

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Evaluación de carbono aéreo, clorofila foliar, eficiencia energética y diversidad florística en sistemas agro biodiversos en la parroquia Principal- Chordeleg

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

Autores:

Carlos Rafael Aguirre Valencia

Marcia Lorena Guamán Cuesta

Director:

Pedro René Zea Dávila

ORCID: 0000-0002-2225-7881

Cuenca, Ecuador

2023-02-17

Resumen

Alteraciones climáticas, sobre explotación de sistemas forestales han causado la pérdida de riqueza de especies, sumideros grandes de carbono (bosques) y la expansión de la tecnología agrícola han llevado que se requiera de más energía en la producción agrícola; siendo importante conocer los sistemas agro-biodiversos en los que se incluyen los sistemas agroforestales. Este estudio tuvo como objetivo evaluar; carbono aéreo, clorofila foliar, eficiencia energética y diversidad florística. Se evaluó una muestra de 185 sistemas productivos (agroforestal, cultivo ciclo corto, pastizal), estableciendo tres pisos altitudinales (zona baja, media y alta). La metodología se basó en parcelas de 800 m² tomadas al azar. Se estimó la cantidad de carbono, mediante ecuaciones alométricas, con el equipo atLEAF se midió índice de clorofila en forestales, la eficiencia energética se obtuvo mediante aplicación de encuestas estructuradas en cada sistema y la diversidad florística se identificó por medio de índices de diversidad alfa (Margalef, Simpson y Shannon-Wiener) y beta (Jaccard). Los resultados generalmente indicaron un comportamiento no normal; la variable almacenamiento de carbono aéreo, mostró medianas de 4.97 t C/ha (zona baja) y 5.17 t C/ha (zona media); la especie *Luma apiculata* obtuvo el mayor valor en cuanto a clorofila foliar (80,1 unidades atLeaf); el 61,62% de los sistemas evaluados manifestaron ser eficientes energéticamente y el 38,38% ineficientes. En diversidad florística, el índice alfa muestra diversidad media para índices de Margalef y Shannon y alta para el índice de Simpson y para la diversidad beta se muestra un índice de similitud de Jaccard del 45%.

Palabras clave: sistema agroforestal, carbono aéreo, clorofila foliar, diversidad, eficiencia energética

Abstract

Climate alterations, overexploitation of forest systems have caused the loss of species richness, large carbon sinks (forests) and the expansion of agricultural technology have led to the need for more energy in agricultural production; it is important to know the agro-biodiverse systems in which agroforestry systems are included. The objective of this study was to evaluate aerial carbon, leaf chlorophyll, energy efficiency and floristic diversity. A sample of 185 productive systems (agroforestry, short-cycle crops, pasture) was evaluated, establishing three altitudinal levels (low, medium and high altitude). The methodology was based on plots of 800 m² taken at random. The amount of carbon was estimated using allometric equations, the atLEAF equipment was used to measure the chlorophyll index in forests, energy efficiency was obtained by applying structured surveys in each system and floristic diversity was identified by means of alpha (Margalef, Simpson and Shannon-Wiener) and beta (Jaccard) diversity indices. The results generally indicated a non-normal behavior; the aerial carbon storage variable showed medians of 4.97 t C/ha (low zone) and 5.17 t C/ha (medium zone); the species *Luma apiculata* obtained the highest value in terms of leaf chlorophyll (80.1 atLeaf units); 61.62% of the evaluated systems declared to be energetically efficient and 38.38% inefficient. In floristic diversity, the alpha index shows medium diversity for Margalef and Shannon indices and high for Simpson's index, and for beta diversity a Jaccard similarity index of 45% is shown.

Keywords: agroforestry system, aerial carbon, leaf chlorophyll, diversity, energy efficiency

Índice

1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo general	15
2.2 Objetivos específicos	15
3. HIPÓTESIS	16
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	17
4.1 Sistemas Agro-biodiversos	17
4.2 Sistemas Agroforestales	18
4.3 Captura de carbono.....	18
4.4 Ecuaciones Alométricas	19
4.5 Captura de carbono aéreo en sistemas Agroforestales	19
4.6 Clorofila foliar.....	19
4.7 Eficiencia energética	20
4.8 La diversidad florística.....	21
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
5.1 Zona de estudio.....	22
5.2. Materiales y equipos requeridos para el proyecto.....	23
5.3. Cálculo de la muestra.....	23
5.4. Metodología para el objetivo específico uno: “Determinar la cantidad de carbono aéreo almacenado en los sistemas agroforestales de la parroquia Principal.”	25

5.5. Metodología para el objetivo específico dos: “Determinar el índice de clorofila foliar de los sistemas agroforestales de la parroquia Principal.”	26
5.6. Metodología para el objetivo específico tres: “Caracterizar la eficiencia energética en sistemas agro biodiversos de la parroquia Principal.”	27
5.7. Metodología para el objetivo específico cuatro: “Evaluar la diversidad florística en sistemas agroforestales de la parroquia Principal.”	28
5.7.1 Diversidad alfa	28
5.7.2 Diversidad Beta.....	30
5.8. Análisis de datos	30
6. RESULTADOS	31
6.1. Determinación de la cantidad de carbono aéreo almacenado en los sistemas agroforestales de la parroquia Principal. (Primer objetivo)	31
6.1.1. Estimación de carbono aéreo almacenado por especies vegetales leñosas dentro de los sistemas agroforestales de la parroquia Principal.....	31
6.2. Determinación del índice de clorofila foliar de los sistemas agroforestales de la parroquia principal (Segundo objetivo).....	32
6.2.1. Correlación entre la clorofila foliar y el nivel de carbono almacenado por planta .	34
6.3. Caracterización de la eficiencia energética de los sistemas agro biodiversos de la parroquia Principal (Tercer objetivo).....	36
6.3.1 Comparación entre sistemas de producción evaluados	38
6.3.2. Correlaciones entre las entradas, salidas y la eficiencia energética de cada sistema de producción evaluado.....	39
6.4 Evaluación de la diversidad florística en los sistemas agroforestales de la parroquia Principal. (Cuarto objetivo).....	41

6.4.1 Descripción de la flora encontrada	41
6.4.2 Diversidad alfa	42
6.4.3. Diversidad Beta.....	44
7. DISCUSIÓN	44
8. CONCLUSIONES.....	48
9. RECOMENDACIONES	49
Referencias.....	50
Anexos	60

Índice de gráficos

Gráfico 1: Mapa de ubicación de la parroquia Principal.-----	22
Gráfico 2: Sistemas de producción estudiados dentro de la parroquia Principal -----	25
Gráfico 3: Cantidad de carbono almacenado en las diferentes zonas altitudinales de la parroquia principal mediante la representación de las medianas. -----	31
Gráfico 4: Representación de la mediana de la estimación de carbono alométrico de cada especie y subespecie existente en la parroquia.-----	32
Gráfico 5: Mediana del porcentaje de actividad clorofila por especies y subespecies encontradas en la parroquia Principal. -----	33
Gráfico 6: Gráfico de la mediana del porcentaje de actividad clorofílica para cada una de las familias comparadas. -----	33
Gráfico 7: Gráfico de dispersión verificando el nivel de correlación y significancia entre las variables clorofila foliar y carbono almacenado por planta (intervalo de confianza $\alpha=0,05$) mediante la prueba de Spearman.-----	34
Gráfico 8: Correlación de Spearman entre la clorofila foliar por parcela y la altitud de la zona (intervalo de confianza $\alpha=0,05$). -----	35
Gráfico 9: Balance energético de los diferentes sistemas de producción-----	37
Gráfico 10: Medianas de la variable eficiencia energética correspondiente a cada sistema de producción evaluado.-----	39
Gráfico 11: Correlaciones de Spearman entre: entrada-eficiencia energética (a) y salidas-eficiencia energética (b).-----	39
Gráfico 12: Correlación de Spearman entre: salidas-eficiencia energética.-----	40
Gráfico 13: Correlaciones de Spearman entre: entradas-eficiencia energética (a) y salidas-eficiencia energética (b).-----	40

Gráfico 14: Curva de acumulación de especies representando el número de especies y el número de sistemas agroforestales(A), curva de acumulación de especies representando el número de especies y el número de individuos (B). -----43

Gráfico 15: Comparación del número de especies presentes en cada zona de estudio en relación al índice de de similitud de Jaccard (0.45). -----44

Índice de tablas

Tabla 1: Materiales y equipos requeridos para el proyecto -----	23
Tabla 2: Valores de significancia para el índice de Margalef. -----	28
Tabla 3: Valores de significancia para el índice de Shannon. -----	29
Tabla 4: Valores de significancia para el índice de Simpson. -----	29
Tabla 5: Valores totales y su proporción acorde a las entradas de energía en los sistemas de producción evaluados en la parroquia Principal.-----	37
Tabla 6: Prueba de Kruskal-Wallis para los sistemas de producción con relación a la variable eficiencia energética. -----	38
Tabla 7: Número de individuos por especie y por estrato altitudinal-----	41
Tabla 8. Valores de los índices de diversidad alfa y error estándar de los datos de las comunidades de estudio. -----	42

Agradecimientos

Agradecemos enormemente a la Parroquia Principal por darnos la oportunidad de que este estudio se desarrolle. Así también el agradecimiento a nuestro tutor de tesis Ing. Pedro Zea M.Sc., por ser el apoyo en la realización de nuestra tesis, brindándonos sus conocimientos e ideas para que se desarrolle con éxito. A nuestros docentes y personal administrativo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias por las enseñanzas e información impartida durante nuestra carrera universitaria. A todos y cada uno de los compañeros y amigos que nos supieron brindar ayuda en el momento que lo necesitábamos y su amistad en los buenos y malos momentos.

Carlos Aguirre y Lorena Guamán

Dedicatoria

Agradezco a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional que me brindan para alcanzar cada uno de mis logros, por siempre recordarme que soy capaz de lograr todo lo que me propongo y este es un ejemplo de ello. A mis abuelitos por incentivarlos a cada día superarme más. A mis familiares y amigos que confiaron en mí y en muchos casos fueron de gran ayuda para poder alcanzar un logro más de todos los que aún me falta por cumplir. Y agradezco enormemente a cada uno de los docentes de nuestra facultad que siempre están dispuestos a ayudarnos y enseñarnos de la mejor manera, formando unos excelentes profesionales.

Lorena Guamán

Dedicatoria

Dedico todo el esfuerzo de este trabajado a mi familia quienes me han brindado su apoyo para poder alcanzar la cúspide de mi educación, agradeciendo por todo ese apoyo, paciencia y cariño que me han tenido en cada año culminado, agradezco y recuerdo con cariño a mis maestros en cada una de las etapas de formación educativa quienes me han ayudado a alcanzar mis metas de estudio, gracias a todos mis profesores de la facultad de Ciencias Agropecuarias que han compartido sus conocimientos y que siempre están dispuestos a ayudarnos y aconsejarnos para que podamos ser buenos profesionales, a mis compañeros que aunque breve el tiempo hemos compartido algunas experiencias y principalmente gracias a Dios por permitir cada suceso y del día a día para lograr nuestras metas.

Carlos Aguirre

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador como a nivel mundial existen varios factores del tipo antrópico que han alterado las condiciones climáticas llevando a un incremento gradual de la temperatura, prolongadas sequías, y el aumento del efecto invernadero. Esto es debido a un incremento del uso de combustibles fósiles y a las emisiones de CO₂, el cambio del uso del suelo y la deforestación (Regil, et al., 2020). De acuerdo al MAE (2012). En Azuay se ha perdido cerca de 1058 ha de bosques anualmente en un periodo comprendido entre los años 2000 a 2008, sumado a ello el MAE (2013) indica que en el país el incremento de la frontera agrícola por año es de un 5% y por ello a nivel nacional se considera una suma anual de la pérdida de bosques en 70000 ha. Considerándose la deforestación la actividad antrópica con efectos desastrosos en el cambio climático ya que la eliminación de los bosques contribuye globalmente en un 20% las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que la contramedida a esta actividad degradante es la reforestación ayudando a mitigar la emisión de CO₂ (MAE, 2014).

Considerar la reforestación como medida de mitigación se debe a que las plantas son excelentes capturando carbono mediante el proceso fotosintético, especialmente las especies del tipo leñosas que conforman bosques ya que almacenan carbono (C) por largos periodos de tiempo. Este carbono absorbido es transformado en biomasa en cada uno de los órganos de la planta (Alegre, et al., 2000). Además de los sistemas forestales, los sistemas agroforestales son también una buena alternativa para la captura de carbono por la combinación de especies cultivables y especies leñosas. En estos sistemas, la absorción o capacidad de almacenamiento de carbono dependen de algunos factores como la edad, la altura y el diámetro del tronco, determinando así que a mayor aumento de estos componentes forestales mayor es la cantidad de carbono almacenado (Alegre, et al., 2000). Sumados a los factores descritos para este servicio eco sistémico de retención de carbono atmosférico en biomasa, también se establece que depende de la composición de especies, la precipitación y temperatura como climáticos, y las características del suelo que determinan el crecimiento y edad de las especies (Patiño, et al., 2018). Por otra parte, el análisis de la clorofila presente en las hojas de una especie vegetal también permite determinar la cantidad de carbono almacenado como sus niveles de asimilación de nitrógeno (N) (Castañeda, et al., 2018).

A nivel de finca los sistemas agroforestales están ligados a mantener una variabilidad de especies forestales y frutales para mantener múltiples beneficios. En primer lugar, se da la conservación de otras especies que se han visto afectadas por la deforestación y en segundo lugar la mitigación de los gases de efecto invernadero contribuyendo así a la sostenibilidad de los agro-ecosistemas. Además, en términos económicos se puede mejorar el rendimiento de la

finca a largo plazo (Frías, Bonilla & Rivero, 2021). En relación a la eficiencia energética dentro de una finca, la agroforestería ha sido considerada una medida ecológica junto con otras técnicas de cultivo sustentables para maximizar la eficiencia ya que la agricultura convencional ha llevado a la reducción de la eficiencia energética e incrementando la dependencia de productos derivados de combustibles fósiles (Tinoco, et al., 2019).

Los sistemas agroforestales son considerados como los sistemas alimentarios más importantes del mundo por su sostenibilidad, muy influyentes en aspectos no solamente ambientales sino también económicos y sociales. Los beneficios van desde la preservación y mejora de la diversidad, incremento en la capacidad de almacenamiento de carbono, evita la erosión y permite el almacenamiento y ciclaje de nutrientes (Hernández, et al., 2021). De acuerdo a lo mencionado, en el presente estudio se recolectó información pertinente para cumplir con el objetivo de evaluación de carbono aéreo, clorofila foliar, eficiencia energética y la diversidad florística de sistemas agro-biodiversos de la parroquia Principal la cual se caracteriza principalmente por la producción activa de fruta dentro del austro ecuatoriano.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar carbono aéreo, clorofila foliar, eficiencia energética y diversidad florística en sistemas agro biodiversos en la parroquia Principal- Chordeleg.

2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar la cantidad carbono aéreo almacenado en los sistemas agroforestales de la parroquia Principal.
- b) Determinar el índice de clorofila foliar de los sistemas agroforestales de la parroquia Principal.
- c) Caracterizar la eficiencia energética en sistemas agro biodiversos de la parroquia Principal.
- d) Evaluar la diversidad florística en sistemas agroforestales de la parroquia Principal.

3. HIPÓTESIS

Para la presente investigación se ha planteado dos hipótesis la cuales son las siguientes:

H1: Existe relación entre la cantidad de clorofila y el estimado de carbono aéreo de los sistemas agroforestales de la parroquia Principal.

H2: Existe relación entre la diversidad florística y la eficiencia energética en los sistemas agro biodiversos de la parroquia Principal.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Ecuador es uno de los países que poseen mega-diversidad y en consecuencia posee una notable agro-diversidad y dentro de las actividades productivas los agro-ecosistemas en el Ecuador están representadas en un 35,5% de todo el territorio nacional y divididas en 6 categorías: cultivos anuales, cultivos permanentes, cultivos semipermanentes, pastizales, mosaicos agropecuarios y áreas plantadas con cultivos forestales o agroforestales (INIAP & FAO, 2017).

Los agro-ecosistemas en relación a la fijación de carbono dependerá de nuevas prácticas de uso de suelo como la agricultura de conservación para obtener una mayor fijación dentro de las tres primeras capas de suelo. Por otro lado, los bosques poseen un 40% de carbono almacenado siendo incomparables con cualquier otro tipo de uso de suelo. Los sistemas agroforestales también son considerados buenos sumideros de carbono ya que poseen tasas altas de fijación de 12 a 228 t ha⁻¹ (INIAP, 2018). De acuerdo a Jadán, et al., (2015) la conversión de un sistema de monocultivo de cacao a un sistema agroforestal con cacao incrementa las existencias de carbono hasta unas 56 t C/ha con una tasa de fijación anual de 3 t C/ha.

Es importante dentro del manejo eco-sistémico el valorar y cuantificar la provisión los servicios eco-sistémicos mediante la eficiencia energética teniendo en cuenta el tipo de uso de suelo. Como se puede analizar en sistemas de pastizales se toma en cuenta cuánta energía es necesaria para producir un kilo de carne donde el mayor consumo energético procede de la alimentación incluyendo la producción y transporte (Jacobo, E., et al., 2016). En México en cultivos anuales como el maíz se ha comprobado que en zonas rurales se ha reemplazado las tecnologías tradicionales con métodos que han disminuido la eficiencia energética por el uso de productos químicos durante la producción y el uso de energía fósil (Guevara, et al., 2015). Los sistemas agroforestales se han considerado como una medida ecológica para maximizar la eficiencia energética y como contramedida a la agricultura convencional (Tinoco, et al., 2019).

4.1 Sistemas Agro-biodiversos

La agro biodiversidad se entiende como el conjunto de interacciones y relaciones dadas entre humanos y plantas con el objetivo de conservar, fomentar e interactuar con la diversidad existente de especies en entornos agrícolas, enfatizando la conservación *in situ* y los intercambios geográficos de semilla y material vegetal (Baumann, 2021). La dependencia alimentaria de pocos cultivos y variedades utilizadas, crea ciertas consecuencias para

satisfacer la demanda alimentaria, aumentando la vulnerabilidad de sistemas productivos ante el cambio climático, con la aparición de nuevas plagas y enfermedades (Macías Echeverri, 2019).

La gran mayoría de la producción de alimentos para el consumo humano está a cargo de pequeños productores y es donde más agro biodiversidad se encuentra y se conserva. Sin embargo, diario es el enfrentamiento a problemas de degradación de suelo, uso intensivo de agroquímicos, contaminación de agua y suelo, resistencia de plagas, falta de oportunidades y calidad de vida para los productores de zonas rurales. Esto ocasiona que la producción de alimento sea cada vez más difícil y poco atractiva para las nuevas generaciones en las zonas rurales. Es por ello que el futuro de la agricultura y la conservación de ecosistemas naturales son dependiente de la conservación de la agro biodiversidad. Por lo tanto, se debe hacer un buen uso de ella, realizar acciones concretas y efectivas para la conservación de la agro biodiversidad a nivel local y mundial (Macías Echeverri, 2019).

4.2 Sistemas Agroforestales

Los sistemas Agroforestales (SAF's) comprenden la unión del componente agrícola con el uso de especies leñosas, sean estos árboles o arbustos buscando incrementar la productividad del predio. Esto es utilizado en varios países donde la disponibilidad de los insumos agrícolas es limitada, usando como alternativas las especies leñosas o arbustivas leguminosas, permitiendo la captura de N y enriqueciendo el suelo con este nutriente permitiendo cultivar cereales u otros granos (Mosquera, et al., 2015). Los árboles de los SAF's pueden mejorar la productividad del agro ecosistema, influyendo en las características del suelo contrarrestando la erosión, mejorando la absorción de humedad y cobertura, del microclima siendo fuente de energía y nutrientes en lo referente a la micro fauna. También son importantes en los procesos hidrológicos, además pueden reducir el incremento en la fragmentación de los bosques que hoy en día produce efectos negativos en la biodiversidad de los ecosistemas de manera intensa (Peña, Alegre, & Bardales, 2018).

4.3 Captura de carbono

El CO₂ que se encuentra en la atmósfera es almacenado por las plantas las cuales convierten este gas en biomasa mediante el proceso de fotosíntesis. Este CO₂ es cuantificado mediante el volumen que se encuentra en los órganos sean estos raíces, tallo, hojas, troncos, flores o frutos, por lo que la captura de C es expresada en términos de biomasa (Carvajal & Andrade, 2020). Además de fijar el C mediante la fotosíntesis parte del carbono acumulado en la parte epigea de las plantas, también es almacenado en el suelo mediante la descomposición de la

hojarasca que se acumula en la base de plantas forestales (Criollo, Muñoz, & Lagos, 2020).

Para poder calcular la acumulación de C en especies forestales, se han creado ecuaciones alométricas que permiten un cálculo previo de la biomasa requiriendo datos que se deben recolectar en campo como el DAP (diámetro a la altura del pecho) o la altura del árbol (Ordoñez, et al., 2007). Rüginitz, Chacón, & Porro, (2009) indican que en la relación de biomasa - C y CO₂, una tonelada de C equivale a 3.67 toneladas de CO₂ cuyo valor es obtenido con base a los pesos moleculares de ambos elementos y la biomasa posee aproximadamente 0.5 toneladas de C.

4.4 Ecuaciones Alométricas

Las ecuaciones alométricas permiten calcular la cantidad de biomasa de un árbol cuyos componentes o variables son obtenidos en campo. Son ecuaciones obtenidas mediante regresión teniendo en cuenta la relación entre la masa del árbol, su altura y diámetro, y pueden ser lineales simples (una sola variable) o múltiples (de dos a más variables) dependiendo del número de variables que la componen. Algunas de las variables independientes más utilizadas dentro de las ecuaciones son el DAP (diámetro a la altura del pecho), la altura total y en otros casos la altura comercial, volumen, densidad y otras (Rüginitz, Chacón, & Porro, 2009).

4.5 Captura de carbono aéreo en sistemas Agroforestales

Los sistemas agroforestales son grandes captadores de carbono, por ser sistemas que integran en su funcionamiento especies forestales o leñosas, siendo una buena alternativa para la mitigación de CO₂ atmosférico (Poveda, et al., 2013). Estos sistemas dependen de factores climáticos, de suelo y las especies forestales que conforman el sistema. (Patiño, et al., 2018; López, et al., (2018) mencionan que las plantaciones de una hectárea de árboles forestales de 5 a 49 cm de DAP (Diámetro a la altura del pecho), y con edades de 14 y 15 años de edad almacenan carbono entre 108,36 y 151,37 t/ha respectivamente. En sistemas agroforestales de acuerdo al INIAP, (2018) en unos estudios analizados el potencial demostrado de almacenamiento de carbono llega a ser de entre 12 a 228 t ha⁻¹ y entre 20 a 204 t ha⁻¹.

4.6 Clorofila foliar

La clorofila es un elemento muy importante para el crecimiento y desarrollo celular de las plantas permitiendo la captación energética para su aprovechamiento y transformación (Barrantes, et al., 2018; Manrique, 2003). La importancia de este pigmento es debido a que

existe una relación estrecha entre el contenido de nitrógeno y la capacidad fotosintética que poseen las hojas ya que este es un elemento básico que compone la clorofila y enzimas del ciclo del carbono (Alonso, et al., 2008).

Rincón y Ligarreto (2010) confirman la relación que existe entre el nitrógeno y la clorofila presente en las hojas, aplicando dosis de nitrógeno de 100 y 200 kg/ha con niveles de clorofila de 48,9 y 51,6 % respectivamente obtenidos con el medidor SPAD en la cual se obtuvo mayor contenido de clorofila a mayor cantidad de N aplicado.

El análisis realizado para contenido total de clorofila y SPAD, según Barrantes et al. (2018), para las variables de crecimiento en campo a un año de edad resultaron ser muy bajas aún si superan el 0,19 de clorofila. Otros autores (Erickson et al., 1993; Rojas et al., 2012) concluyen que las plántulas deben alcanzar una etapa de desarrollo mínimo para que los rasgos juveniles se conviertan en un criterio de selección confiable. Además, este contenido de clorofila se puede ver afectado en cierta medida por algunos factores climáticos que lo alteran como: la temperatura, irradiación solar y estrés hídrico (Rojas et al., 2012).

4.7 Eficiencia energética

La eficiencia energética desempeña un papel fundamental en la agenda de las políticas públicas, teniendo mayor importancia en países más desarrollados. Aquí se, persigue la competitividad de las industrias y la seguridad energética evitando así altas emisiones de dióxido de carbono hacia la atmósfera y reduciendo los impactos ambientales (Odales, et al., 2021). El flujo de energía en un sistema productivo que es medido a través de las entradas antrópicas y salidas productivas, permiten cuantificar los subsidios de energía que se da por la intervención del hombre, dirigido al medio físico y biológico, a potenciar y direccionar la energía solar en productos (Leguia, et al., 2019). “En términos energéticos, un sistema de producción agrícola puede ser interpretado como un convertidor de energía solar en alimentos, mediante la fotosíntesis y uso de insumos como combustibles, fertilizantes, pesticidas y semillas” (Guadiana, et al., 2021).

En la investigación realizada por Lermanó & Sarandón (2015), los valores de eficiencia energética para cultivos anuales fueron positivos para los dos tipos de sistemas evaluados: sistemas mixtos familiares (MF) y sistemas agrícolas empresariales (AE). En los sistemas mixtos familiares se obtuvo mayor eficiencia energética, lo cual está asociado al menor consumo de energía. Los valores de eficiencia energética superiores a 1 indican que se obtiene

más cantidad de energía que la que fue incorporada en el sistema, siendo más eficiente si el valor va aumentando.

Guadiana, et al., (2021) compararon la eficiencia energética en dos sistemas agrícolas familiares, demostrando que el sistema de producción alterno (desarrollo de microorganismos benéficos, abonos naturales) presentó un promedio de 1,63 MJ producidas por cada MJ de entrada. Por lo contrario, para el sistema de producción convencional (fósil, abonos químicos sintéticos, insecticidas, herbicidas, etc.) registraron una eficiencia promedio de 0,52 MJ producidas de igual manera por cada MJ de entrada. El sistema alterno demostró 3,13 veces mejor la eficiencia energética que el sistema convencional.

4.8 La diversidad florística

La diversidad de especies vegetales indica un modelo gradual y continuo a lo largo de una gradiente altitudinal, indicando que existe una disminución de especies desde las regiones bajas a las de mayor altitud. Sin embargo, no siempre se demuestra esto ya que varios estudios han demostrado que los valores más altos de riqueza y diversidad de especies están presentes en altitudes intermedias (Ávila, et al., 2018). Se menciona que la composición de especies vegetales está asociada con la altitud, características de suelo como: textura, contenido de carbono, pH, nutrientes, profundidad y drenaje; y con el clima, que son unas de las causas principales de patrones de riqueza y diversidad de especies (Ávila, et al., 2018).

Deleg & Porras (2017) han registrado 86 familias, 205 géneros y 477 especies, entre las cuales 15 son endémicas para el Ecuador. Aquí se da a conocer que la mayor riqueza de especies se encuentra a los 1200, 2000 y 2100 msnm, mientras que a la altitud de 1500 msnm se registra una menor riqueza. Otro estudio realizado por Ávila-Sánchez et al., (2018) registró 310 especies, que corresponden a 204 géneros y 79 familias distribuidos en 5 tipos de vegetación. En este estudio se da a conocer que los valores de riqueza y diversidad total de especies fueron mayores en la parte baja y alta del gradiente, con una disminución en la porción media.

La diversidad florística depende en gran parte del diseño y manejo que se les da a los sistemas agroforestales por cada uno de sus agricultores (Guiracocha et al. 2001). Para la diversidad alfa se determina el número de especies en relación al área a ser estudiada, considerando que a mayor área de estudio existiría una mayor cantidad de especies (Sonco, 2013). Para el caso de la diversidad beta (Bravo, 2014) indica que la variación de las especies en diferentes ecosistemas y el espacio de estudio ocurre en distintos sitios con diversos gradientes ambientales. Sonco, (2013) menciona varias definiciones refiriéndose a la diversidad beta

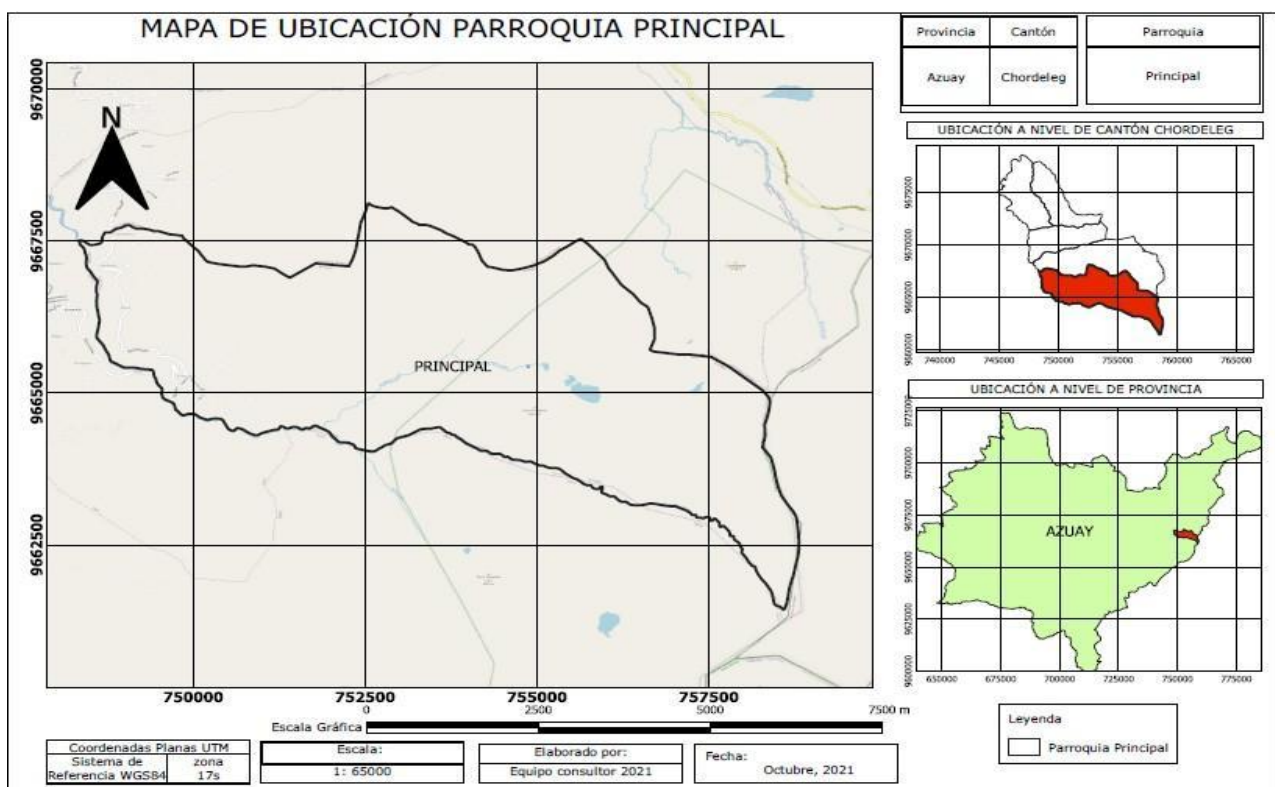
como el cambio o recambio en la composición de especies en distintas comunidades o hábitats dentro de un mismo paisaje.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Zona de estudio

La investigación se realizó en la parroquia Principal, ubicada a 18 kilómetros de distancia al sur del cantón Chordeleg. Se encuentra en un rango de altitud de 2500 – 3200 m.s.n.m. y cuenta con un clima templado, semihúmedo con promedios de precipitación anual que van desde 2803- 2900 mm en la cabecera parroquial y de 2901- 3075 mm en zonas de mayor precipitación. La temperatura promedio de la parroquia va desde los 6°C hasta los 15°C considerándose así un clima frío de montaña. Tiene una extensión territorial de 11500 hectáreas y cuenta con un porcentaje de pendientes muy fuertes en la mayor parte de su territorio siendo una limitante para cualquier tipo de actividad productiva. La mayor superficie de suelo es ocupada por vegetación permanente, conservación, no apta para cultivo y tiene una población aproximada de 1600 habitantes (GAD-Principal, 2020). A continuación, se muestra en el **Gráfico 1** el mapa de ubicación de la parroquia Principal dentro de la provincia del Azuay.

Gráfico 1: Mapa de ubicación de la parroquia Principal.



5.2. Materiales y equipos requeridos para el proyecto

Tabla 1: Materiales y equipos requeridos para el proyecto

Materiales y equipos		
Físicos	Equipos	De oficina
Pintura	GPS	Computadoras
Brocha	Clinómetro	
Estacas	Medidor de clorofila AtLEAF	
Piola	Cámara fotográfica	
Hojas de campo (encuestas)		
Lápiz, esfero		
Cinta métrica		

5.3. Cálculo de la muestra

Para establecer el tamaño de la muestra y evaluar cada una de las variables establecidas en los objetivos es necesario conocer si es finita o infinita. Dado en este estudio se analizó los predios productores de la parroquia podemos determinar que se trata de una población finita es decir con un número limitado, por lo cual se estableció la muestra para el estudio mediante la ecuación de acuerdo a Morales (2012).

Ecuación para poblaciones finitas por Morales (2012):

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

Donde:

n= Es el tamaño de la muestra que se desea 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.

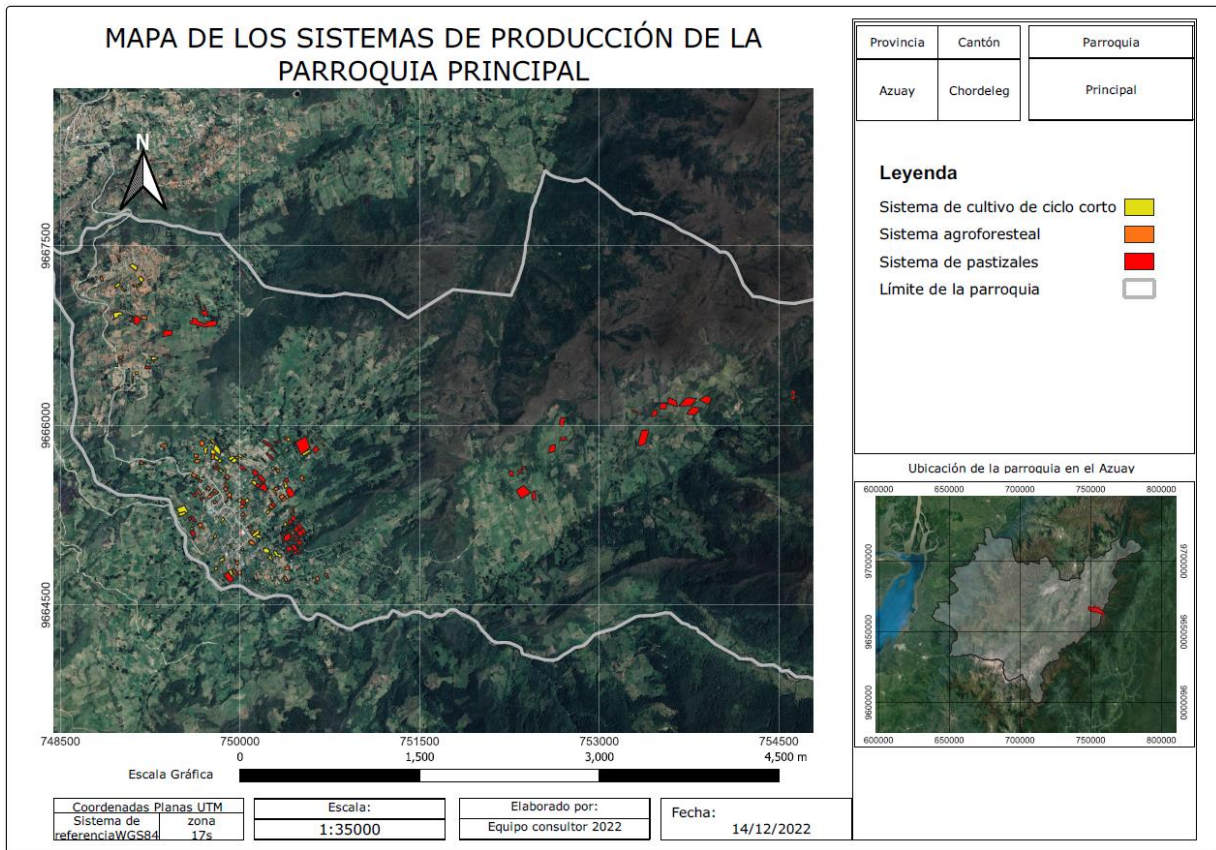
El número de muestras obtenido dependió del número de predios que se tiene en la parroquia y toda la información se consiguió gracias al GAD parroquial quienes compartieron la información del PDOT para realizar los cálculos respectivos. Se utilizó un nivel de confianza o “ z ” del 95% es decir 1.96, un margen de error del 5% “ e ” y los porcentajes de éxito “ p ” y porcentaje de fracaso “ q ” será del 80% y 20% respectivamente.

Con el fin de obtener comunidades de comparación para las variables que se evaluaron, los predios se caracterizan de acuerdo a la posición altitudinal dentro de la parroquia. De tal manera que la parroquia Principal se subdividió en tres pisos altitudinales (bajo, medio y alto), de acuerdo a la información obtenida del PDOT.

- Bajo: 2500 – 2733 msnm
- Medio: 2734–2967 msnm
- Alto: 2968 – 3200 msnm

De acuerdo a la información de los mapas y del PDOT proporcionado por el GAD de Principal, hay 740 parcelas de sistemas de producción (agroforestales, cultivos de ciclo corto y pastizales), es decir el que “ n ” representativo es de 185 predios que fueron muestreados como lo podemos observar en el **Gráfico 2**, calculado a partir de la fórmula y se eligió aleatoriamente y finalmente se clasificó de acuerdo a su rango altitudinal bajo, medio y alto, teniendo como resultado 124, 45 y 16 fincas respectivamente. Una observación importante es que dentro de la clasificación altitudinal para los sistemas agroforestales solamente hubo 2 (zona baja y zona media) ya que no se encontraron este tipo de sistemas en la zona alta.

Gráfico 2: Sistemas de producción estudiados dentro de la parroquia Principal



5.4. Metodología para el objetivo específico uno: “Determinar la cantidad de carbono aéreo almacenado en los sistemas agroforestales de la parroquia Principal.”

Para determinar la cantidad de carbono aéreo almacenado en sistemas agroforestales, según la metodología planteada por Flores, (2014). Se optó por el uso del método indirecto para el cálculo de carbono almacenado debido a que el método directo es altamente destructivo. El método empleado implica el uso de ecuaciones alométricas para la estimación de carbono capturado sin provocar una alteración o destrucción de los cultivos.

La ecuación alométrica que se utilizó para todas las especies arbóreas fue la descrita por Chave, et al., (2014). Esta ecuación incluye variables como el DAP (diámetro a la altura del pecho), la altura de la especie y principalmente la densidad de la madera. Se utilizó los valores descritos en la base datos globales de densidad de madera de diversas especies forestales (Zanne et al., 2009), que abarcan una amplia gama de condiciones climáticas y tipos de vegetación. La ecuación fue la siguiente:

$$AGB_{est} = 0.0673 \times (\rho D^2 H)^{0.976}$$

AGB_{est} representa la biomasa aérea(kg), ρ es la densidad de la madera de acuerdo a la especie(g/cm^3), D^2 representa el diámetro a la altura del pecho(cm), H la altura de la especie (m).

En primera instancia se tomó en cuenta las variables dasométricas como diámetro a la altura del pecho (DAP), la cual se tomó a ≥ 10 cm y a 1.30m del suelo utilizando una cinta métrica, la altura se midió utilizando un clinómetro y las conversiones trigonométricas (Marín et al.,2016). La densidad de la madera fue tomada de la base de datos mundial de densidad de la madera (Zanne et al., 2009). Se obtuvo la biomasa con el uso de la ecuación alométrica de Chavé et al. (2014) y los valores fueron transformados a toneladas de materia seca por hectárea (tMS/ha) y se multiplicó por la fracción de carbono descrita por IPCC (2006) de 0.47. De esa manera se obtuvo el contenido de carbono aéreo almacenado representado en toneladas de carbono por hectárea (tC/ha) en cada una de las parcelas.

$$C_f = B * F$$

Donde:

C_f = El carbono almacenado

B = La biomasa aérea

F = Es el factor de conversión de Carbono a 0.47 Fuente: (Lozano, Palacios, & Aguirre, 2017).

5.5. Metodología para el objetivo específico dos: “Determinar el índice de clorofila foliar de los sistemas agroforestales de la parroquia Principal.”

El cálculo del índice de clorofila foliar se lo realizó en sistemas agroforestales solamente, es decir especies leñosas en los diferentes rangos altitudinales y dentro del “n” establecido.

Para la cuantificación de los valores de clorofila se utilizó el medidor de clorofila AtLEAF CHL STD, el cual usa longitudes de onda de 660 y 940 nm (Zhu, Tremblay, & Liang, 2012). Para ello se colocó el medidor en el centro de la hoja que no tuviese intervención de la nervadura central y se determina la transmisión de luz a través de ella. Aquí, la longitud de onda de 660 nm sería la actividad máxima de clorofila, mientras que la transmitancia de 940 nm se utiliza como referencia para compensar factores de grosor de la hoja y su contenido de humedad

(Zhu, Tremblay, & Liang, 2012).

Por cada árbol evaluado dentro de los 800 metros cuadrados se tomó tres lecturas en hojas de la parte media, las cuales fueron promediadas y así obtener un mejor resultado en la lectura. Se consideró para las lecturas las hojas con mejores características, es decir que no tengan ningún tipo de enfermedad (Barrantanes, et al., 2018). Con las unidades de clorofila que se obtuvo al momento de la medición se podría estimar la cantidad de nitrógeno presente, ya que la capacidad fotosintética está estrechamente relacionada con el contenido de nitrógeno el cual constituye un componente esencial de la clorofila. Además de que puede determinar que enzimas que intervienen en el ciclo de carbono (Castro & Blanco, 2018) mediante un método no destructivo en respuesta alternativa al método convencional donde se utiliza sustancias químicas para la estimación de clorofila y de nitrógeno (Montenegro, 2020).

5.6. Metodología para el objetivo específico tres: “Caracterizar la eficiencia energética en sistemas agro biodiversos de la parroquia Principal.”

Esta metodología se aplicó para todos los sistemas agro-biodiversos que se analizaron (agroforestal, cultivos de ciclo corto y pastizales) dentro de los pisos altitudinales pertinentes de acuerdo a su “n” muestral.

Basándonos en lo realizado por (Zea, Chilpe, Sánchez, & Chica, 2020), el análisis de la eficiencia energética se realizó mediante la elaboración de una encuesta dirigida a cada uno de los productores. Así se conoció la cantidad y la frecuencia de uso de todos los insumos y productos producidos por la explotación. Para obtener datos sobre las entradas se consideró las siguientes categorías: Abonos orgánicos y sintéticos, trabajo humano y animal, cal, semilla y trasplantes, agua, energía directa (bombeo, motores), y agroquímicos (herbicidas, fungicidas e insecticidas). Para las salidas se consideró el producto cosechado de cada uno de los cultivos presentes en las parcelas de estudio.

Se elaboró una base de datos para determinar los equivalentes energéticos de entradas y salidas (**Anexo A**). Se multiplicó la cantidad producida por su equivalencia energética, lo cual fue tomado como referencia de diferentes autores en estudios similares. Estos equivalentes fueron utilizados para calcular la energía neta (NE), y la eficiencia energética (EE) los cuales se expresaron dependiendo de la categoría de entrada/salida en Megajulios por hectárea (MJ/h^{-1}), por litro (MJ/L^{-1}), por kilogramo (MJ/kg^{-1}), por metro cúbico (MJ/m^{-3}). La energía neta (NE) es la (Salida de energía - entrada de energía) y la eficiencia energética (Salida de energía / Entrada de energía). Para que una parcela productiva sea considerada eficiente energéticamente, su eficiencia energética (EE) debe ser mayor o igual a 1, pero si la eficiencia

energética es menor a 1 se le considera ineficiente energéticamente.

5.7. Metodología para el objetivo específico cuatro: “Evaluar la diversidad florística en sistemas agroforestales de la parroquia Principal.”

Para evaluar la diversidad florística que estuvo ligada únicamente al componente leñoso dentro de los sistemas agroforestales en los tres pisos altitudinales: bajo, medio y alto dependiendo de su “n” muestral, en cada parcela se identificaron, contaron y midieron el diámetro a la altura del pecho de 1,3 m (DAP) ≥ 10 cm y la altura total de cada una de las especies arbóreas presentes en la parcela para su posterior análisis de diversidad alfa y beta (Marín et al., 2016). La diversidad alfa fue determinada con base a la riqueza de especies, utilizando el índice de Margalef y abundancia según los índices de Shannon y Simpson (Moreno, 2001). La diversidad beta se determinó mediante el coeficiente de similitud de Jaccard (García et al., 2020). Las fórmulas a utilizarse en índice alfa y beta se describen a continuación:

5.7.1 Diversidad alfa

Índice de Margalef:

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

Donde:

S= número total de especies

N = número total de individuos

Tabla 2: Valores de significancia para el índice de Margalef.

Valores	Significancia
< 2	Diversidad Baja
3 – 4	Diversidad media
> 5	Diversidad alta

Fuente: Campo & Duval (2014)

Índice de Shannon-Wiener (H’):

$$H' = - \sum (Pi) (\ln x Pi)$$

Dónde:

H = Índice de la diversidad de especie

S = Número de especie

Pi = Proporción de la muestra que corresponde a la especie

i Ln = Logaritmo natural

Tabla 3: Valores de significancia para el índice de Shannon.

Rangos	Interpretación
< 1, 35	Diversidad baja
1,36 – 3,5	Diversidad media
Mayor a 3,5	Diversidad alta

Fuente: (Aguirre, 2013).

Índice de dominancia de Simpson

$$\lambda = \sum pi^2$$

Donde:

Pi = Proporción de los individuos registrados en cada especie

(n/N) n = Número de individuos de la especie

N = Número total de especies

Tabla 4: Valores de significancia para el índice de Simpson.

Rangos	Interpretación
0 – 0,33	Diversidad baja
0,34 – 0,66	Diversidad media
>0,67	Diversidad alta

Fuente: (Aguirre, 2013).

Debido a que el tamaño de muestra fue desigual para cada uno de los pisos altitudinales evaluados, se elaboraron curvas de rarefacción método que calcula el número esperado de especies de cada muestra al reducirlas a un tamaño igual para todas (Villareal et al., 2004). Las curvas se realizaron por intensidad o esfuerzo de muestreo basado en el área o superficie muestreada y también mediante el número de individuos. Dicho análisis se realizó mediante la función “specaccum” de la librería Vegan del software Rstudio

5.7.2 Diversidad Beta.

Para la diversidad beta se utilizó el índice de similitud de Jaccard, basándonos en lo realizado por García et al. (2020), en su publicación para la biodiversidad forestal. Se realizó solamente una relación entre zona baja- zona media, ya que en la zona alta no se encontró sistemas agroforestales. A través de este índice se obtienen valores de 0 cuando no existen especies comunes y 1 cuando las comunidades comparadas son idénticas.

Índice de similitud de Jaccard

$$J = (c / a+b-c) \times 100$$

Donde:

a = número de especies presentes en la comunidad

A. b = número de especies presentes en la comunidad B.

c = número de especies comunes en ambos sitios A y B.

Los valores oscilan entre 0 y 1, pero también se los puede representar en porcentajes.

5.8. Análisis de datos

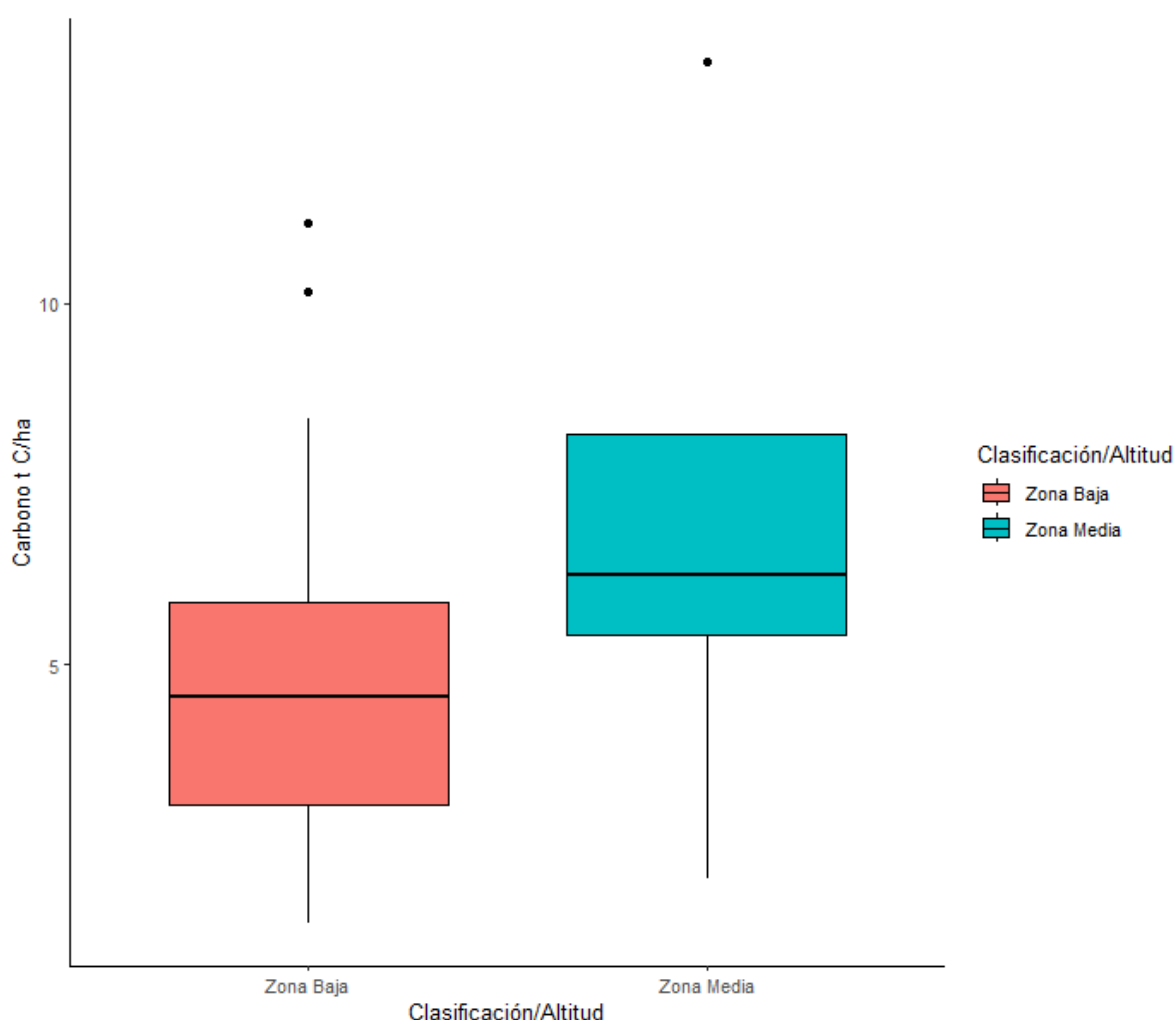
La metodología utilizada para el análisis estadístico de cada uno de los objetivos tuvo como primera instancia verificar la normalidad de datos, donde se utilizó la prueba de Kolmogorov – Smirnov (mayor o igual a 50 datos) y Shapiro Wilk (menor a 50 datos). Al no existir normalidad de datos para las variables establecidas, en el primer y cuarto objetivo se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon (zona baja, zona media), para los objetivos dos y tres se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal y Wallis para determinar las diferencias entre las comunidades de comparación (sistemas de producción, especies), respectivamente. Adicionalmente para el objetivo dos, referente al análisis clorofila foliar y tres, referente a eficiencia energética se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman para examinar las relaciones entre la eficiencia energética y las entradas y salidas de energía correspondientes a los sistemas de producción evaluados y las relaciones entre clorofila foliar y el nivel de carbono almacenado.

6. RESULTADOS

6.1. Determinación de la cantidad de carbono aéreo almacenado en los sistemas agroforestales de la parroquia Principal. (Primer objetivo)

El carbono aéreo no presentó diferencias significativas (Wilcoxon $p = 0.1712$) entre los pisos evaluados. Sin embargo, descriptivamente el carbono fue inferior en la zona baja con 4.97 t C/ha en comparación con la zona mediana en donde se presentó 5.17 t C/ha (**Grafico 3**).

Gráfico 3: Cantidad de carbono almacenado en las diferentes zonas altitudinales de la parroquia principal mediante la representación de las medianas.

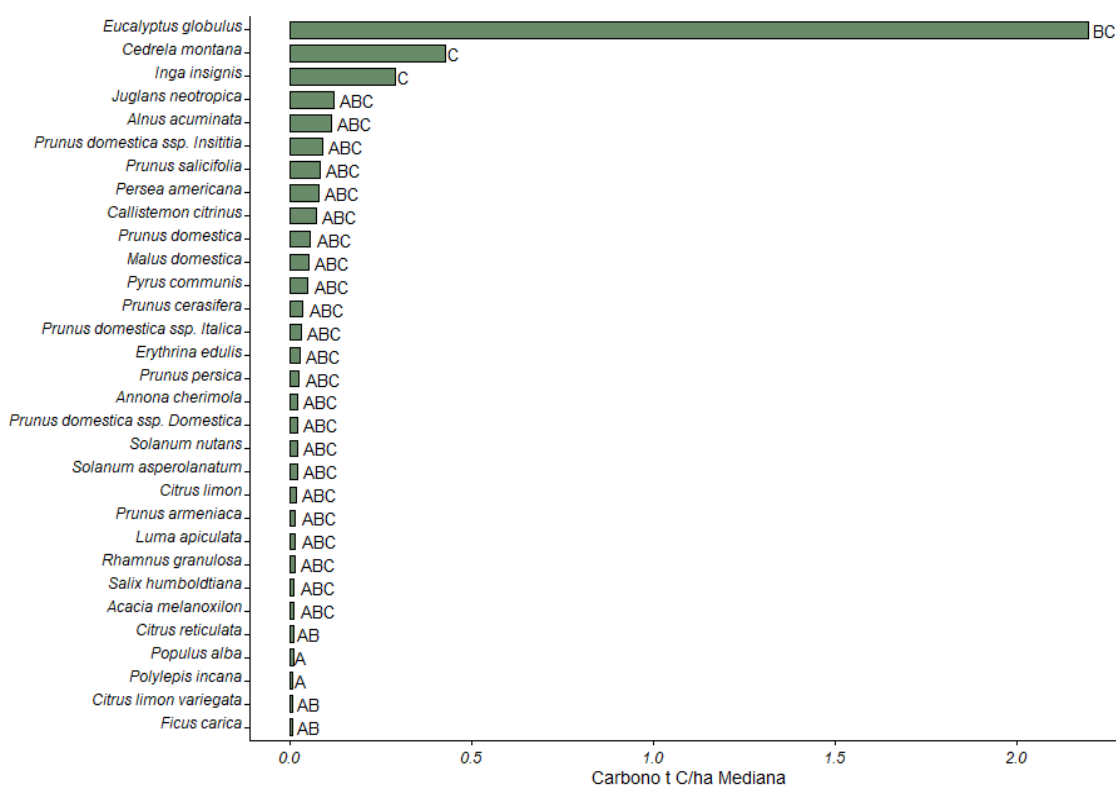


6.1.1. Estimación de carbono aéreo almacenado por especies vegetales leñosas dentro de los sistemas agroforestales de la parroquia Principal.

El carbono almacenado en la biomasa aérea fue superior en *Eucalyptus globulus* con 2.2 t

C/ha, seguido de las especies *Cedrela montana* con 0.43 t C/ha, *Inga insignis* con 0.29 t C/ha, *Juglans neotropica* con 0.12 t C/ha y *Alnus acuminata* con 0.11 t C/ha. El promedio general de fijación de carbono alométrico entre todas las especies dentro de los sistemas agroforestales de la parroquia es de 0.16 t C/ha. A continuación, en el **Gráfico 4** las medianas con una letra común no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Wilcoxon_Mann-Whitney ($p > 0.05$).

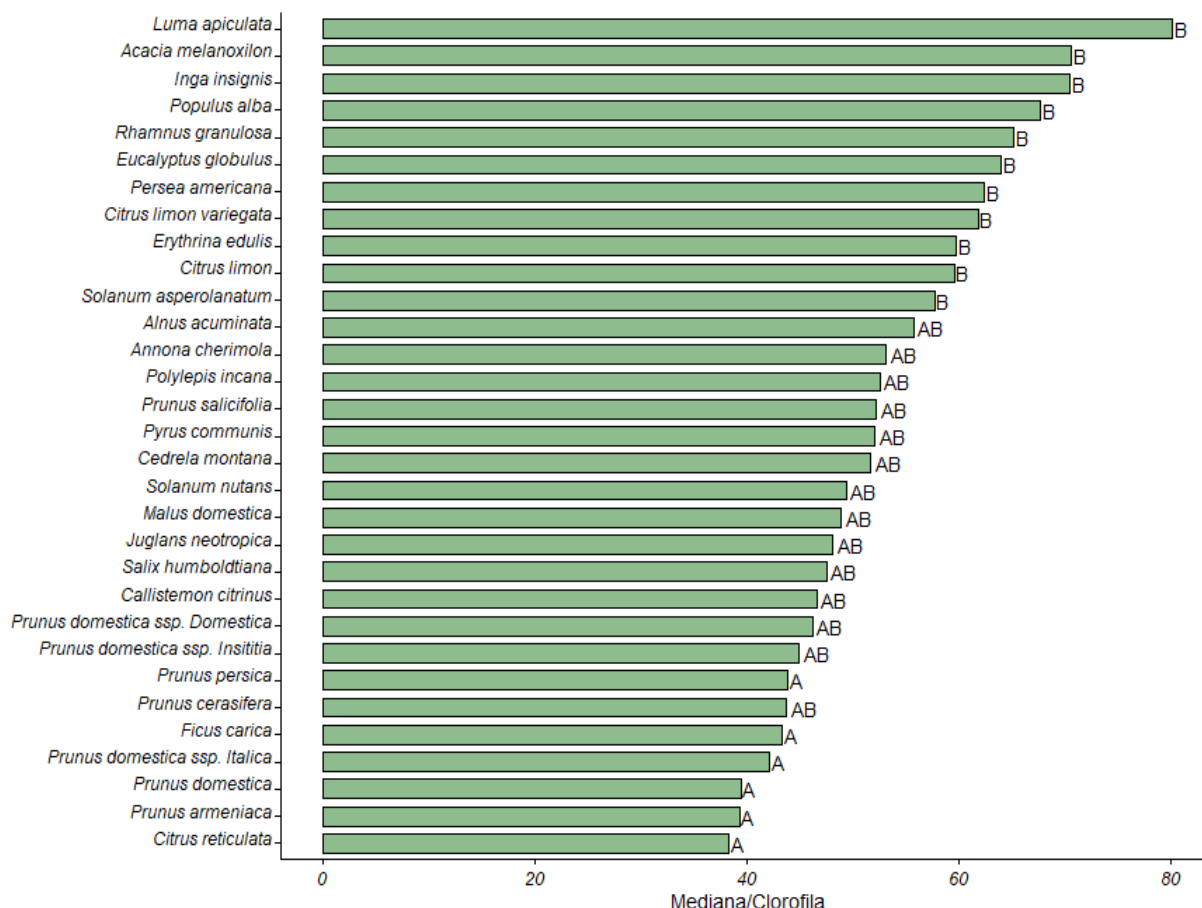
Gráfico 4: Representación de la mediana de la estimación de carbono alométrico de cada especie y subespecie existente en la parroquia.



6.2. Determinación del índice de clorofila foliar de los sistemas agroforestales de la parroquia principal (Segundo objetivo)

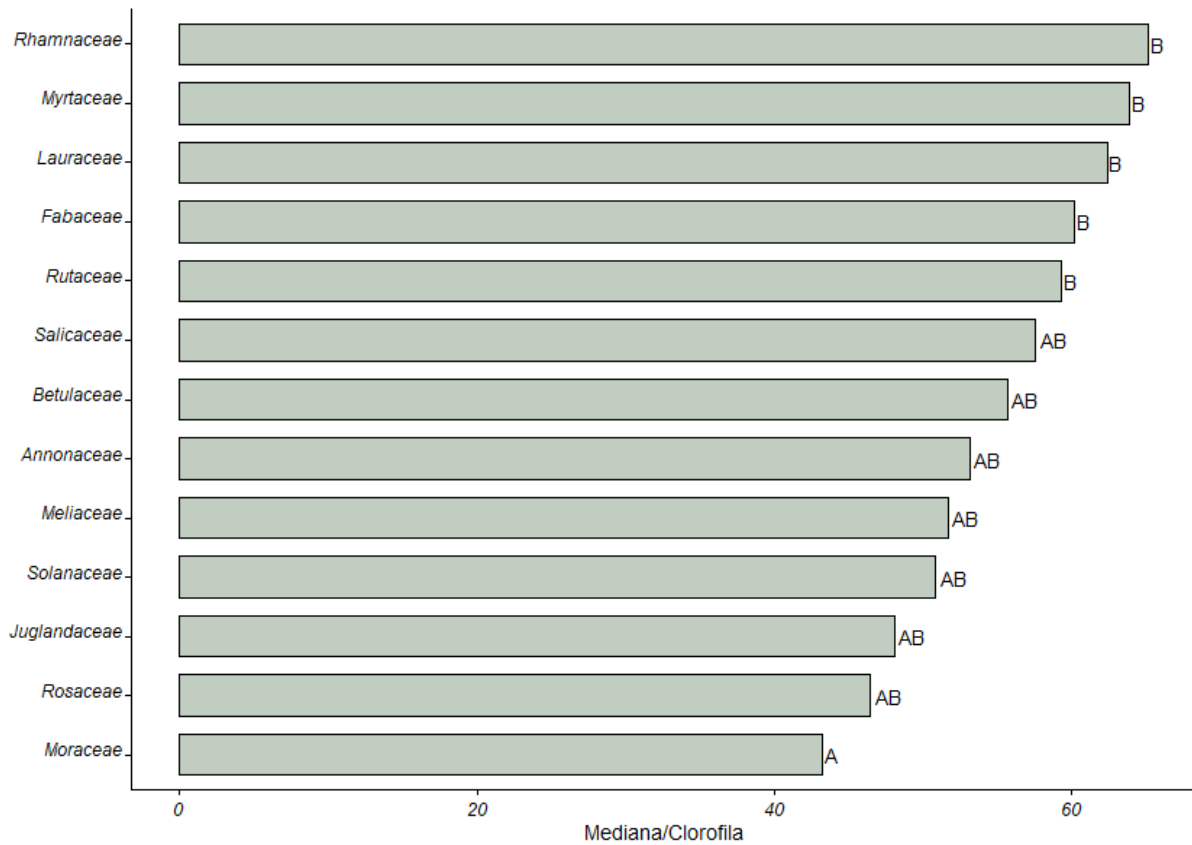
Se encontró diferencias altamente significativas en los índices de clorofila entre especies (Kruskal-Wallis $p=2.2e-16$). *Luma apiculata* presentó una mediana mayor con 80.1 unidades atLeaf, mientras que *Citrus reticulata* por el contrario presentó la mediana más baja de 38.27 unidades atLeaf. La familia de las rosáceas mostró unidades de clorofila similares entre sí con un rango de variación mínimo entre las especies y subespecies desde los 39.23 a 54.5 unidades atLeaf como máximo. Las medianas con una letra común no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Wilcoxon_Mann-Whitney ($p > 0.05$) (**Gráfico 5**).

Gráfico 5: Mediana del porcentaje de actividad clorofila por especies y subespecies encontradas en la parroquia Principal.



Por otro lado, el análisis de la actividad clorofílica entre familias, indica que la familia Rhamnaceae tuvo mayor cantidad de clorofila con una mediana de 65.13 unidades atLeaf, seguido de la familia Myrtaceae con 63.9 unidades y la menor, la familia Moraceae con 43.26 unidades, y (Kruskal-Wallis $p < 2.2e-16$). Las Medianas con una letra común no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Wilcoxon_Mann-Whitney ($p > 0.05$). (Gráfico 6).

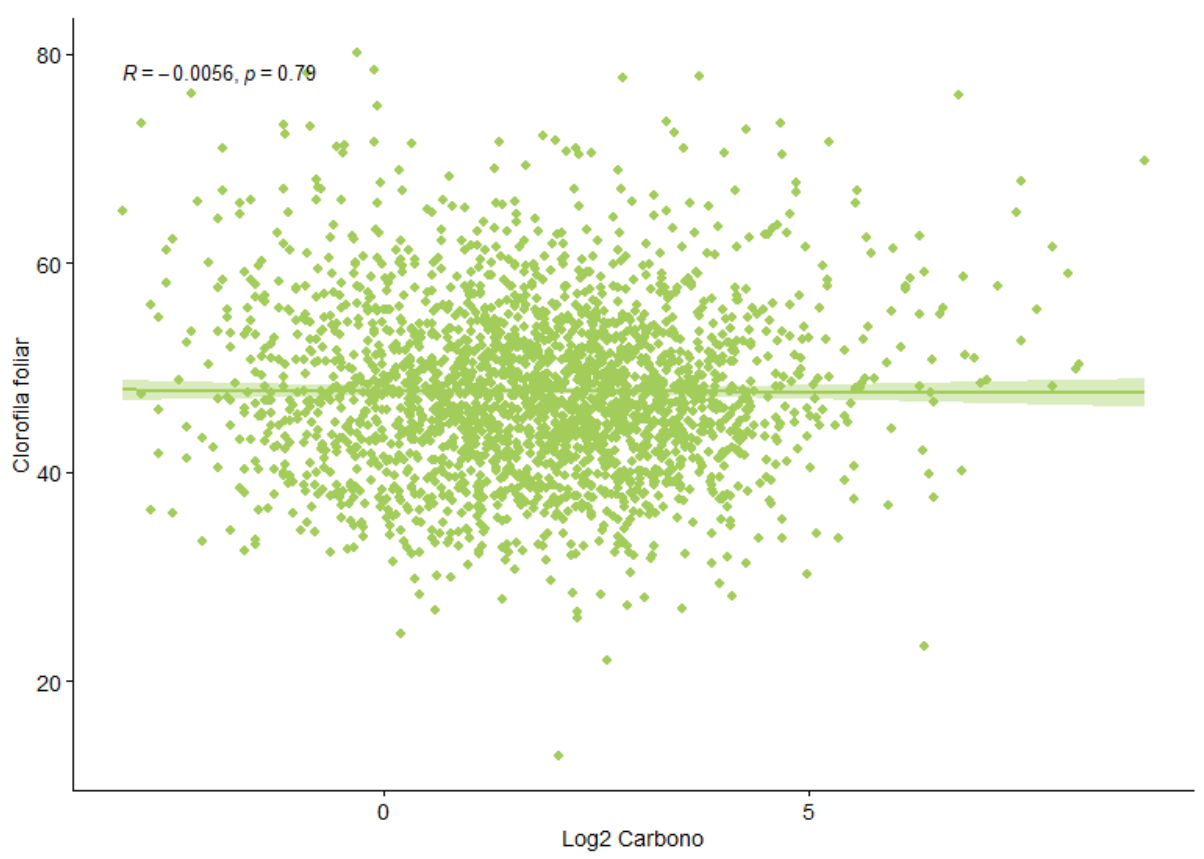
Gráfico 6: Gráfico de la mediana del porcentaje de actividad clorofílica para cada una de las familias comparadas.



6.2.1. Correlación entre la clorofila foliar y el nivel de carbono almacenado por planta

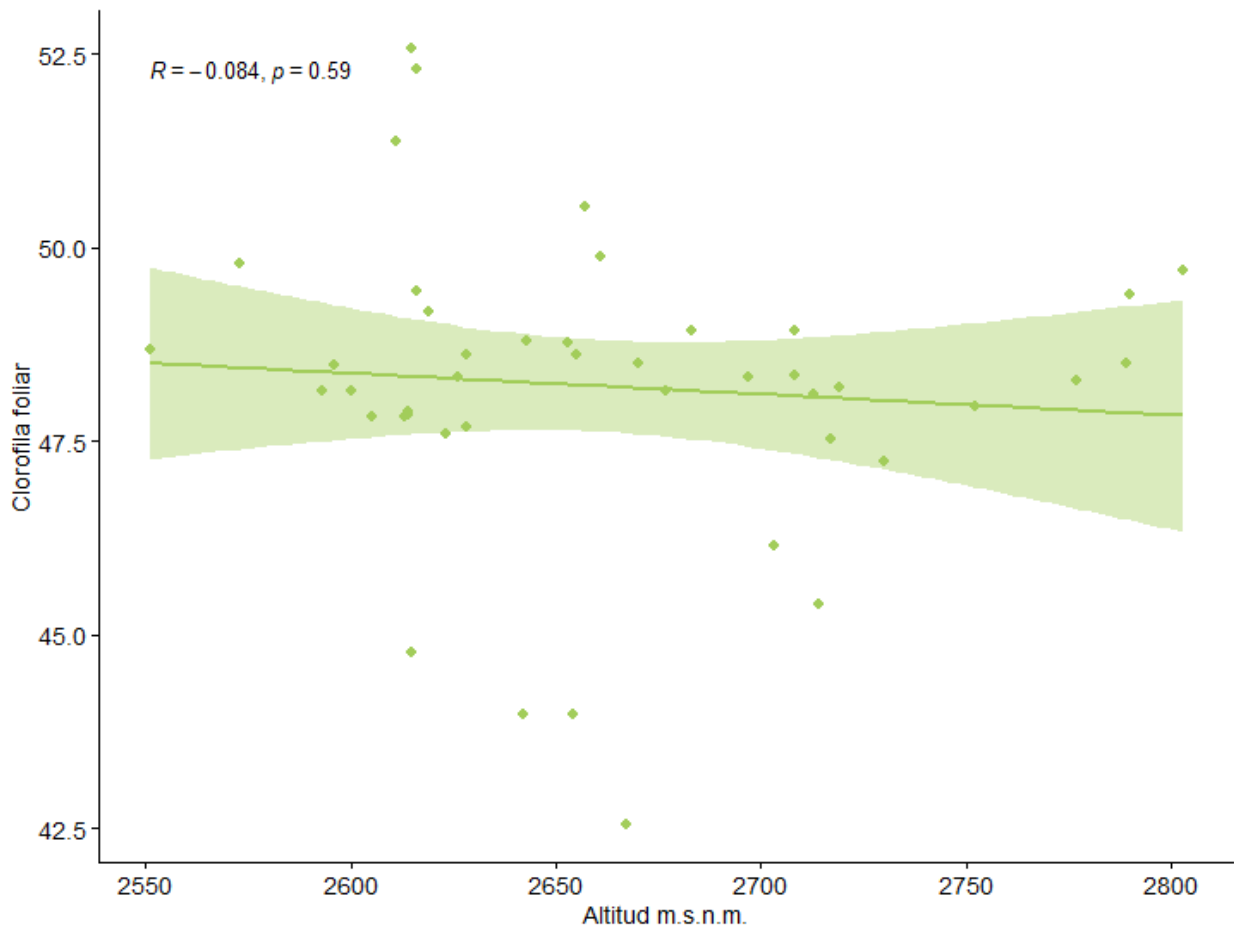
Se realizó la prueba de correlación de Spearman demostrando que no hay correlación entre el porcentaje de clorofila y la cantidad de carbono alométrico almacenado por las plantas ($R = -0.005$). A su vez la correlación de los datos no es significativa mostrando un valor $p = 0.79$ (Gráfico 7).

Gráfico 7: Gráfico de dispersión verificando el nivel de correlación y significancia entre las variables clorofila foliar y carbono almacenado por planta (intervalo de confianza $\alpha = 0,05$) mediante la prueba de Spearman.



La correlación entre las variables de clorofila foliar por parcela y la altitud de la zona con la prueba de Spearman no muestra una correlación significativa ($R=-0.084$) y de manera estadística la significancia de los datos es nula ($p=0.59$), (**Gráfico 8**).

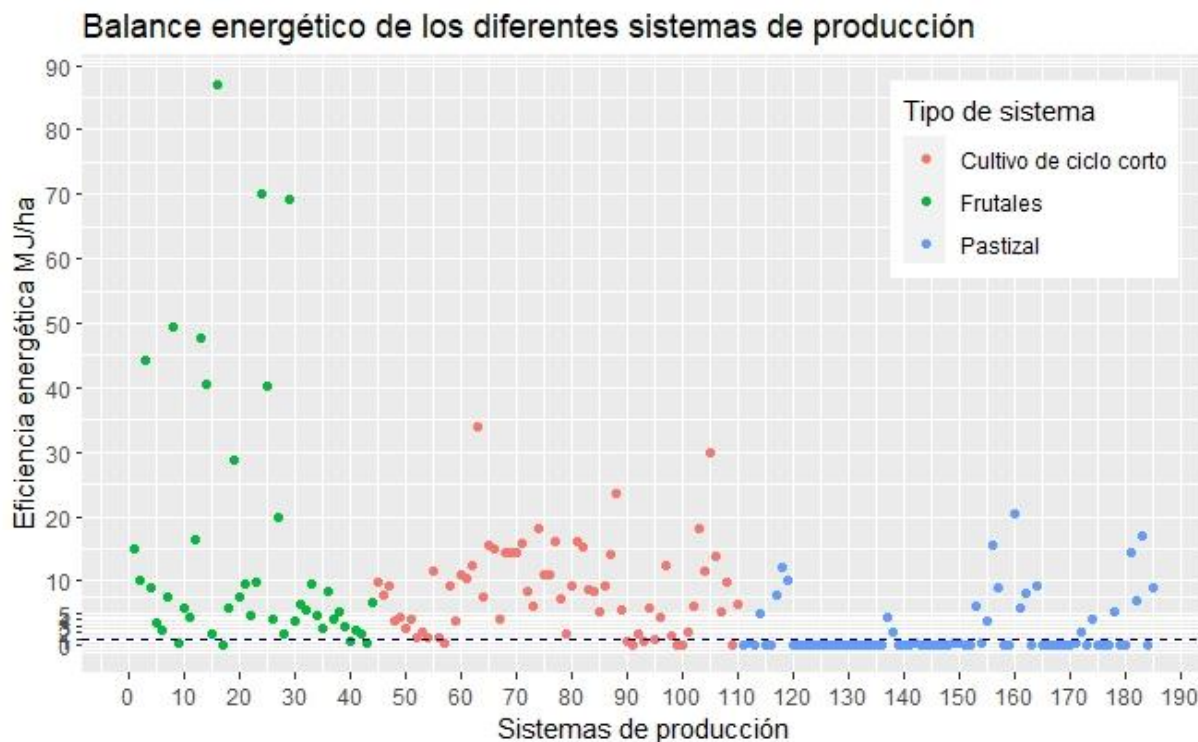
Gráfico 8: Correlación de Spearman entre la clorofila foliar por parcela y la altitud de la zona (intervalo de confianza $\alpha=0,05$).



6.3. Caracterización de la eficiencia energética de los sistemas agro biodiversos de la parroquia Principal (Tercer objetivo).

El resultado de la relación entre el total de entradas y salidas presentó una media de 5,88. Conforme a estos resultados de los 185 sistemas de producción evaluados (Agroforestal, cultivos de ciclo corto, pastizal), el 61,62% presentan balance energético (>1), es decir que son eficientes energéticamente; mientras que el 38,38% un balance energético (<1), siendo estos ineficientes energéticamente, dándonos a conocer que más de la mitad de los sistemas de producción evaluados son eficientes energéticamente (**Gráfico 9**).

Gráfico 9: Balance energético de los diferentes sistemas de producción



Los sistemas de producción que fueron evaluados en la parroquia Principal, presentaron un ingreso de energía total de 3927671.777 MJ, valor que representa el total de entradas de energía (**Tabla 5**). De acuerdo a estos resultados el insumo de entrada Pasto presentó el mayor gasto energético con un (85.17%), seguido de Combustible con (4,91%), siendo los valores más altos de entrada de energía.

Tabla 5: Valores totales y su proporción acorde a las entradas de energía en los sistemas de producción evaluados en la parroquia Principal.

Insumo	MJ	Proporción (%)
Pasto	3345129.25	85.17
Combustible	193041.96	4.91
Fertilizantes orgánicos	182708.972	4.65
Mano de obra y trabajo animal	162625.009	4.14
Fertilizantes químicos	16820.726	0.43
Agroquímicos	14039.07	0.36
Agua	8756.05	0.22

Agroquímicos	14039.07	0.36
Semillas	2261.54	0.06
Plántulas	2289.2	0.06
Total	3927671.777	100

6.3.1 Comparación entre sistemas de producción evaluados

De acuerdo a la prueba de Kruskal –Wallis si existe diferencias significativas ($p=4.448e-13$) con relación a la variable eficiencia energética comparada entre los sistemas de producción. Se presentó un valor mayor con respecto a las medianas para el sistema de producción cultivos de ciclo corto (7,99) siendo esta la más eficiente en comparación a los sistemas agroforestales (6,001) y pastizales (0,150). (**Tabla 6, Gráfico 10**).

Tabla 6: Prueba de Kruskal-Wallis para los sistemas de producción con relación a la variable eficiencia energética.

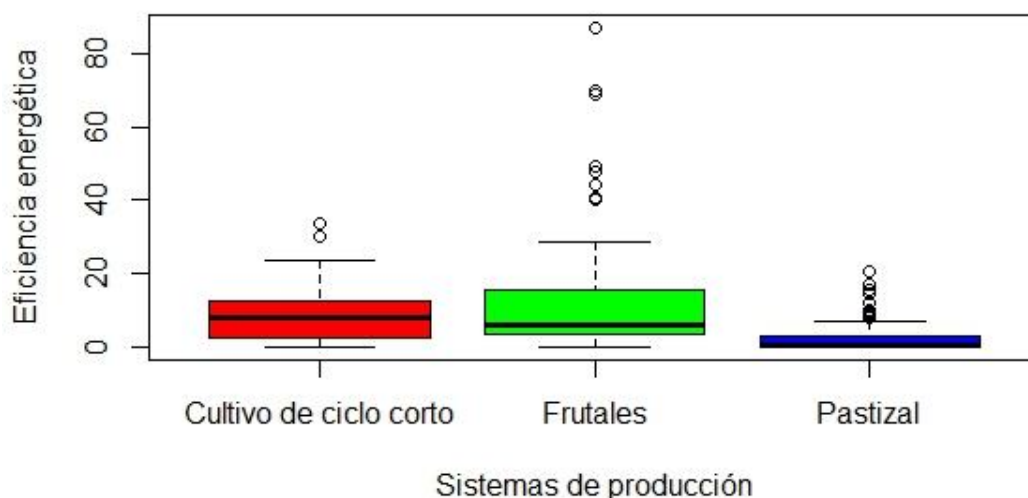
a) Desviación estándar y medianas para las microcuencas para los sistemas de producción y para la variable eficiencia energética.

		N	D.E	Medianas
Sistema de producción	Cultivo de ciclo corto	66	7.012	7.994
	Agroforestales	44	21.253	6.001
	Pastizales	75	4.571	0.150
Total de datos muestreados		185	10.94	4.698

b. Estadísticos de la prueba de Kruskal-Wallis a,b ($P<0.05$)

	Eficiencia energética
Chi-cuadrado	56.882
Df	2
p valor	4.448e-13

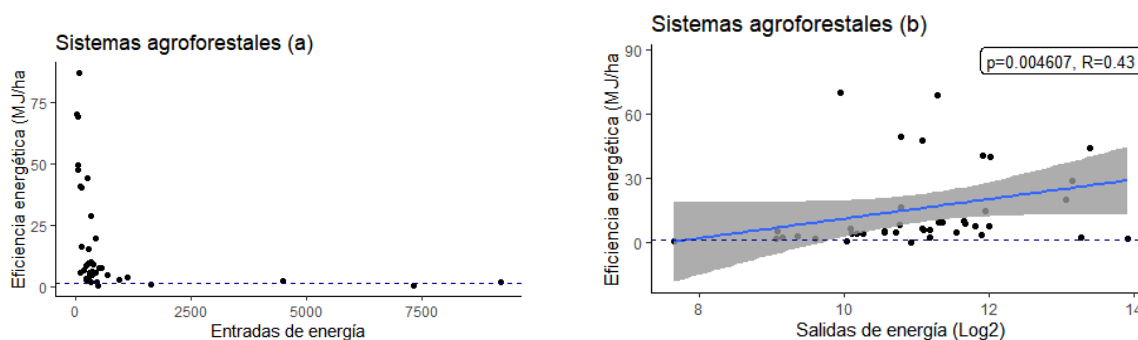
Gráfico 10: Medianas de la variable eficiencia energética correspondiente a cada sistema de producción evaluado.



6.3.2. Correlaciones entre las entradas, salidas y la eficiencia energética de cada sistema de producción evaluado.

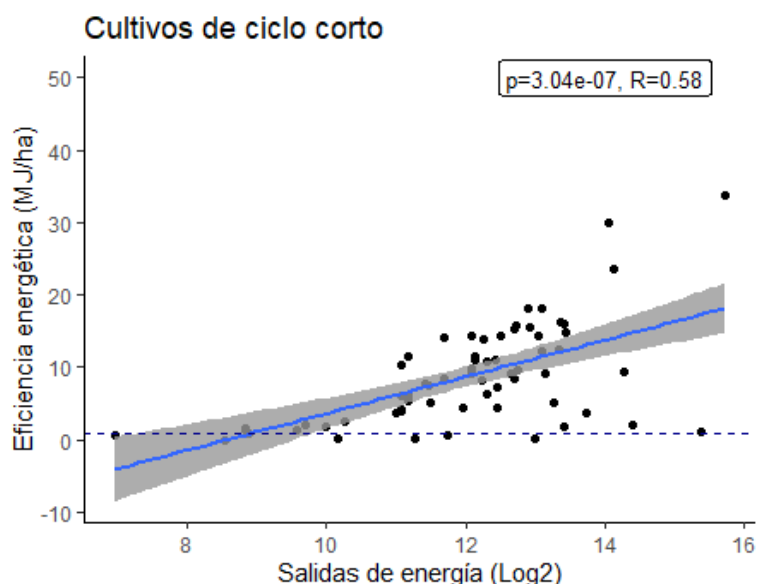
Según la correlación de Spearman realizado en los tres tipos de producción se obtuvo como resultado, para el sistema de producción agroforestal la relación entre las entradas (agroquímicos, fertilizantes químicos, fertilizantes orgánicos, semillas, plántulas, agua, combustible, trabajo humano y animal) y la eficiencia energética, no cumplen con la tendencia de un modelo lineal por lo que no existe correlación de los datos, pudiéndose aplicar otro tipo de modelo (**Gráfico 11a**). Mientras que, para la relación entre las salidas y la eficiencia energética, la correlación fue positiva ($R=0.43$) y presentó significancias ($p=0.004607$), para una mejor representación de los datos se utilizó el logaritmo de base 2 (**Gráfico 11b**).

Gráfico 11: Correlaciones de Spearman entre: entrada-eficiencia energética (a) y salidas-eficiencia energética (b).



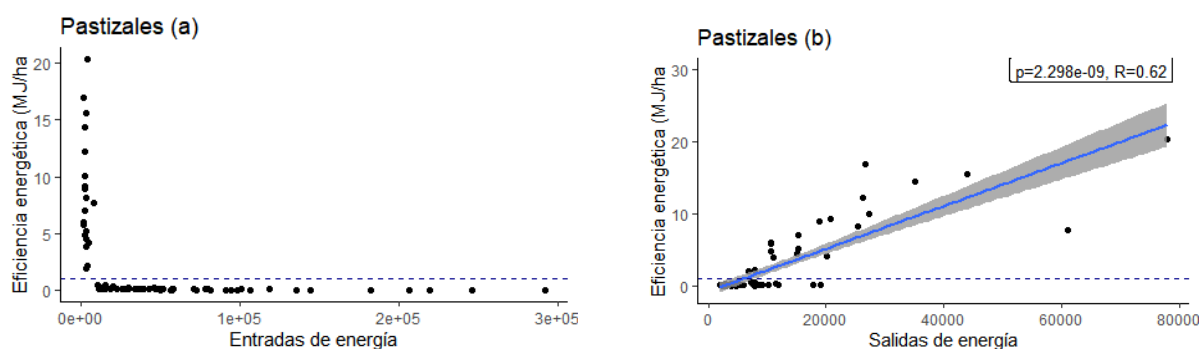
Para la correlación de Spearman realizada en el sistema de producción cultivo de ciclo corto, para entradas de energía y eficiencia energética no existe una correlación, mientras que, para las salidas de energía y la eficiencia energética, se dio como resultado una correlación positiva ($R=0.58$) y presentó significancias ($p=3.04e-07$), se utilizó logaritmo de base 2 para una mejor representación de los datos. (**Gráfico 12**).

Gráfico 12: Correlación de Spearman entre: salidas-eficiencia energética.



Para el sistema de producción Pastizales, la relación entre las entradas y la eficiencia energética, presentó una correlación negativa ($R= -0.88$) y estadísticamente significativa ($p=2.2e-16$), donde los datos obtenidos no cumplen con la tendencia de un modelo lineal (**Gráfico 13a**). Mientras que, para la relación entre las salidas y la eficiencia energética, la correlación fue positiva ($R=0.62$) y presentó significancias ($p=2.298e-09$) (**Gráfico 13b**).

Gráfico 13: Correlaciones de Spearman entre: entradas-eficiencia energética (a) y salidas-eficiencia energética (b).



Importante. Área sombreada gris significa intervalo de confianza ($\alpha=0.05$).

6.4 Evaluación de la diversidad florística en los sistemas agroforestales de la parroquia Principal. (Cuarto objetivo)

6.4.1 Descripción de la flora encontrada

La composición florística de área estudiada (**Tabla 7**), arrojó como resultado 2366 individuos, conformado por 13 familias, 21 órdenes y 31 Especies, la familia de las rosáceas es la más representativa dentro de la parroquia con 8 especies y 3 subespecies, entre las especies y subespecies dentro de esta familia corresponden a *Malus domestica* (manzana) con 1115 individuos, *Prunus pérsica* (durazno) con 441 individuos, *Prunus domestica* (reina claudia) con 287 individuos; entre las otras especies encontradas más representativas están *Erythrina edulis* (cáñaro/porotillo) con 125 individuos, *Prunus salicifolia* (capulí) con 93 individuos y 74 individuos de la subespecie *Prunus domestica ssp. domestica* (satsuma).

Tabla 7: Número de individuos por especie y por estrato altitudinal

Espece	Zona baja	Zona media
<i>Acacia melanoxylon</i>	4	0
<i>Persea americana</i>	44	1
<i>Populus alba</i>	1	0
<i>Prunus armeniaca</i>	3	0
<i>Alnus acuminata</i>	11	20
<i>Rhamnus granulosa</i>	1	0
<i>Polylepis incana</i>	1	0
<i>Luma apiculata</i>	1	0
<i>Prunus salicifolia</i>	73	20
<i>Cedrela montana</i>	1	0
<i>Callistemon citrinus</i>	1	0
<i>Annona cherimola</i>	3	0
<i>Prunus domestica ssp. Insititia</i>	1	0

<i>Prunus cerasifera</i>	10	1
<i>Prunus pérsica</i>	410	31
<i>Eucalyptus globulus</i>	1	1
<i>Inga insignis</i>	1	0
<i>Ficus carica</i>	10	1
<i>Citrus limón</i>	15	0
<i>Citrus limon variegata</i>	2	0
<i>Citrus reticulata</i>	1	0
<i>Malus domestica</i>	982	133
<i>Juglans neotropica</i>	16	0
<i>Pyrus communis</i>	33	2
<i>Erythrina edulis</i>	99	26
<i>Prunus domestica ssp. italica</i>	29	1
<i>Prunus domestica ssp. domestica</i>	68	6
<i>Prunus domestica</i>	271	16
<i>Salix humboldtiana</i>	1	0
<i>Solanum nutans</i>	10	1

6.4.2 Diversidad alfa

Mediante el análisis de Wilcoxon se determinó que existen diferencias significativas dentro del índice de Margalef y Simpson ($p=0.03716$ y $p=0.04887$) respectivamente, mientras que para el de Shannon no existe diferencia significativa ($p=0.1552$)(**Tabla 8.**).

Tabla 8. Valores de los índices de diversidad alfa y error estándar de los datos de las comunidades de estudio.

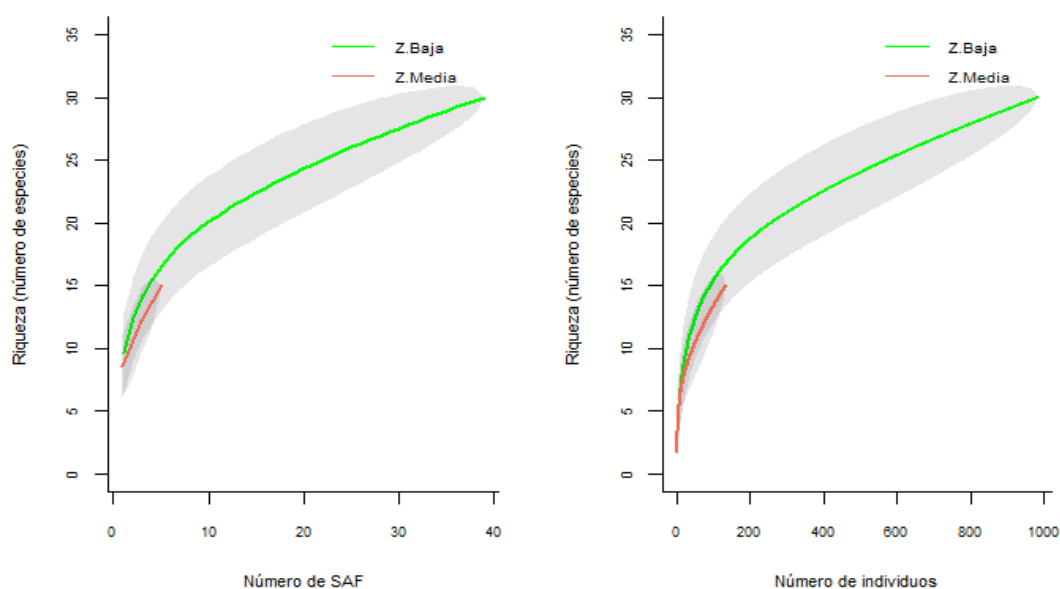
Índices de diversidad	Zona baja	Diversidad	Zona media	Diversidad	p-valor
-----------------------	-----------	------------	------------	------------	---------

Margalef	3.71±0.065	Media	2.51±0.066	Baja/Media	0.03716
Shannon	1.76±0.124	Media	1.67±0.135	Media	0.1552
Simpson	0.72±0.065	Alta	0.70±0.066	Alta	0.04887

Los índices de Margalef y de Shannon dentro de la zona baja de la parroquia muestran una diversidad media comparando los valores (DMg=<2 diversidad baja, DMg=3-4 diversidad media y Shn = < 1.31 diversidad baja, Shn = 1.36-3.5 diversidad media) de las tablas (**Tabla 2. y Tabla 3.**) de equivalencia dentro de la metodología, por otro lado, en la zona media el índice de Margalef muestra que presenta una diversidad baja-media y el índice de Shannon indica que en la zona existe una diversidad media, en cuanto al índice de Simpson para ambas zonas existe una diversidad alta (**Tabla 4.** Simpson= >0.67 diversidad alta).

Las curvas de acumulación de especies realizadas entre el número de especies versus número de sistemas agroforestales y el número de especies versus número de individuos, comparando las dos zonas altitudinales (baja y media) mostraron similitud en los valores iniciales de las curvas en ambos gráficos (**Gráfico 14**) sin embargo se puede observar que la zona baja es la que presenta mayor riqueza de especies tanto en la evaluación dentro del número de sistemas agroforestales como en el número de individuos.

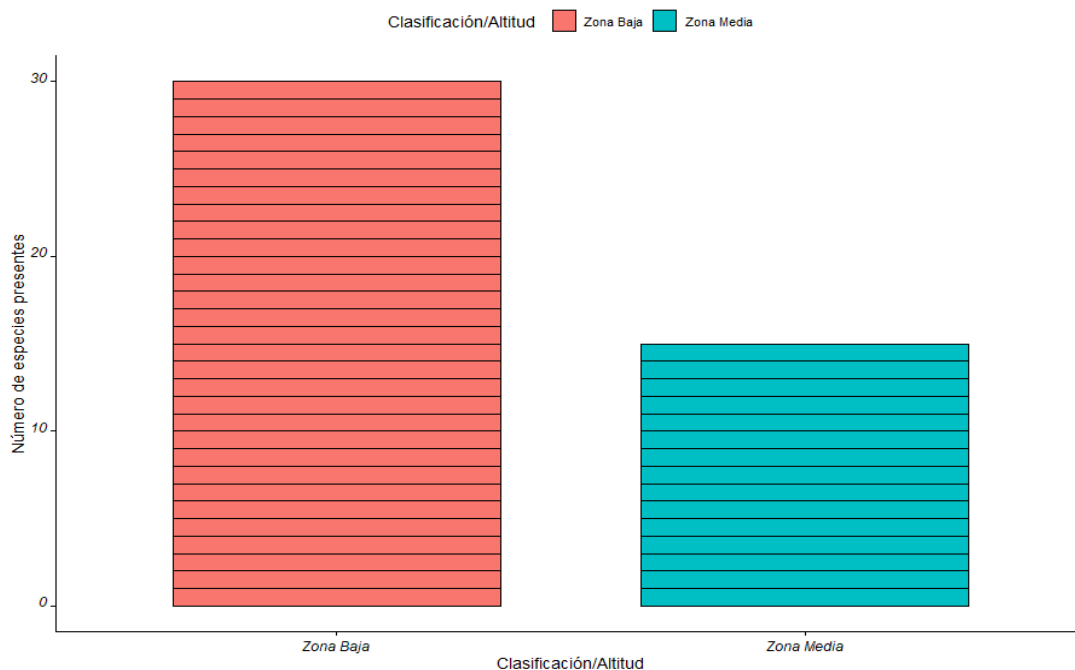
Gráfico 14: Curva de acumulación de especies representando el número de especies y el número de sistemas agroforestales(A), curva de acumulación de especies representando el número de especies y el número de individuos (B).



6.4.3. Diversidad Beta

Para la diversidad beta de especies el índice de similitud de Jaccard compara la similitud entre dos o más sitios de estudio analizando el número de especies presentes en ambos sitios en relación de la presencia o ausencia de especies, siendo de esta manera los datos de análisis para la estimación del índice de Jaccard comparando la zona baja y media de la parroquia se obtuvo un porcentaje de similitud del 45% es decir, que el 45% de especies se puede encontrar en ambos sitios de estudio (**Gráfico 15**).

Gráfico 15: Comparación del número de especies presentes en cada zona de estudio en relación al índice de de similitud de Jaccard (0.45).



7. DISCUSIÓN

El carbono aéreo almacenado y estimado para la parroquia Principal en promedio de todas las parcelas de sistemas agroforestales (SAFs) evaluadas es de 5.01 tC/ha, que, en comparación a bosques primarios y secundarios que según el INIAP (2018), en este tipo de sistemas la cantidad de carbono fijado está entre 60 y 230 t/ha y entre 25 y 190 t/ha respectivamente, donde el valor obtenido en la parroquia dentro de los SFAs en porcentaje representarían solamente el 8.35% y 2.17% del carbono fijado de los bosques primarios y de 20.04% y 2.63% del carbono fijado de bosques secundarios. Además, dentro de estudios realizados en SAFs con banano y cacao presentan 25.45 y 35.04 tC/ha con densidades de 124 y 665 árboles por hectárea, que, por otra parte, dentro de las parcelas evaluadas en la parroquia calculando en promedio la densidad sería aproximadamente de 660 plantas por

hectárea, siendo inferior el nivel de carbono almacenado de este estudio comparándolos con SAFs de banano y cacao.

En las zonas comparadas en principal (Zona Baja y Zona Media) presentan valores de carbono almacenado de 5.13 y 7.14 tC/ha respectivamente no presentando diferencias significativas ($p=0.1712$) y estos valores son relativamente bajos a lo que menciona Espinoza (2012), que los sistemas agroforestales almacenan carbono aproximadamente 9.21, 50 y 63 Mg C/ha en zonas áridas, subhúmedas, húmedas y templadas, aunque es muy variable ya que la cantidad de biomasa acumulada por las especies dependen de factores como el número de componentes, estratos y arreglos espaciales y temporales; siendo de esta manera muy diferentes los datos obtenidos en el estudio a comparación con lo mencionado por Espinoza y puede deberse a dichos factores antes mencionados. Además, se puede observar un aumento de la cantidad de carbono al aumentar la gradiente por el contrario a lo que indica Mena (2011) en su estudio donde la cantidad de carbono almacenado disminuye a medida que aumenta el gradiente dentro de los análisis en sistemas agroforestales, la razón de estas diferencias podría ser que la edad afecte e influyan en la cantidad de carbono almacenado.

Por otra parte dentro del análisis de carbono por especie en el estudio de Ramírez & Chagna (2019) evalúa el secuestro de carbono de biomasa aérea de *Eucalyptus grandis* en la costa ecuatoriana, obtuvo un valor promedio de 0.72 t C/ha por planta y el valor promedio en este estudio de *Eucalyptus globulus* fue de 2.2 t C/ha por planta siendo notable la diferencia de los datos obtenidos posiblemente por la densidad y edad de las plantaciones más diversificadas en el estudio de Ramírez a comparación de las parcelas analizadas en la parroquia.

En *Cedrela montana* la cantidad de C por planta es de 0.49 un valor alto comparado con los resultados expuestos por Mendizábal et al. (2011) quien de 330 individuos de *Cedrela odorata* calculó 3.1 tC por planta, es decir que el carbono por planta fue de 0.0094 tC. En *Inga insignis* fue de 0.29 t C/ha y comparando con los datos de otra especie del mismo género (*Inga jinicuil*) los valores están relacionados y establecen una estrecha diferencia entre ambas especies, donde la cantidad de carbono por planta es de 0.39 t C/ha para *Inga jinicuil* como lo indica los resultados de Hernández (2012), siendo la diferencia de solamente 0.1 t C/ha en comparación de lo encontrado.

Jiménez (2021) indica que las especies que poseen un desarrollo acelerado les permite acumular rápidamente C, siendo el eucalipto es una de esas especies que en 12 a 60 años

alcanza su grado máximo de almacenamiento de carbono, como se puede demostrar en los resultados que se obtuvieron en este estudio donde el eucalipto en la comparación de medianas es la especie con más alta cantidad de C almacenado. Además, según Jiménez (2021) señala que la pérdida de la biodiversidad está ligada a disminución de la capacidad de almacenamiento de muchos sistemas forestales y otros sistemas.

En el análisis de la clorofila para algunas especies se obtuvo valores altos de unidades atLeaf como en la especie *Luma apiculata* con 80.1, estos valores se pueden interpretar como alta concentración de clorofila y además permite establecer el nivel de salud de las plantas como lo menciona López et al. (2016), por lo que *Luma apiculata* podría estar en un buen nivel nutricional como de clorofila.

La relación que tiene la clorofila con el nivel de acumulación de C es nula ($R= 0.0056$, $p=0.79$), de acuerdo a las pruebas realizadas, siendo el caso diferente de Mendoza (2022), quien menciona que hubo una relación entre la aplicación de nitrógeno (N) y las distintas lecturas realizadas con los medidores de clorofila SPAD y atLeaf, y la cantidad de biomasa de la especie *Eruca sativa*; los valores aumentaban a medida que la aplicación de N aumenta de concentración, esto por lo que la clorofila está estrechamente relacionada con el nitrógeno según lo mencionado por López et al. (2016), esta diferencia de datos con lo obtenido en este estudio podría estar sujeto a que las especies analizadas son leñosas, además que, las condiciones en las que las plantas se encuentran es en campo y sin condiciones controladas dado que se da poca fertilización a las plantas en la zona.

Por otro lado, no existe correlación ni significancia entre las lecturas de clorofilas tomadas y la gradiente altitudinal de las zonas baja y media ($R=-0.084$, $p= 0.59$), es decir que la tendencia es que a medida que gradiente aumenta la clorofila disminuye, datos diferentes a los obtenidos por Cantero et al. (2010), donde la cantidad de clorofila era variable debido a que se analizó en dos estaciones (invernal y seca) estableciéndose la discordancia principalmente en los datos de clorofila obtenidos de las especies *Piper tucumanum* y *Piper hieronymi* en la estación seca, ya que la mayoría de datos indicaban que al aumentar la altitud aumentaba la cantidad de clorofila, alegando que posiblemente se deba a la cantidad de cobertura existente a los alrededores de las especies evaluadas en donde no se ven afectadas directamente por la luz.

Para caracterización de eficiencia energética, se tomó como entrada de energía la

alimentación de los animales (pasto), obteniendo el valor más alto con un promedio del 85,17% del total de entradas, lo cual se asemeja a los resultados descritos por Unakitan & Kumbar (2019), que en su estudio toma como entradas de energía los tipos de piensos consumidos por unidad de ganado, concluyendo que los costes de los insumos más elevados son de la alimentación de ganado, por lo cual se calcula que el 62% de los costes son para alimentación, planteando así el estudio para revelar la eficiencia energética de la alimentación.

Para el caso de combustible según lo menciona Guevara et al., 2015, el aporte energético por combustibles es poco en los cultivos de maíz ya que solo son utilizados para desgrane de maíz, trabajo de maquinaria (tractor) y en algunos casos para traslado de la cosecha, algo contradictorio a lo que se analiza en nuestro estudio debido a que el aporte energético por combustibles está en el segundo puesto de los valores más altos de energía, teniendo en cuenta que se trata de tres sistemas de producción. Si se analizaría solamente al sistema de cultivo de ciclo corto para cultivos de maíz, los valores de aporte energético de combustibles, podrían ser similares a lo que menciona el autor, dado que en las entrevistas realizadas se mencionó que en pocos casos se utilizaba combustible para, preparación de suelo (arado con tractor) y traslado de cosecha.

En el estudio realizado por (Zea, et al., 2020), para cultivos de ciclo corto se demuestra que la mayor cantidad de energía consumida estuvo determinada por los insumos de fertilización orgánica, esto debido al alto nivel de uso de este insumo en el lugar de estudio, los resultados son similares a lo demostrado en nuestro estudio teniendo al insumo fertilizantes orgánicos en el tercer puesto de los más altos en consumo de energía para los tres sistemas de producción, debido a que en la zona la población en gran medida utiliza abonos orgánicos. Algo diferente se demuestra en el estudio realizado por (Hernández & Díaz, 2019), obteniendo la mayor cantidad de energía consumida en insumos de síntesis química, especialmente fertilizantes y plaguicidas. Según lo menciona (Malagón et al., 2020), la eficiencia energética de un sistema agropecuario puede ser referente tanto a la intensidad con la que utilizan los recursos energéticos sean estos internos o externos, así como al tipo de producción que se realice dentro del sistema estudiado.

En cuanto a las correlaciones realizadas entre la variable eficiencia energética y entradas de energía, se obtuvo como resultado que no se encontró correlaciones para el sistema de producción Agroforestal, y para el sistema de producción pastizales en este estudio, no se

muestran resultados similares a lo realizado por (Malagón, et al. 2020), a nivel de finca que, para el caso de la energía consumida, es decir, a la que entra en el sistema, muestra correlación con la energía producida.

De acuerdo a la flora encontrada en la zona de estudio se destacó a la familia Rosaceae como la más representativa, según (Guadarrama, et al., 2020), encontró un resultado similar destacando a la familia Rosaceae en su estudio sobre la diversidad biocultural de frutales en huertos familiares, lo que coincide con lo reportado por Rubí *et al.* (2014) en su estudio sobre huertos del sureste del Estado de México.

De los índices realizados de diversidad alfa, en la zona baja y media de la parroquia, no presentó diferencias estadísticamente significativas para el índice de diversidad de Shannon ($p=0.1552$), comparado con lo realizado por Cueva (2019), quien de igual manera no encontró diferencia significativa para este índice dentro de los gradientes altitudinales alto, medio y bajo en bosque seco andino. Por otro lado, dentro en las parcelas agroforestales analizadas de la parroquia Principal el índice de Margalef muestra diferencias significativas entre ambas zonas siendo en la zona baja que existió mayor riqueza de especies a comparación de la zona media que tenía una riqueza menor mostrando una disminución al aumentar la gradiente altitudinal, similar a lo que menciona Ávila et al. (2018) disminuyendo la riqueza a medida que aumenta la gradiente altitudinal, y como también encontró Girardin et al. (2013) que a los 1500 a 3500 m.s.n.m. disminuye la cantidad de a nivel de familias, géneros y especies. Para la uniformidad y la equidad de la comunidad, es importante que los índices muestren una alta diversidad, contraponiendo a la dominancia de una especie sobre otra, considerando como un elemento importante al favorecer el adecuado funcionamiento del agro ecosistema (Hernández et al., 2020).

8. CONCLUSIONES

La cantidad de carbono almacenado dentro de principal es relativamente baja comparación de otros estudios realizados donde los sistemas agroforestales acumulan altas cantidades de C por hectárea, aunque depende mucho densidad y distribución de las plantas dentro de un área establecida. En las gradientes evaluadas no existieron diferencias significativas aun así en general acumulan en promedio de todas las parcelas una cantidad de 5.01tC/ha, además entre especies la más acumulativa de carbono es *Eucalyptus globulus* pero, por la riqueza de la familia de las rosáceas ya que es la más acumulativa dentro de la parroquia.

Los datos tomados de clorofila en las especies leñosas de los sistemas agroforestales muestran diferencias significativas entre especies donde se puede observar las posibles diferencias fisiológicas existentes además de la calidad nutricional de las mismas como según indican algunos autores, aun así se demostró que no existe correlación marcada de la clorofila con la gradiente altitudinal y la cantidad acumulada de carbono, es decir que la clorofila no depende mucho de estas variables, al menos en los rangos altitudinales evaluados dentro de la parroquia Principal.

La mayoría de los sistemas de producción evaluados demostraron ser eficientes energéticamente (>1), además existe diferencias significativas entre las comunidades evaluadas, el insumo que presentó un mayor gasto energético fue el pasto, seguido de combustibles, fertilizantes orgánicos, mano de obra y trabajo animal. De acuerdo a las correlaciones realizadas se comprueba que mientras las entradas de energía sean mayores la eficiencia energética disminuye y mientras las salidas de energía sean mayores la eficiencia energética aumenta.

De acuerdo a la diversidad florística encontrada en la zona de estudio, se demostró que la familia más representativa es *Rosaceae*, sin embargo, los índices de diversidad alfa muestran una diversidad media para índices de Margalef y Simpson y diversidad alta para índice de Shannon. En cuanto a la diversidad beta con el índice de similitud de Jaccard, en zonas baja y media, se concluye que el 45% de las especies son comunidades similares.

9. RECOMENDACIONES

Para futuros estudios se recomienda:

- Estructurar mejor las encuestas donde conste solamente con información relevante y actividades netamente agrícolas.
- Se podría evaluar la cantidad de nitrógeno en el suelo, para ver si existe alguna relación con la cantidad de carbono.
- Mejorar el número de toma de datos
- Socializar los resultados obtenidos con el GAD Principal, para mejorar los resultados en el cantón.

Referencias

1. Aguilera, E., Guzmán Casado, G., Infante Amate, J., Soto Fernández, D., García Ruiz, R., Herrera, A., Villa, I., Torremocha, E., Carranza, G. and González de Molina, M., 2015. Embodied energy in agricultural inputs. Incorporating a historical perspective. España: Sociedad Española de historia agraria.
2. Aguirre, Z. (2013). Guía de métodos para medir la biodiversidad. Loja: Universidad Nacional de Loja.
3. Alonso, M., Rozados, M., Ignacio, M., Rozas, V., Lamas, S., Chapela, D., & Fontúrbel, M. (2008). Nitrógeno foliar como estimador de clorofila en una población de *Laurus nobilis* del parque nacional de las Islas Atlánticas, Galicia (No España). *Cuaderno de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 61-66.
4. Alegre, J., Ricse, A., Arévalo, L., Barbarán, J., & Palm, C. (2000). Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo, 12, 8-9.
5. Alonso, A. M., y Guzmán, G. J. (2010). Comparison of the efficiency and use of energy in organic and conventional farming in Spanish agricultural systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 34(3), 312-338.
6. 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*(45), 101-113.
7. Aydın, B., y Aktürk, D. (2018). Energy use efficiency and economic analysis of peach and cherry production regarding good agricultural practices in Turkey: A case study in Çanakkale province. *Energy*, 158, 967-974.
8. Barrantes, K., Ávila, C., Murillo, R., Solís, L., Porras, R., & Herrera, P. (2018). Relación de la clorofila y el nitrógeno foliar de *Gmelina arborea* Roxb en vivero y en campo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(46).
9. Baumann, M. (2021). Prácticas materiales del cuidado de la agrobiodiversidad como marco simbólico para la gobernanza ambiental en el sur de Tolima, Colombia. *Estudios críticos del Desarrollo*, 11(21), 101-163.

10. Beaton, C. (2006). *The Farm Management Handbook 2006/7*. SAC, Edinburgh.
11. Bojacá, C., Casilimas, H., Gil, R., & Schrevens, E. (2012). Extending the input-output energy balance methodology in agriculture through cluster analysis. *Energy*, 47 (1), 465-470.
12. Bravo, E. (2014). *La biodiversidad en el Ecuador*. Abya_Yala, 8-12.
13. Cantero, E., González, J., & Prado, F. (2010). Respuestas al déficit hídrico estacional en dos especies de Piper creciendo a lo largo de un gradiente altitudinal en la Sierra de San Javier (Tucumán, Argentina). *Revista Lilloa*, 47(1-2), 33-45.
14. Campo, A., & Duval, S. (2014). *Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina)*. Argentina: Universidad Nacional del Sur.
15. Carvajal, B., & Andrade, H. (2020). Captura de carbono en biomasa de sistemas de uso del suelo, municipio de Yopal, Casanare, Colombia. *Orinoquia*, 24(1), 13-22.
16. Castro, Y., & Blanco, E. (2018). Estimación del contenido de clorofila y nitrógeno en plantas de pimentón inoculadas con bacterias rizosféricas. *Revista Científica UNET*, 30(1), 105-112.
17. Castañeda, C., Almanza, P., Pinzón, E., 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*, 12(2), 329-337.
18. Chavé, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., ... Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
19. Criollo, H., Muñoz, J., & Lagos, T. (2020). Modelos alométricos para biomasa y carbono de *Albizia carbonaria* durante la fase de crecimiento vegetativo en la zona cafetera de Nariño. Obtenido de Dialnet.

20. Cristiano, S. (2021). Organic vegetables from community-supported agriculture in Italy: Emergy assessment and potential for sustainable, just, and resilient urban-rural local food production. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126015.
21. Cueva, E., Lozano, D., & Yaguana, C. (2019). Efecto de la gradiente altitudinal sobre la composición florística, estructura y biomasa arbórea del bosque seco andino, Loja, Ecuador. *Revista Bosque (Valdivia)*, 40(3), 365-378.
22. Deleg, R., & Porras, P. (2017). *Análisis de la riqueza y composición florística en las gradientes altitudinales de la zona oriental de la cuenca del río Paute, Sur del Ecuador*. Obtenido de Dspace: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7539>
23. Defra. (2005). Agriculture and food-quick statistics. National Statistics Defra. UK.
24. Eriksson, G., A. Jonsson, I. Dormling, L. Norell and L. G. Stener. 1993. Retrospective early tests of *Pinus sylvestris* L. seedlings grown under five nutrient regimes. *Forest Science* 39: 95-117.
25. Espinoza, W., Krishnamurthy, L., Vázquez, A., & Torres, A. (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(1), 57-70.
26. Flores, J. (2014). Evaluación de los servicios de agrobiodiversidad y carbono almacenado de los sistemas agroforestales de la zona Iztaccíhuatl-Popocatépetl. *Escuela de Biología-BUAP*, 2-77.
27. Frías, M., Bonilla, M., & Rivero, A. (2021). Captura de carbono por especies arbóreas en la finca de la Carmelia. *Avances*, 23(2), 152-162
28. García, J. L. C., Avila, E. J. C., Cuenca, W. A. P., & Burgos, A. M. C. (2020). Biodiversidad del componente forestal en dos campus de la Universidad Técnica del Norte, Ecuador. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, 24, 24. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i24.2360
29. GAD-Principal. (2020). Historia de la parroquia principal. Obtenido de GAD de principal.

30. GAD Principal. (2020). *Actualización plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Chordeleg: GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO PARROQUIAL DE PRINCIPAL.
31. Girardín, C., Farfán, W., García, K., Feeley, K., Jorgensen, P., Araújo, A., . . . Malhi, Y. (2013). Spatial patterns of above-ground structure, biomass and composition in a network of six Andean elevation transects. *Plant Ecology & Diversity*.
32. Guadarrama Martínez, N., Chávez Mejía, M. C., Rubí Arriaga, M., & White Olascoaga, L. (2020). La diversidad biocultural de frutales en huertos familiares de San Andrés Nicolás Bravo, Malinalco, México. *Sociedad y ambiente*, 22, 237–264. <https://doi.org/10.31840/sya.vi22.2107>
33. Guadiana, Z., Durán, H., Rossel, E., Algarra, M., & Cisneros, R. (2021). Eficiencia energética en sistemas agrícolas familiares bajo condiciones de clima frío. *Interciencia*, 46 (1), 32-36.
34. Guevara, F., Rodríguez, L., Hernández, M., Fonseca, M., Pinto, R., Reyes, L. (2015). Eficiencia energética y económica del cultivo de maíz en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera "La Sepultura", Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(8), 1929-1941. Recuperado en 09 de diciembre de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000801929&lng=es&tlng=es.
35. Guiracocha, G., Harvey, C., Somarriba, E., Krauss, U., & Carrillo, E. (2001). Conservación de biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca- Costa Rica. *Revista Agroforestería en las Américas*, 7-11.
36. Hernández, E., Campos, G., Enríquez, R., Rodríguez, G., & Velasco, V. (2012). Captura de Carbono por Inga jinicuil Schltld. en un sistema agroforestal de café bajo sombra. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(9), 11-21.
37. 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=S0253-57852019000300096&lng=es&tlng=es.

38. Hernández, H., Andrade, H., Suárez, J., Sánchez, J., Gutiérrez, D., Gutiérrez, G., Trujillo, E., & Casanoves, F. (2021). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 352-368.
39. Hernández Guanche, L., Santana Baños, Y., Dago Dueñas, Y., Acosta Hernández, A., Hernández Carballo, R. (2020). Diversidad y usos de la vegetación arbórea en agroecosistemas urbanos de Pinar del Río, Cuba. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(3), 148-152.
40. IPCC. (2006). Tierras forestales. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 4(4), 1-93.
41. INIAP & FAO. (2017). *La Biodiversidad para la Agricultura y la Alimentación en Ecuador: Estado actual y proyecciones de su uso sustentable y conservación (Resumen del Informe)*. INIAP & FAO, Quito, Ecuador.
42. INIAP. (2018). Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. En N. Paredes, C. Astorga, F. Fernández, & A. Vera, *El rol de los sistemas agroforestales en la conservación del suelo, biodiversidad, producción de agua, y almacenamiento de carbono* (2 ed., págs. 50-59).
43. IPCC. (2006). Tierras forestales. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 4(4), 1-93.
44. Iermanó, M., & Sarandón, S. (2015). Eficiencia energética de cultivos anuales en dos tipos de agroecosistemas de la Región Pampeana Argentina. Congreso Lationamericano de Agroecología. La Plata.
45. Jadán, O., Cifuentes, M., Torres, B., Selesi, D., Veintimilla, D., & Günter, S. (2015). Influence of tree cover on diversity, carbon sequestration and productivity of cocoa systems in the Ecuadorian Amazon. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 325(325), 35. <https://doi.org/10.19182/bft2015.325.a31271>
46. Jiménez, A. (2021). La diversidad mejora el almacenamiento de carbono en los bosques tropicales. *Revista científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 5(2), 316-323.

47. Jacobo, E., Rodríguez, J., & Golluscio, R. (2016). Efectos de la intensificación ganadera sobre la eficiencia en el uso de la energía fósil y la conservación del pastizal en la cuenca baja del río Salado, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Agrisciencia*, 33(1), 1-14.
48. Leguia, H., Pietrarelli, Ñ., Re, A., Fontanini, L., & Vaccarello, H. (2019). La diversidad productiva y su influencia en los aportes orgánicos y la eficiencia energética, en sistemas extensivos del centro de Córdoba, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 51(2), 89-104.
49. López, G., Lira, R., & Méndez, B. (2016). Medición de intercambio gaseoso, área foliar e índice de clorofila en plantas elicidadas con nanopartículas. *Centro de Investigación de Química Aplicada*, 112-128.
50. López, H., Vaides, E., & Alvarado, A. (2018). Evaluación de carbono fijado en la biomasa aérea de plantaciones de teca en Chahal, Alta Verapaz, Guatemala. *Revista Agronomía Costarricense*, 42(1), 137-153.
51. Lozano, D., Palacios, B., & Aguirre, Z. (2017). Modelos alométricos para estimar el almacenamiento de carbono de bosques montanos bajos en el sur del Ecuador. *Ciencia Forestal*, 28(3), 1328-1339.
52. MAE. (2012). *Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental*. Quito-Ecuador.
53. MAE. (2013). Actualización de prioridad proyecto "Sistema Nacional de Control Forestal". *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo*.
54. MAE. (2014). *Programa de Conservación de Bosques y REDD +*. Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente.
55. Macías Echeverri, E. (2019). Conservación de la Agrobiodiversidad. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 7(2), 71-72.
56. Malagón, S., Rivero, A., Gigato, A., Miravet, I., Ravelo, Y., & Reinoso, J. (2020). Evaluación de la eficiencia energética de la finca "El Charrabascal". *ECOVIDA*.
57. Mandal, K., Saha, K., Ghosh, P., Hati, K., & Bandyopadhyay, K. (2002). Bioenergy
a. and economic analysis of soybean-based crop production systems in central

- b. India. Biomass & Bioenergy, 23, 337-345.
58. Manrique, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. Obtenido de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/26495184_Los_pigmentos_fotosinteticos_algo_mas_que_la_captacion_de_luz_para_la_fotosintesis
59. Mena, V., Andrade, H., & Navarro, C. (2011). Biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios en un gradiente altitudinal en Costa Rica. *Agroforestería Neotropical*(1).
60. Mendizábal, L., Alba, J., Ramírez, J., Cruz, H., & Ramírez, E. (2011). Captura de carbono por *Cedrela odorata* L. en una prueba genética. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4), 108-113.
61. Mendoza, R., Juarez, P., Ontiveros, R., Alia, I., Guillén, D., Villegas, O., & Chávez, A. (2022). Estimación de la concentración de clorofila, nitrógeno y biomasa en arúgula (*Eruca sativa* Mill.) mediante mediciones portátiles no destructivas. *Revista Bioagro*, 34(2), 151-162.
62. Marín, M., Andrade, H., & Sandoval, A. (2016). Fijación de carbono atmosférico en la biomasa total de sistemas de producción de cacao en el departamento de Tolima, Colombia. *Revista U.D.C.A.*, 19(2), 351-360.
63. Montenegro, D. (2020). *Determinación de clorofilas, flavonoides y nitrógeno en cerezos (Prunus avium L var "Santina") bajo tres condiciones de cultivo, mediante un método no destructivo*. Obtenido de Dspace: <http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/12152/6/2020A000013.pdf>
64. Morales, P. (2012). Muestras probabilísticas o aleatorias. *Estadística Aplicada a Las Ciencias Sociales*, 2–3.
65. Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 6-55 pp.
66. Mosquera, M., Moreno, G., Freijanes, J., Ferreiro, N., & Rodríguez, A. (2015). Sistemas Agroforestales y PAC. Obtenido de Dialnet:

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AM/PDF_AM_Ambienta_2015_112_110_124.pdf

67. Nautiyal, S., Kaechele, H., Rao, K., Maikhuri, R., y Saxena, K. (2007). Energy and economic analysis of traditional versus introduced crops cultivation in the mountains of the Indian Himalayas: a case study. *Energy*, 32(12), 2321-2335.
68. Odales, L., Barrera, E., Kiran, R., & Romero, O. (2021). Effect of conditional cooperation on energy saving: A Mini-review. *Centro Azúcar*, 48(1), 127-136.
69. Ordoñez, H., Muñoz, D., Ballesteros, W., Cabrera, G., & Mosquera, J. (2007). Estimación de la biomasa aérea y captura de carbono en árboles dispersos en potreros con motilón silvestre (*Freziera canescens*) en el municipio de Pasto Nariño - Colombia. Obtenido de Dialnet.
70. Ozkan, B., Akcaoz, H., & Karadeniz, F. (2004). Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy conversion & management*, 45, 1821-1830.
71. Patiño, S., Suárez, L., Andrade, H., & Segura, A. (2018). Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero- Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9 (2), 121-133.
72. Peña, J., Alegre, J., & Bardales, R. (2018). Efecto de la riqueza de las especies cultivadas en la sustentabilidad de los sistemas agroforestales en la Amazonía Sur del Perú. *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medioambiente*, 27(3), 87-95.
73. Pérez, D., Soler, M., & Fernández, X. (2013). Energy analysis of organic Farming in Andalusia (Spain). *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 32 (7), 231-256.
74. Pérez, D., & Grollums, A. (2018). Life-cycle energy assessment and carbon footprint of peri-urban horticulture. A comparative case study of local food systems in Spain. *Elsevier*, 37 (2), 231-256.
75. Pérez-Neira, D., Soler, M., & Fernández, X. (2015). Sostenibilidad energética y viabilidad monetaria de los cultivos. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 144 (4), 15-26.

76. Pergola, M., D'Amico, M., Celano, G., Palese, A. M., Scuderi, A., Di Vita, G., et al. (2013). Sustainability evaluation of Sicily's lemon and orange production: an energy, economic and environmental analysis. *Journal of environmental management*, 128, 674-682.
77. Poveda, V., Orozco, L., Medina, C., Cerda, R., & López, A. (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua. Obtenido de Dialnet.
78. Ramírez, J., & Chagna, E. (2019). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus grandis* W. Hill. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(1), 86-97.
79. Regil, H., Franco, S., Endara, A., Flamenco, A., Espinoza, A., Calderón, R., & Pérez, B. (2020). Procesos de pérdida y recuperación del contenido de carbono en biomasa aérea en las zonas forestales del área de protección de flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo 2000-2013. *Revista Geográfica de América Central*, 64(1).
80. Rincón, Á., & Ligarreto, G. (2010). Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Revista Corpoica- Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 122-128.
81. Rojas, A., Moreno, L., Melgarejo, L., & Rodríguez, M. (2012). Respuesta fisiológica del cultivo de gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) a condiciones hídricas en el Caribe colombiano. *Revista de Agronomía Colombiana*, 30(1), 52-58.
82. Rubí, Martín; Martínez, Isabel; González, Andrés; Pérez, Delfina; Cruz, Juan, y Guadarrama, Noemi (2014a). "Catálogo de especies frutales presentes en el sureste del Estado de México, México". *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 5(8), pp. 1509-1517.
83. Rüginitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales (Primera ed.). Lima, Perú: World Agroforestry Centre (ICRAF).
84. Sarauski, E., Romaneckas, K., Jasinkas, A., Kimbirauskiene, R., & Naujokiene, V. (2020). Improving energy efficiency and environmental mitigation through. *Energy*, 209, 118453.

85. Schramski, J. R., Jacobsen, K. L., Smith, T. W., Williams, M. A., y Thompson, T. M. (2013). Energy as a potential systems-level indicator of sustainability in organic agriculture: Case study model of a diversified, organic vegetable production system. *Ecological modeling*, 267, 102-114.
86. Silva, S., Silva, H., & Pérez, S. (2017). Eficiencia energética y monetaria de sistemas de producción de durazno (*Prunus persica*) en El Jarillo, Venezuela. *IDESIA*, 35(4), 17-26.
87. Sonco, R. (2013). Estudio de la diversidad Alfa y Beta en tres localidades de un bosque montano en la región de Madidi, La Paz-Bolivia. *Missouri Botanical Garden*, 6-11.
88. Tinoco, L., Díaz, A., Congo, C., Vargas, Y., & Caicedo, C. (2019). Eficiencia energética del cultivo *Theobroma cacao* L. en Sistemas Agroforestales Amazónicos del Ecuador. *INIAP-Estación Experimental Central Amazónica*, 19-22.
89. Unakitan, G., & Kumbar, N. (2019). Analysis of feed conversion efficiency in dairy cattle farms in Thrace Region, Turkey. *Energy (Oxford, England)*, 176, 589–595. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.031>
90. Villareal, H., Álvarez, S., Córdova, F., Escobar, G., Fagua, G., Gast, F., . . . Umaña, A. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventarios de Biodiversidad. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
91. 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*.
92. Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G.*, Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., and Chave, J. 2009. Global wood density database. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.
93. Zhu, J., Tremblay, N., & Liang, Y. (2012). Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Canadian Journal of Soil Science*, 645-648.

Anexos

Anexo A

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

Entradas	Unidad	Energía equivalente (MJ/Kg)	Referencia
Semillas y plántulas			
Semillas	Kg	2.63	Pérez et al. (2013)
Plántulas	U	0.2	Pérez et al. (2013)
Fertilización			
Abono orgánico	Kg	0.3	Pérez et al. (2013)
Nitrógeno	Kg	64.4	Pérez-Neira & Glollmus-Venegas (2018)
Fósforo	Kg	13.2	Pérez-Neira & Glollmus-Venegas (2018)
Potasio	Kg	9.5	Pérez-Neira & Glollmus-Venegas (2018)
Agroquímicos			
Fungicida	Kg	104	Silva, Silva & Pérez (2017)
Herbicida	Kg	238	Silva, Silva & Pérez (2017)
Insecticida	Kg	184	Silva, Silva & Pérez (2017)
Otros ingresos			
Trabajo en ganadería	H	0,58	Pérez, Soler & Fernández (2014)
Mano de obra	H	1,96	Mandal et al. (2002)
Trabajo animal	H	44,16	Aguilera et al. (2015)
Gasolina	Kg	39	Silva, Silva & Pérez (2017)
Plántulas	Und	0,2	Bojacá, et al., (2012)
Agua	m3	0,63	Pérez-Neira & Glollmus-Venegas (2018)

Anexo B

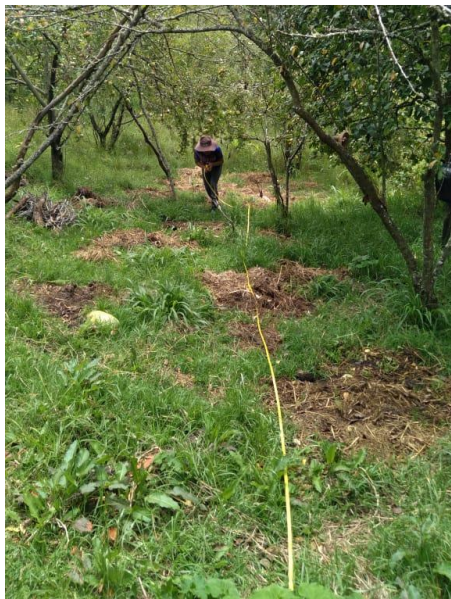
Energía equivalente (MJ/Kg) de los productos producidos por la explotación dentro de cada finca (salida de energía).

Especie	Nombre Científico	Energía equivalente (MJ/Kg)	Referencia
Aguacate	<i>Persea americana</i>	8,83	Ozkan et al. (2004)
Arveja	<i>Pisum sativum</i>	1,76	Schramski et al. (2013)
Babaco	<i>Vasconcellea x heilbornii</i>	1,9	Ozkan et al. (2004)
Capulí	<i>Prunus salicifolia</i>	1,9	Ozkan et al. (2004)
Durazno	<i>Prunus persica</i>	3,64	Aydin & Aktürk (2018)
Frejol	<i>Phaseolus vulgaris</i>	17,1	Nautiyal et al. (2007)
Fresa	<i>Fragaria ananassa</i>	1,05	Defra (2005)
Haba	<i>Vicia faba</i>	20	Šarauskiš et al. (2020)
Higo	<i>Ficus carica</i>	4,84	Alonso & Guzmán (2010)
Limón	<i>Citrus limon</i>	2,85	Pergola (2013)
Maíz	<i>Zea mays</i>	15,28	Schramski et al. (2013)
Manzana	<i>Malus domestica</i>	1,79	Defra (2005)
Mora	<i>Rubus ulmifolius</i>	1,9	Ozkan et al. (2004)
Pepino	<i>Cucumis sativus</i>	0,65	Schramski et al. (2013)
Pera	<i>Pyrus communis</i>	3,71	Alonso & Guzmán (2010)
Pimiento	<i>Capsicum annuum</i>	0,84	Schramski et al. (2013)
Tomate de árbol	<i>Solanum betaceum</i>	1,9	Ozkan et al. (2004)
Tomate riñón	<i>Lycopersicon esculentum</i>	0,75	Cristiano (2021)
Uvilla	<i>Physalis peruviana</i>	1,9	Ozkan et al. (2004)
Zucchini	<i>Cucurbita pepo</i>	0,71	Schramski et al. (2013)
Pasto de corte	Kg	15,8	Nautiyal et al. (2007)
Pasto para forraje	Kg	15,8	Nautiyal et al. (2007)
Leche	L	2,75	Beatón (2006)

Queso	Kg	2,9	Nautiyal et al. (2007)
-------	----	-----	------------------------

Anexo C

Medición de áreas de estudio parcelas agroforestales



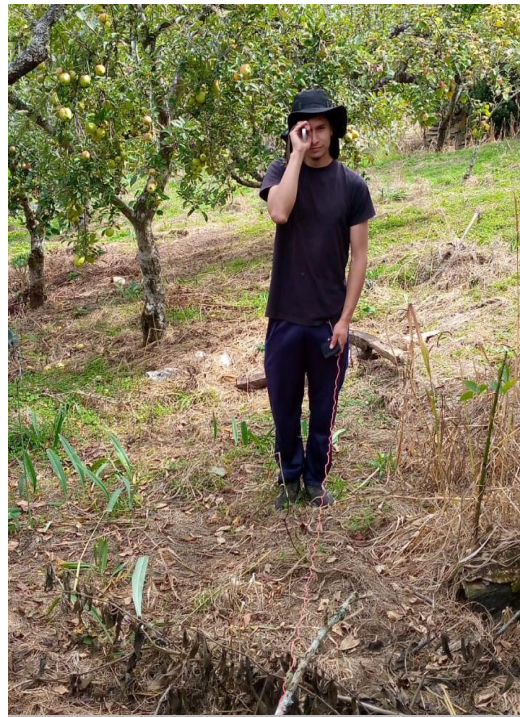
Anexo D

Toma de altitud en sistema de producción cultivo de ciclo corto



Anexo F

Medición de variables dasométricas: Altura



Anexo G

Sistema de producción pastizal en la Parroquia Principal



Anexo H

Sistema agroforestal de la parroquia Principal



Anexo I

Sistema de producción cultivo de ciclo corto en la Parroquia Principal



Anexo J

Encuesta realizada a los productores del sector



Anexo K

Sistema de producción pastizal

