y Sevin (2016) manifiestan que

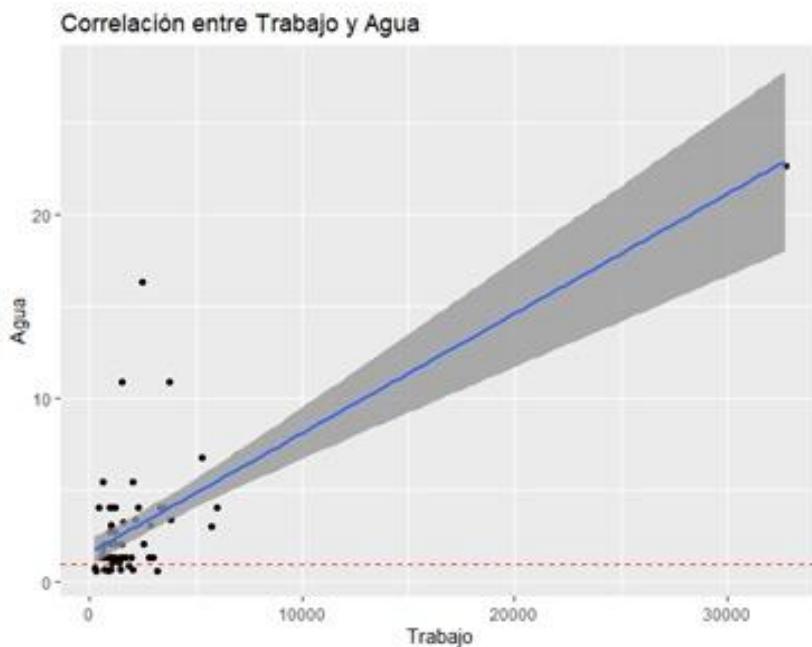
el alto consumo de fertilizantes químicos, se debe a que estos poseen mayor concentración de nutrientes, baja humedad y son de fácil aplicación incluso en zonas de ladera.



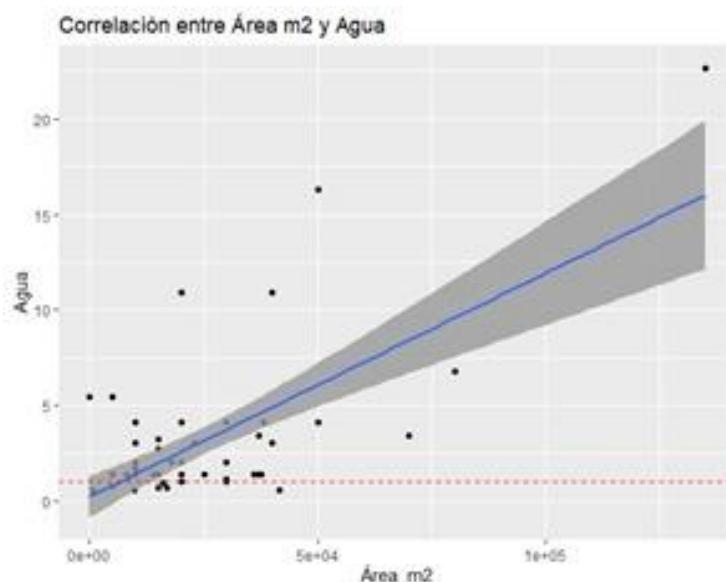
En las correlaciones entre Área (m^2) y trabajo (trabajo humano y combustible) se obtuvo una significancia estadística de ($p=2,46e-10$) y una correlación positiva de ($R=0,817$), dando a entender que existe un mayor trabajo humano y combustible en sistemas agroforestales grandes como lo expresa Pimentel y Pimentel (2001), siendo la dependencia de combustibles, esta es necesaria para el funcionamiento de maquinaria agrícola, para impulsar el riego y para el transporte tanto de insumos como de las cosechas en sistemas agroforestales, otra correlación realizada fue entre entradas de energía y trabajo (trabajo humano y combustible)

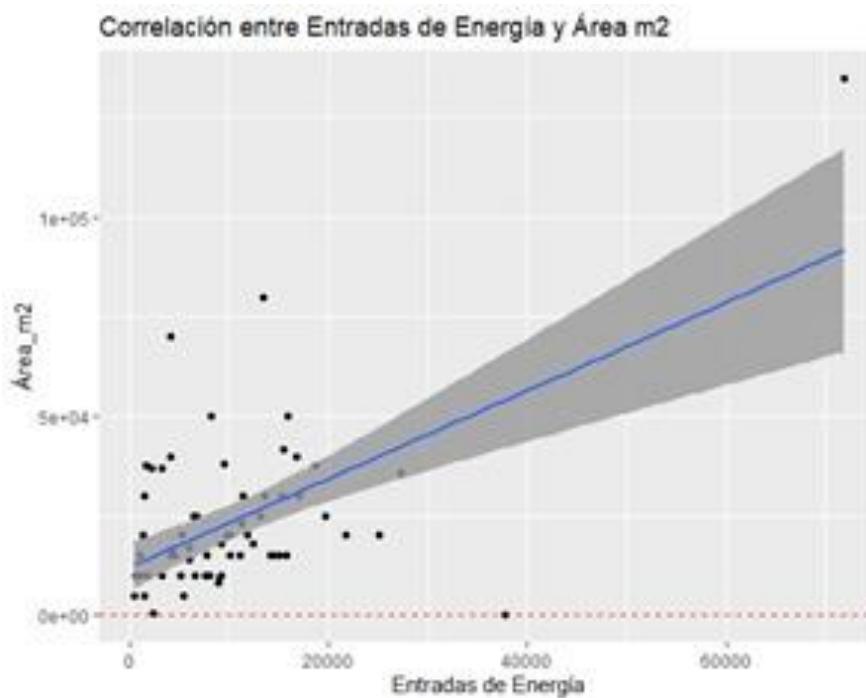
con una significancia de ($p=3,36e-9$) y una correlación positiva de ($R=0,763$); de la misma manera la correlación entre agua y trabajo (trabajo humano y combustible) con un ($p=2,22e-8$) y una correlación positiva de ($R=0,722$).





Otra de las correlaciones realizadas fue entre Área (m^2) y Agua teniendo una significancia estadística de ($p=3,64e-7$) y una correlación de ($R=0,657$), donde a mayores áreas mayor es el uso de agua aquí el aumento del agua puede estar asociado a que se necesita más consumo de agua para el riego de los sistemas agroforestales. Mientras que la correlación entre Área (m^2) y entradas de energía dieron una significancia estadística de ($p=1,15e-5$) y una correlación de ($R=0,566$) por lo que se puede decir que a mayores áreas de sistemas agroforestales mayores entradas de energía esto concordando con lo expuesto por Zea et al. (2020) donde detectaron que el tamaño de la finca se relacionó significativamente tanto con EE como con EN, siendo las fincas más grandes más eficientes y productivas que las fincas más pequeñas.





6.3. Estimación del contenido de carbono aéreo almacenado en los sistemas agroforestales (SAF) en las zonas de estudio (Segundo objetivo).

El carbono aéreo presenta diferencias significativas entre las fincas pequeñas, medianas y grandes, ($p = 1,772E-09$); sin embargo, el contenido de carbono fue superior en las fincas pequeñas con 0,72 t C/ha mientras que en las fincas grandes fue inferior con 0,16 t C/ha. Por último, en las fincas medianas se presentó un contenido de 0,30 t C/ha. Estos datos obtenidos en las zonas de estudio dan un promedio de las medianas de todas las fincas de 0,39 t C/ha., que en comparación con los resultados obtenidos por Poveda et al. (2013), quienes que la cantidad de la mediana del carbono aéreo que fijan los sistemas agroforestales de cacaotales por ellos estudiados fue de 26,5 t C/ha. Esta gran diferencia puede deberse a la edad de las especies, la altura de las plantas, la cobertura de la copa de los árboles que brindan sombra, el área basal y la densidad de las plantas dentro de las hectáreas.

Como se puede observar en la Figura 4 los sistemas de producción pequeños son aquellos que almacenan mayor cantidad de carbono que los sistemas de producción medianos y grandes esto concuerda con lo que menciona Poveda et al. (2013) quienes afirman que capturar y fijar el carbono puede ser limitado dada la baja diversidad (densidad y riqueza). Al mismo tiempo, Roshetko et al. (2002) confirmaron que los árboles de mayor edad o maduros almacenan más carbono y que la poda o tala de árboles da lugar a estimaciones incorrectas.

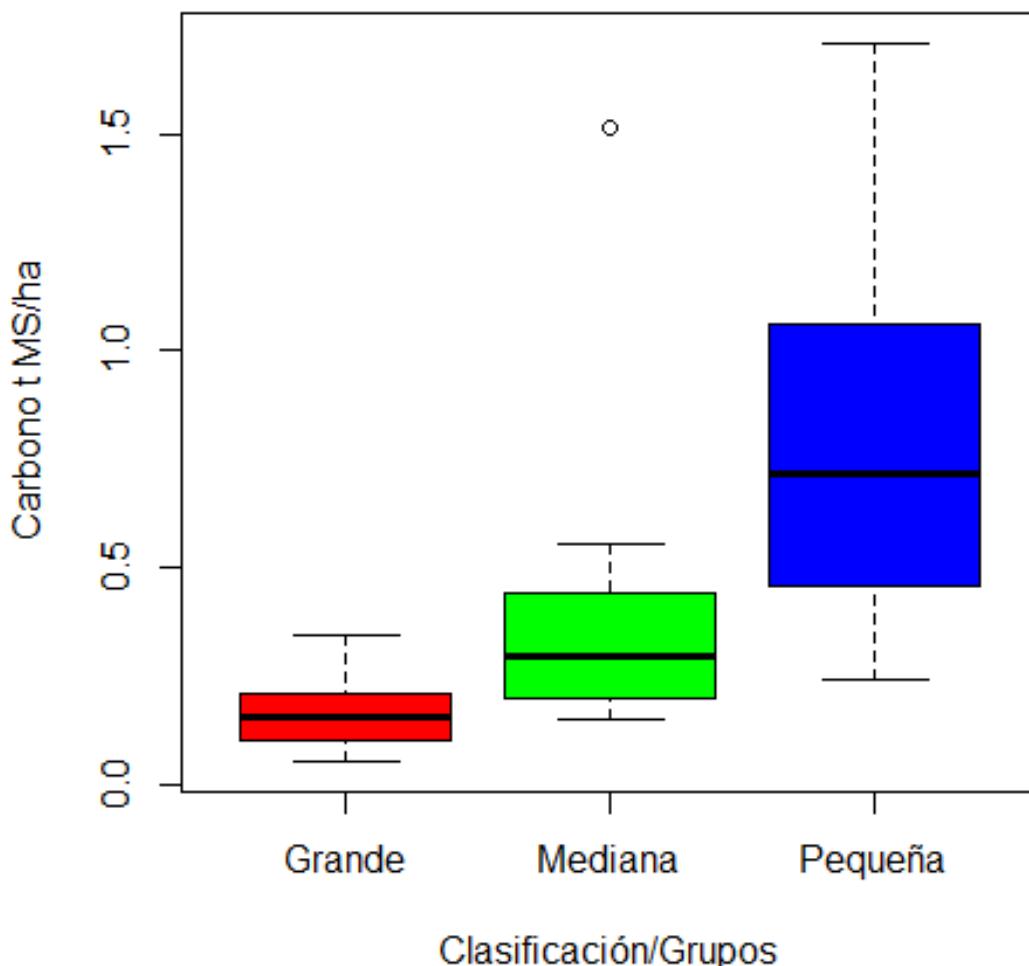


Figura 4: Cantidad de carbono almacenado en los diferentes tamaños de clasificación de las zonas de estudio mediante la representación de las medianas.

6.4. Estimación del contenido de carbono aéreo almacenado por especies vegetales leñosas dentro de los sistemas agroforestales en las zonas de estudio (Segundo objetivo)

El carbono almacenado en la biomasa aérea fue superior en *Handroanthus chrysanthus* con 0,48 t C/ha., seguido de las especies *Citrus jambhiri* 0,05 t C/ha., *Citrus sinensis* 0,03 t C/ha., *Theobroma cacao Nacional* 0,01 t C/ha y *Theobroma cacao* 4,10E-03 t C/ha., mientras que los datos más inferiores fueron de *Mangifera indica* con 2,20E-06 t C/ha y *Annona muricata* con 2,60E-06 t C/ha. El promedio general de la mediana de fijación de carbono alométrico entre todas las especies dentro de los sistemas agroforestales de las zonas de estudio es de 0,072 t C/ha. En la Figura 5 las medianas con una letra común no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba ($p < 0,0001$). Un estudio realizado por Anaya (2018)

menciona que la cantidad de carbono almacenado en *Mangifera indica* y *Annona muricata* dependerá del manejo que se da a la cobertura vegetal, estructura, distribución del tamaño y composición de los mismos. Además, de la cantidad de individuos existentes en el área. En nuestro caso solamente encontramos una planta de cada especie en las fincas estudiadas. Castillo, Rodríguez, & Bravo, (2022) también mencionan que ejemplares de mayor altura e individuos pertenecientes a grupos con DAP amplio, especies con mayor peso y rasgos de alta densidad de la madera fijan más carbono, como lo fueron en nuestro estudio *Handroanthus chrysanthus*, *Citrus jambhiri* y *Citrus sinensis*. Es por ello que la cantidad de carbono capturada en la parte aérea de los árboles es importante ya que nos permite a largo plazo hacer una contribución directa a la mitigación del fenómeno conocido como cambio climático (Benjamín y Mesera, 2001).

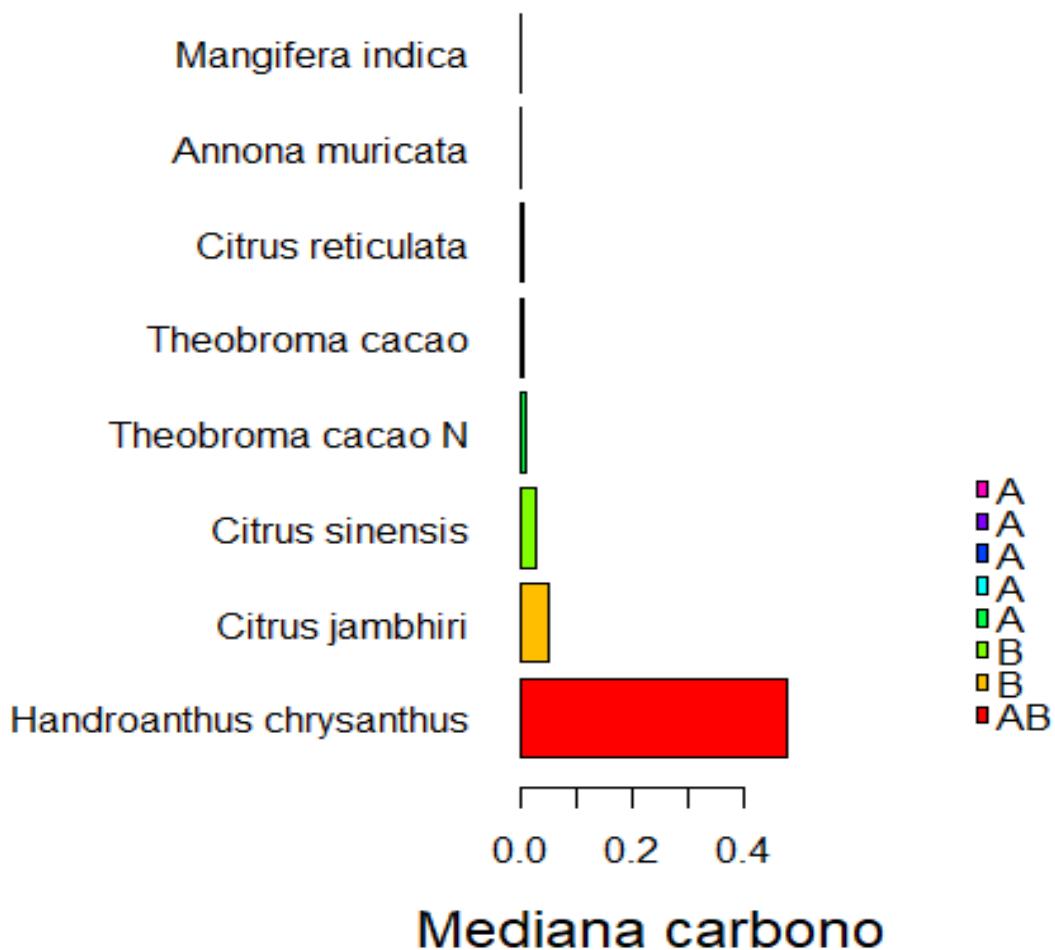


Figura 5 Representación de la mediana de la estimación de carbono alométrico de cada especie existente en la zona de estudio.

6.5. Estimación del índice de clorofila foliar de los sistemas agroforestales en la zona de estudio (Segundo objetivo)

Se encontró diferencias altamente significativas en los índices de clorofila entre especies. *Citrus sinensis* presentó una mediana mayor con 75,13 unidades atLeaf, mientras que *Handroanthus chrysanthus* por el contrario presentó la mediana más baja de 41,5 unidades atLeaf. La familia de las Malváceas mostró unidades de clorofila similares entre sí con un rango de variación desde los 56,8 a 57,17 unidades atLeaf como máximo. Las medianas con una letra común no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de kruskal ($p > 0,0001$). Según estudios realizados por Azcón, Fleck, Aranda y Gómez (2013) afirman que, el ambiente de luz al que están expuestas las plantas afecta su crecimiento y fisiología, lo que resulta en un mayor contenido total de clorofila y carotenoides. Es decir, los niveles de estratificación de las plantas son afectados por la frecuencia de la luz, cuanto mayor es el nivel de penetración de la luz, mayor será el contenido de clorofila.

Por otro lado, Azcón y Talón (2008) mencionan que los resultados de la clorofila pueden verse afectados por los fertilizantes utilizados en las fincas como el Magnesio, por alguna razón las células del mesófilo cercanas a los vasos retienen clorofila por más tiempo, mientras que, Vliet et al. (2015) señalan que un aumento de Nitrógeno estimula la formación de hoja y esto significa una mayor eficiencia fotosintética debido a que las hojas tienen mayores concentraciones de clorofila.

Además, según Agudelo et al. (2018) la fotosíntesis en cacao responde de manera diferente a los niveles de luz en el sistema y la genética de cada cultivar hace que el aparato fotosintético responda. Es decir, mayores tasas fotosintéticas se asociaron con mayor capacidad de asimilación de CO₂, mayor concentración de clorofila, mayores niveles de nitrógeno y proteína en las hojas, mayor actividad de la Rubisco, mayor desarrollo de cloroplastos y mejor asociación con el metabolismo.

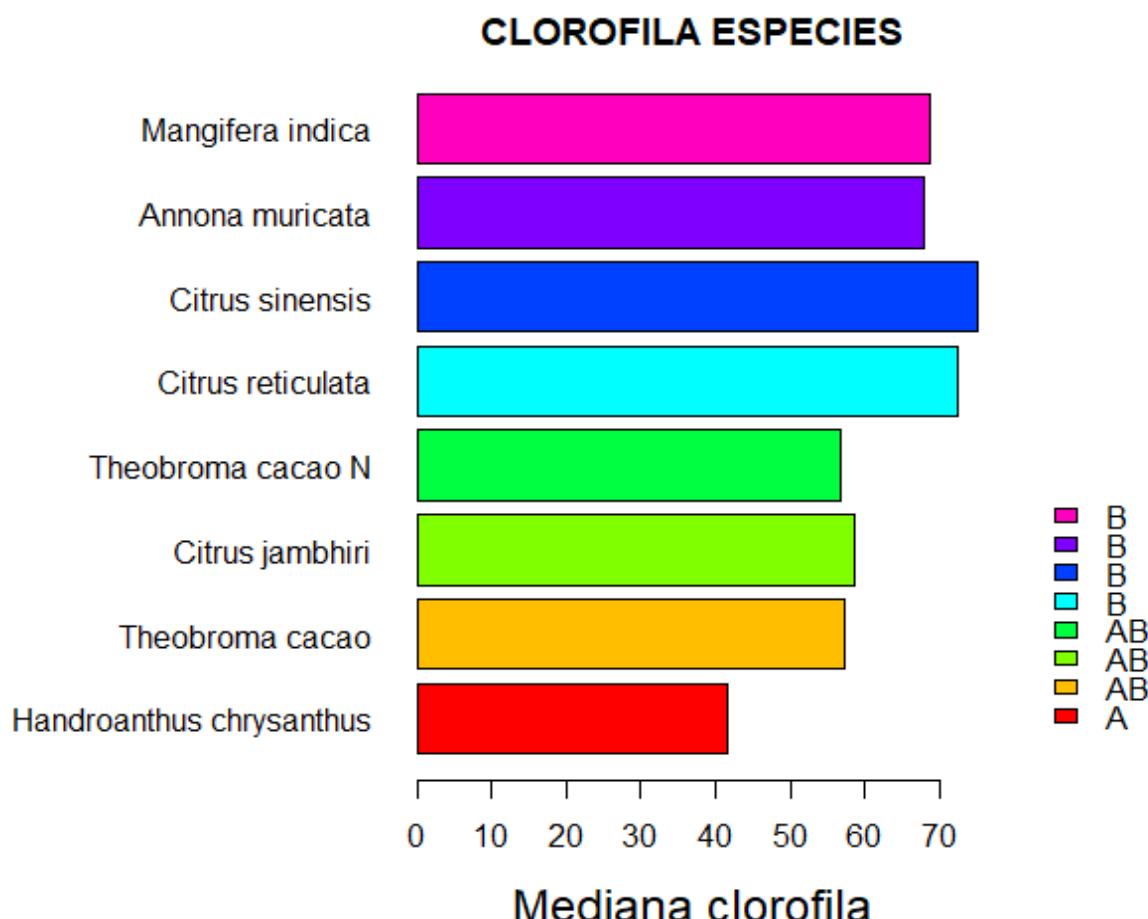


Figura 6 Mediana del porcentaje de actividad clorofila por especies encontradas en la zona de estudio.

6.5.1. Correlación entre la clorofila foliar y la altura de las plantas almacenado por planta (Segundo objetivo)

Luego de normalizar los datos de las alturas de las plantas y la clorofila se realizó una correlación con el método de Pearson ($R = 0,12$). A su vez la correlación de los datos fue baja mostrando un valor de ($p= 5,679E-16$). Es decir, entre más altura la cantidad de clorofila varía en las plantas como lo fue en *Citrus sinensis* y *Citrus reticulata*, seguido de *Mangifera indica* y *Annona muricata*. Rodríguez (2020) en su investigación realizada sobre el estado fisiológico en las plantas de guayaba nos mencionan que los árboles que contienen más cantidad de clorofila foliar muestran un mejor crecimiento, por ello la clorofila está directamente relacionada con la síntesis de moléculas que contribuyen al crecimiento celular.

Según Taiz et al., (2017) el aumento de clorofila y el crecimiento de las especies está relacionado estrechamente con la cantidad de Nitrógeno en las plantas, este es muy importante

tanto para su estado fisiológico como su desarrollo ya que es necesario y está involucrado en el proceso de la fotosíntesis. Así cantidades adecuadas de nitrógeno en la planta, producen hojas de color verde oscuro ya que estas tienen alta concentración de clorofila y un mejor desarrollo y crecimiento en las mismas.

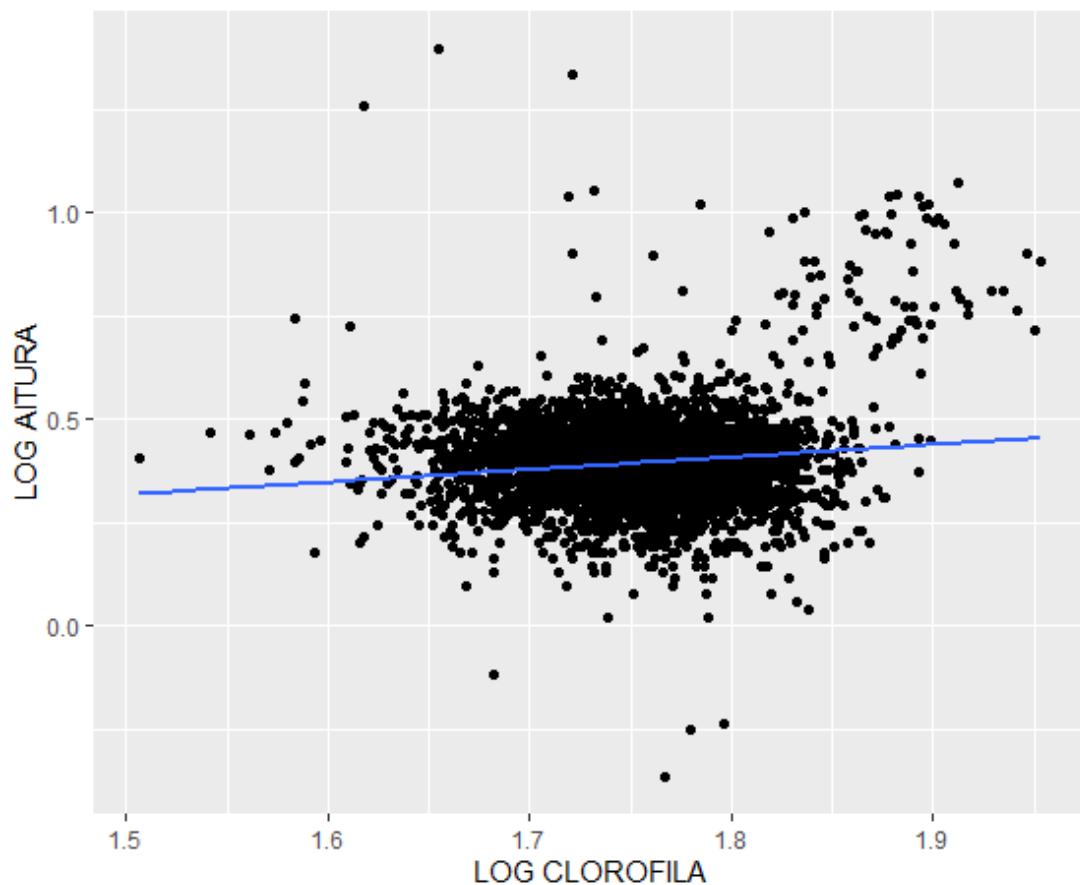


Figura 7 Dispersión del nivel de correlación y significancia entre las variables clorofila foliar y la altura de las plantas por planta (intervalo de confianza $\alpha=0,05$) mediante la prueba de Pearson

Se hizo una correlación entre las variables de la clorofila foliar y el carbono aéreo, pero no se encontró una correlación significativa ($R = 0,002$) la correlación de los datos no es significativa mostrando un valor ($p = 0,89$).

Conclusiones

Con la variedad de plantas presentes, se descubrió que la especie más común en los sistemas agroforestales evaluados es *Citrus sinensis*, seguida de *Citrus reticulata*. La diversidad entre las diferentes especies evaluadas fue del 0,66%. Los índices de Shannon y Simpson indicaron una diversidad relativamente baja, lo cual puede deberse a que los

agricultores han seleccionado cuidadosamente las especies y han empleado técnicas de manejo intensivo.

La mayoría de los sistemas agroforestales evaluados presentaron un balance energético positivo, lo que significa que producen más energía de la que consumen. No hubo diferencias significativas entre las comunidades evaluadas, pero se observó que el mayor gasto energético fue fertilizantes orgánicos y fertilizantes químicos, seguido de la mano de obra.

En los sistemas de producción de las zonas estudiadas se concluye que el contenido de carbono presentó diferencias significativas entre las fincas pequeñas, medianas y grandes, sin embargo, la familia de Bignoniaceae y Rutaceae son aquellas que contienen mayor cantidad de carbono almacenado.

En cuanto a los índices de clorofila se encontró diferencias altamente significativas entre las especies, siendo la familia de las Rutaceae quien presentó una mediana mayor, mientras que la familia de las Malváceas mostró unidades de clorofila desde 56,6 a 51,17 unidades atLeaf.

Recomendaciones

- En las zonas de estudio de la parroquia El Piedrero son las primeras investigaciones realizadas por lo que se recomienda un análisis completo de suelo y colocar mayor énfasis en el nitrógeno.
- Se deben estructurar de manera clara y precisa las encuestas con información importante.
- Hacer un estudio con sistemas agroforestales de diferentes años de edad para ver si existen diferencias entre ellas con respecto a los resultados obtenidos en esta investigación.
- Se debería socializar este trabajo de investigación con el GAD el Piedrero para que los resultados obtenidos sean tomados en cuenta para el desarrollo de la producción agrícola.

Referencias

- Abad, A., Acuña, C., & Naranjo, E. (2020). El cacao en la costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica. *Revista internacional de administración*, No, 59-83.
- Acosta, M., Vargas, J., A, V., & Etchevers, J. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 725-736.
- Alcívar, K., Quezada, J., Barrezueta, S., Garzón, V., & Carvajal, H. (2021). Análisis económico de la exportación del cacao en el Ecuador durante el periodo 2014-2019. *Polo del conocimiento*, 2430-2444.
- Aguadelo, G., Cadena, J., Almanza, P., & Pinzón, E. (2018). Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao L.*) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 223-232.
- Andrade, H., Segura, M., Somarriba, E., & Villalobos, M. (2008). Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa. *Agroforestería en las Américas*, 45-50.
- Anaya, M. S. (2018). *Diversidad, estructura y captura de CO₂ de la flora urbana del municipio de Galeras, Departamento de Sucre, Colombia*. Colombia .
- Anguiano, J. M., Aguirre, J., & Palma, J. M. (2015). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala*, var. *cunningham* y *Pennisetum purpureum*. *Avances en investigación Agropecuaria*, 149-160.
- Armengot, L., Beltrán, M. J., Schneider, M., Simón, X., & Pérez-Neira, D. (2021). Food-energy-water nexus of different cacao production systems from a LCA approach. *Journal of Cleaner Production*, 304, 126941.

- Armengot, L., Barbieri, P., Andres, C. et al. (2016). Cacao agroforestry systems have higher return on labor compared to full-sun monocultures. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 70. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0406-6>.
- AtLEAF. (agosto de 2020). Medidor de clorofila atLEAF CHL STD. Obtenido de <https://www.atleaf.com/Download/atLEAF%20CHL%20STD%20Flyer.pdf>
- Ávila, P., Sánchez, A., Catalán, C., Almazán, R., & Jiménez, J. (2018). Patrones de riqueza y diversidad de especies vegetales en un gradiente altitudinal en Guerrero, México. *Polibotánica*, 101-113.
- Azcón, J., & Talón, M. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal. *Universidad de Barcelona*.
- Azcón, J., Fleck, I., Aranda, X., & Gómez, N. (2013). Fotosíntesis, factores ambientales y cambio climático. *Fundamentos de la fisiología vegetal*, 247-263.
- Barrezueta Unda, S., & Chabla Carrillo, J. (2017). Características sociales y económicas de la producción de cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 25-34. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/latecnica/article/view/952/906>
- Batista, L. (2009). El cultivo de cacao. *Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc.*, 250.
- Benjamín, J., & Masera, O. (2001). Captura de Carbono ante el cambio climático. *Medera y Bosques*, 3-12.
- Bojacá, C., Casilimas, H., Gil, R., & Shrevens, E. (2012). Extending the input–output energy balance methodology in agriculture through cluster analysis. *Energy*, 465-470 .
- Carmona, V., & Carmona, T. (2013). The Diversity of Diversity Analyses. *Bioma*, 14, 20-28.
- Carranza, W., Angulo, M., Cedeño, G., & Prado, Y. (2020). Evaluación socioeconómica del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la zona norte de la Provincia de los Ríos. *Journal of business and entrepreneurial studies*, 96-106.

Campo, A., & Duval, S. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihue Calel (Argentina). Argentina: *Universidad Nacional del Sur.*

Casanova, F., Petit, J., & Solorio, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 5-118.

Castañeda, C., Merchán, P., Pinzón, H., Cely, G., & Serrano, P. (2018). Estimación de la concentración de clorofila mediante métodos no destructivos en vid (*Vitis vinifera L.*) cv. Riesling Becker. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* , 329-337.

Castillo, R., Duicela, Luis, & Chamba, H. (2016). Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano. *Loja. INIAP.*

Chave, J., Réjou-Méchain, M., Bürquez, A., Chidumayo, E., Colgan, MS, Delitti, WB, & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology*, 20 (10), 3177-3190.

Cueva, E., Lozano, D., & Yaguana, C. (2019). . Efecto de la gradiente altitudinal sobre la composición florística, estructura y biomasa aérea del bosque seco andino, Loja, Ecuador. *Bosque (Valdivia)* , 356-378.

Denoia, J., Vilche, M., Montico, S., Tonel, B., Di leo, N. (2006). Análisis descriptivo de la evolución de los modelos tecnológicos difundidos en el Distrito Zavalla (Santa Fe) desde una perspectiva energética. *Ciencia, docencia y Tecnología*, 33: 209-226.

EC Pro-Ecuador. 2016. "Alimentos frescos, semielaborados y elaborados". *Pro-Ecuador*. Accedido 2 de marzo de 2019. <https://bit.ly/2q9WsCt>

Farfán, F. (2014). Agroforestería y sistemas agroforestales con café. *Cenicafé*, 342.

Farell, G., & Altieri, M. (1999). Sistemas agroforestales. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. *Nordan-Comunidad*.

Garofalo, E. G. (2019). Diagnóstico de productores cacaoteros de la Nueva Unión "ASOPROCANU". *Centro de educación y capacitación campesina del Azuay (CECCA)*

Gezer, I., Acaroğlu, M., y Haciseferoğullari, H. (2003). Use of energy and labour in apricot agriculture in Turkey. Biomass and bioenergy, 24(3), 215-219.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00116-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00116-2).

Gökdogan, O. & Erdogan, O. (2017). Evaluation of energy balance in organic olive (*Olea europaea* L.) Production in turkey, A case study of Aydın-Karpuzlu region. Erwerbs-Obstbau, 60 (1), 47-52.

Guiracocha, G., Harvey, C.A., Somarriba, E., Krauss, U. & Carrillo, E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. Agroforestería en las Américas 8 (30): 7-11.

Halffter, G., Soberón, J., Koleff, P., & Melic, A. (2005). *Sobre Diversidad Biológica: Alfa, Beta, y Gamma*. Zaragoza: SEA, CONABIO, Grupo Diversitas & Conacyt.

Hatirli SA, Ozkan B, Fert C. Energy inputs and crop yield relationships in greenhouse tomato production. *Renewable Energy* 2006;31(4):427-38.

Hernández Pérez, Melisa María, & Díaz Castellanos, Manuel. (2019). Eficiencia energética del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Buenaventura. Centro Agrícola, 46(3), 96-98. Recuperado en 09 de diciembre de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025357852019000300096&lng=es&tlang=es

Hervé BD, Vidal S (2008) Plant biodiversity and vegetation structure in traditional cocoa forest gardens in southern Cameroon under different. *Biodiversity and Conservation* 17 (8), 1821-1835.

- Jadán, O., Günter, S., Torres, B., & Selesi, D. (2015). Riqueza y potencial maderable en sistemas agroforestales tradicionales como alternativa al uso del bosque nativo, Amazonia del Ecuador. *Revista forestal Mesoamericana Kurú*, 13-22.
- Kenfack Essougong, U. P., Slingerland, M., Mathé, S., Vanhove, W., Tata Ngome, P. I., Boudes, P., ... & Leeuwis, C. (2020). Farmers' perceptions as a driver of agricultural practices: Understanding soil fertility management practices in cocoa agroforestry systems in Cameroon. *Human Ecology*, 48(6), 709-720.
- López, S., & Gil, A. (2017). Características germinativas de semillas de *Theobroma cacao L.* (Malvácea) "cacao". *Arnasdoa*, 609-618.
- Matute, D. (2022). Composición florística y estructura de las especies de sombrío en los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la subregión de los Montes de María, Bolívar-Colombia. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 17 (1), 47-60.
- Nancy Arizpe, Mario Giampietro & Jesús Ramos-Martin. (2011). Seguridad alimentaria y dependencia de energía fósil: una comparación internacional del uso de energía fósil en la agricultura (1991-2003), *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30:1-2, 45 -63, DOI: 10.1080/07352689.2011.554352
- Ordóñez, J. (2008). Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios. *Ciencias*, 37-42.
- Orozco, M., & Thienhaus, S. (1997). Efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao L.*) en desarrollo. *Agronomy Mesoamerican*, 81-92.
- Ortiz, J. (1997). Refinement and evaluation of two methods to estimate aboveground tree biomas in tropical forest. *Environmental Sciences and Forestry*.
- Ortiz, M; Somarriba, E. (2005). Sombra y especies arbóreas en los cacaotales de Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas* No. 43-44: 64-70.

- Pérez, D. (2016). Eficiencia energética de la agrosilvicultura del cacao bajo condiciones tradicionales y gestión orgánica. *Agron. Sostener. desarrollo*, 36:49.
- Pimentel, D., & Pimentel, M. (2001). El uso de la energía en la agricultura; una visión general. *Leisa Magazine*. 21(1), 21-31.
- Pocomucha, V., Alegre, J., & Abregú, L. (2016). Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*)en Huánuco. *Ecología Aplicada*, 107-114.
- Poveda, V., Orozco, L., Medina, C., Cerda, R., & López, A. (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 49.
- Ramírez-Meneses, Aurora, García-López, Eustolia, Obrador-Olán, José Jesús, Ruiz-Rosado, Octavio, & Camacho-Chiu, Wilder. (2013). Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Universidad y ciencia*, 29(3), 215-230. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792013000300001&lng=es&tlng=es
- Rodríguez, I., Casimiro, L., Pérez Iglesias, H. I., & García Batista, R. M. (2020). Balance energético como indicador de sostenibilidad en sistemas de producción agrícola. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(3), 115-125.
- Rodríguez, L., Suárez, J., Casanovas, F., & Ngo, M. (2021). Los sistemas agroforestales de cacao mejoran la fertilidad del suelo: Comparación de las propiedades del suelo entre bosques, sistemas agroforestales de cacao y pastos en la amazonia colombiana. *Agricultura, Ecosistemas y Medio Ambiente*, 314.
- Roshetko, J., Delaney, M., Hairiah, K., & Purnomasidhi, P. (2002). Carbon stocks in Indonesian homegarden systems: Can smallholder systems be targeted for increased carbon storage? *American Journal of Alternative Agriculture*, 138-148.

- Salgado-Mora, M., Ibarra-Núñez, G., Macías-Sámano, J & López-Báez, O. 2006. Diversidad arbórea en cacaotales del soconusco, Chiapas, México. 6p 16.
- Selesi, D. (2013). *Agroforestry production systems and socioeconomic aspects of smallholder cacao farmer households in the sumaco biosphere reserve in Ecuador*. Berlin.
- Segura, M., & Kanninen, M. (2005). Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotropica*, 2-8.
- Somarriba, E., Trivelato M., Villalobos M., Suárez A., Benavides P., Moran K., Orozco L. & López A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. Agroforestería en las Americas, 10: 37-38.
- Sánchez F., L, Gamboa, E, & Rincón, J. (2003). Control químico y cultural de la moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) del cacao (*Theobroma cacao* L) en el estado Barinas. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 20(2), 188-194. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037878182003000200007&lng=es&tlang=es.
- Sonwa, D. (2004). Biomasa management and diversification within cocoa agroforest in the humid forest zone of Southern Cameroon. Cuvillier. Göttingen, Alemania. 112 pp.
- Streit, N., Ramírez, L., Queiroz, L., Jacob, E., & Queiroz, M. (2015). Producción de pigmentos naturales (clorofila-a) en biorrefinerías agroindustriales. *Ciencia y tecnología*, 27-34.
- Stadler, C. (2015). Estimación del contenido de clorofila con datos de satélites. *Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A. 2017. *Plant Physiology and Development*. 6th Edition, Sinauer Associates, Sunderland, CT.
- Tovar, H. J. V. Caracterización socio-económica y de biodiversidad en agroecosistemas cacaoteros de la comunidad “El Guapo”, Estado Miranda, Venezuela.

Vliet, J., Slingerland, M., & Giller, K. (2015). Plant production systems group & wageningen University. . *Nutrición mineral del Cacao* , 1-57.

Zapfack L, Engwald SS, B Achoundong G, A Madong B (2002) The impact of land conversion on plant biodiversity in the forest zone of Cameroon. *Biodiversity and Conservation* 11 (11): 2047-2061.

Zea, P., Chilpe, J., Sánchez, D., & Chica, E. (2020). Eficiencia energética de fincas de pequeños productores de hortalizas en Cuenca (Ecuador). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*.

Anexos**Anexo A**

Diseño de encuesta para la recopilación de datos de eficiencia energética (ingreso de energía)

ENTRADAS								
Producto o insumos	Nombre común	Cantidad por ciclo de producción (kg o l)	Concentración de I.A. (kg)	Total de I.A./ciclo de producción (kg)	Veces/año	Total I.A./año de producción (kg)	MJ/kg de I.A.	Total MJ/kg
Fertilizantes								
Abonos org.								
Fungicidas								
Agua								
Gasolina								
Diésel								
Mano de obra								
Otros								

Anexo B

Diseño de encuesta para la recopilación de datos de eficiencia energética (salida de energía)

SALIDAS					
Cultivo	Cantidad (kg) por ciclo de producción	Nº Veces de producción/año	Subtotal/Año	Energía equivalente (MJ/kg)	Total, MJ
Naranja					
Mandarina					
Cacao					
Otros					
Total					

Anexo C

Diseño de registros de datos tomados en cada parcela para la obtención de los resultados

Anexo D

Energía equivalente (MJ/Kg) de los insumos agrícolas utilizados en cada una de las fincas (ingreso de energía).

Entradas	Unidad	Energía equivalente (Mj/kg)	Referencia
Fertilización			
Nitrógeno	Kg	66,14	Unakitan et al (2010)
Fósforo	Kg	12,44	Unakitan et al (2010)
Potasio	Kg	11,15	Unakitan et al (2010)
Boro	Kg	18,2	Kavargiris et al (2009)
Calcio	Kg	8,8	(Pimentel, 1980; Strapatsa, Nanos, y Tsatsarelis, 2006)
Urea	Kg	30,42	
Gallinaza	Kg	11,9	
Agroquímicos			

Fungicida	Kg	276	Unakitan et al (2010)
Herbicida	Kg	288	Unakitan et al (2010)
Insecticida	Kg	278	Unakitan et al (2010)
Otros ingresos			
Mano de obra	H	1,96	Yaldiz et al (1993)
Gasolina	Kg	46,24	Silva, Silva & Pérez (2017)
Agua	m3	0,63	Mohammadi et al (2010)

Anexo E

Energía equivalente (MJ/Kg) de los productos producidos dentro de cada finca (salida de energía).

Entradas	Nombre científico	Energía equivalente (Mj/kg)	Referencia
Cacao CCN51	Theobroma cacao	2,77	Pérez (2016) - Chévez et al (2018)
Cacao Nacional	Theobroma cacao	10,13	Pérez (2016) - Mora et al (2014)
Naranja	Citrus sinensis	2,87	Pergola et al (2013)
Mandarina	Citrus reticulata	0,43	Mohammadshirazi et al (2012)
Aguacate	Persea americana	8,83	Ozkan et al. (2004)
Limón	Citrus jambhiri	2,85	Pergola et al (2013)
Guanábana	Annona muricata		
Mango	Mangifera indica	0,7	Jekayinfa et al (2013)

Anexo F

Delimitación de las parcelas en las fincas a estudiar



Anexo G

Medición de variables dasométricas en Sistemas Agroforestales: Altura





Anexo H

Toma de datos de la clorofila con el medidor atLEAF CHL STD

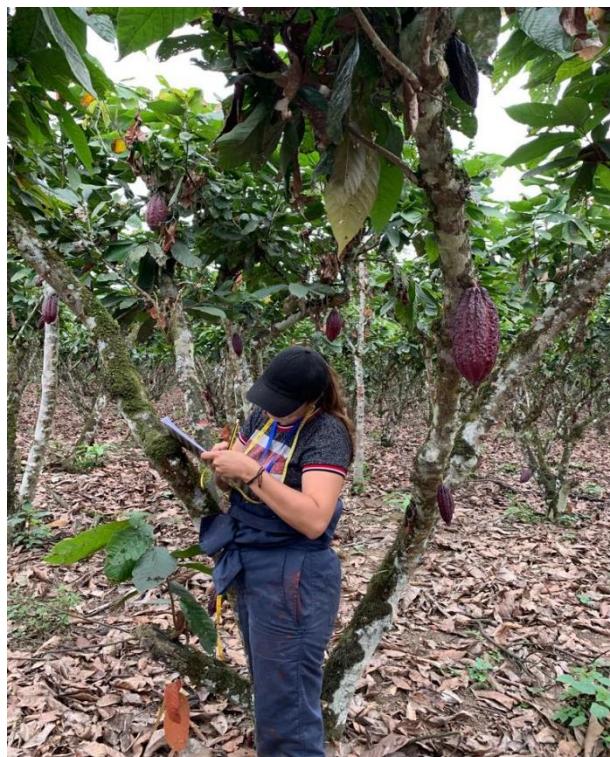




Anexo I

Medición de variables dasométricas en sistemas agroforestales: circunferencia a la altura del pecho.





Anexo J

Entrevista a los propietarios de los sistemas de producción de la parroquia el Piedrero



