

UCUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Carrera de Ingeniería Agronómica

**Variación del carbono, eficiencia energética y riqueza florística en agroecosistemas de
la provincia del Azuay, parroquia Cutchil – Sígsig**

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

Autor:

Bryam Roberto Jiménez Bravo

CI: 0106312226

Correo electrónico: bryamrjb@gmail.com

Director:

Ing. Agr. Pedro René Zea Dávila MSc.

CI: 0102198207

Cuenca – Ecuador

06 de enero de 2023

Resumen:

El almacenamiento del carbono, la diversidad de especies y la eficiencia energética son de gran importancia en sistemas productivos cuya forma de manejo es la integración funcional entre especies que promueven la sostenibilidad, soberanía y seguridad alimentaria y a su vez prestan servicios ambientales. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la variación del carbono y la riqueza florística en sistemas agroforestales a través de ecuaciones alométricas e índices de diversidad, también se estimó la eficiencia energética mediante estimaciones de entradas y salidas de energía en sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y pastos de la parroquia Cutchil, Sígsig. La investigación evaluó una muestra de 115 sistemas productivos dentro de la parroquia de Cutchil. Se establecieron tres rangos altitudinales para estimar y comparar el carbono proveniente de la biomasa aérea y la diversidad de especies. La metodología se basó en el levantamiento de parcelas de 400 m² para evaluar sistemas agroforestales y la aplicación de encuestas estructuradas. Los resultados mostraron un promedio de 13.87 t C/ha. y diversidades bajas en sistemas agroforestales, mientras que la eficiencia energética mostró promedios de 9.43 MJ/ha. en sistemas agroforestales, 6.33 MJ/ha. en cultivos de ciclo corto y 0.23 MJ/ha. en sistemas de pastizales. Los sistemas productivos se caracterizaron por tener un tamaño promedio entre 0.41ha y 3.21ha. Las especies vegetales con mayor frecuencia en SAFs y cultivos de ciclo corto fueron *Malus domestica.*, *Prunus persica.*, *Phaseolus vulgaris.* y *Zea mays.*, mientras que los sistemas de pastos estuvieron compuestos por gramíneas y leguminosas.

Palabras clave: sistema agroforestal, cultivos de ciclo corto, pasto, carbono alométrico, diversidad, eficiencia energética, transecto altitudinal.

Abstract:

Carbon storage, species diversity and energy efficiency are of great importance in production systems whose form of management is the functional integration between species that promote sustainability, sovereignty and food security and in turn provide environmental services. The objective of this study was to evaluate the variation of carbon and floristic richness in agroforestry systems through allometric equations and diversity indices, energy efficiency was also estimated through estimates of energy inputs and outputs in agroforestry systems, short-cycle crops and pastures of the Cutchil parish, Sígsig. The research evaluated a sample of 115 production systems within the Cutchil parish. Three altitude ranges were established to estimate and compare carbon from aerial biomass and species diversity. The methodology was based on surveying plots of 400 m² to evaluate agroforestry systems and the application of structured surveys. The results showed an average of 13.87 t C/ha. and low diversities in agroforestry systems, while energy efficiency showed averages of 9.43 MJ/ha. in agroforestry systems, 6.33 MJ/ha. in short cycle crops and 0.23 MJ/ha. in grassland systems. The productive systems were characterized by having an average size between 0.41ha and 3.21ha. The plant species with the highest frequency in SAFs and short-cycle crops were *Malus domestica.*, *Prunus persica.*, *Phaseolus vulgaris.* and *Zea mays.*, while the pasture systems were composed of grasses and legumes.

Keywords: agroforestry system, short-cycle crops, pasture, allometric carbon, diversity, energy efficiency, altitude transect.

Índice de contenido.

1	CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	12
1.1	OBJETIVOS.....	13
1.1.1	Objetivo general del proyecto.....	13
1.1.2	Objetivos específicos del proyecto.....	13
1.2	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	14
2	CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Sistemas de producción agropecuarios.....	14
2.1.1	Cultivos de ciclo corto.....	14
2.1.2	Pastizales.....	15
2.1.3	Sistemas agroforestales (SAF).....	15
2.2	Almacenamiento de carbono.....	15
2.2.1	La biomasa arbórea y el carbono.....	16
2.2.2	Biomasa aérea.....	16
2.2.3	Estimación de biomasa aérea mediante modelos alométricos.....	16
2.2.4	Carbono en sistemas agroforestales.....	16
2.3	Biodiversidad.....	18
2.3.1	Diversidad y Riqueza Específica.....	19
2.3.2	Diversidad alfa de Shannon.....	20
2.3.3	Dominancia Simpson.....	20
2.3.4	Diversidad beta de Simpson.....	21
2.4	Eficiencia energética.....	21
3	CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1	Área de estudio.....	23
3.1.1	Ubicación política-geográfica del área de estudio.....	25
3.1.2	Caracterización de los aspectos ecológicos.....	25
3.1.3	Determinación del universo.....	25
3.1.4	La muestra y el método del muestreo.....	26
3.2	Metodología para el objetivo específico 1. Definir el carbono a partir de la biomasa aérea, diversidad y riqueza de los sistemas de producción agroforestales.....	26
3.3	Metodología para el objetivo específico 2. Analizar la eficiencia energética de los sistemas agroproductivos.....	28

UCUENCA

3.4	Metodología para el objetivo específico 3. Tipificar los sistemas de producción en función de tres usos de suelo imperantes en la zona: sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y sistemas de pastizales para evaluar la variación de diversidad, riqueza y carbono aéreo en sistemas agroforestales de la parroquia Cutchil.	33
3.4.1	Pruebas estadísticas que se utilizaron para el análisis de los resultados.	34
4	CAPITULO IV: RESULTADOS	35
4.1	Definir el carbono a partir de la biomasa aérea, diversidad y riqueza de los sistemas de producción agroforestales.	35
4.1.1	Caracterización de las variables.....	35
4.1.2	Carbono a partir de la biomasa aérea.....	36
4.1.3	Diversidad y riqueza de los sistemas de producción agroforestales.	39
4.2	Analizar la eficiencia energética de los sistemas agroproductivos.	43
4.2.1	Comparaciones entre los sistemas productivos pertenecientes a la parroquia de Cutchil. 46	
4.2.2	Correlaciones entre entradas, salidas y eficiencia energética de los sistemas de producción.	47
4.3	Tipificar los sistemas de producción en función de tres usos de suelo imperantes en la zona: sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y sistemas de pastizales para evaluar la variación de diversidad, riqueza y carbono aéreo en sistemas agroforestales de la parroquia Cutchil.	50
4.3.1	Área y altura de los sistemas de producción de la parroquia de Cutchil.	50
4.3.2	Composición de los sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y pastos.....	52
4.3.3	Mapa de ubicación de los sistemas de producción en la parroquia de Cutchil.....	57
5	CAPITULO V. DISCUSIÓN.	58
5.1	Carbono a partir de la biomasa aérea.	58
5.2	Diversidad	59
5.3	Eficiencia energética	61
5.4	Tipificación de los sistemas de producción.....	65
6	CONCLUSIONES.....	67
7	RECOMENDACIONES.	69
8	BIBLIOGRAFÍA.....	70
9	ANEXOS.....	79

Índice de tablas.

Tabla 1.	Valores de significancia para la riqueza específica (Índice de Margalef).....	19
Tabla 2.	Valores de significancia para el índice de Shannon-Wiener.	20
Tabla 3.	Valores de significancia para el índice de dominancia de Simpson.....	21
Tabla 4.	Ecuaciones alométricas utilizadas para la estimación de biomasa arriba del suelo en los sistemas agroforestales pertenecientes a la parroquia de Cutchil.	27
Tabla 5.	Modelos matemáticos para el procesamiento de datos.....	28
Tabla 6.	Variables e indicadores de entradas y salidas para estimar la eficiencia energética de los sistemas de producción en la parroquia de Cutchil.	28
Tabla 7.	Coefficientes de eficiencia energética por kilogramo de fertilizantes sintéticos y orgánicos	29
Tabla 8.	Coefficientes de ingreso de energía por unidad.	30
Tabla 9.	Coefficientes de eficiencia energética por kilogramos de producto cosechado. Autor: Bryam Jiménez.....	31
Tabla 10.	El resultado del mapa mostró una clasificación de los sistemas de producción.....	33
Tabla 11.	Sistemas de producción agroforestales distribuidos en tres transectos altitudinales en función de tres rangos altitudinales.....	35
Tabla 12.	Prueba de normalidad para las variables a Carbono, Índice de Margalef, Índice de Shannon e Índice de Simpson.	35
Tabla 13.	Carbono almacenado en toneladas por hectárea en los SAF de Cutchil.	36
Tabla 14.	Especies agroforestales productivas identificadas dentro de los SAF de Cutchil.	39
Tabla 15.	Promedios \pm erros estándar para los índices de diversidad alfa en las comunidades evaluadas.	40
Tabla 16.	Promedio de entradas y salidas de energía en los sistemas de producción.	44
Tabla 17.	Promedios, medianas, desviacion estandar y error estandar para los sistemas de producción pertenecientes a la parroquia de Cutchil.	45
Tabla 18.	Prueba de Dunn para corroborar diferencias estadísticas significativas entre pares de comparaciones entre sistemas de producción; valores ($p < 0.05$) existe diferencias significativas.	46
Tabla 19.	Promedio \pm error estándar del área de los sistemas de producción en la parroquia de Cutchil.	51
Tabla 20.	Promedio \pm error estándar de la altura de los sistemas de producción en la parroquia de Cutchil.	51
Tabla 21.	Promedio \pm error estándar de especies presentes por tipo de sistema de producción.	52

UCUENCA

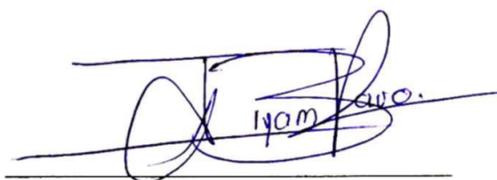
Índice de figuras.

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. La parroquia Cutchil está ubicada en el cantón Sígsig de la provincia del Azuay.....	24
Figura 2. Medianas y Error Estándar del carbono almacenado en la biomasa aérea de los SAF en Cutchil; Transecto: Bajo = 11.82 C t/ha ± 1.39, Medio = 11.31 C t/ha ± 2.42, Alto = 15.63 C t/ha ± 1.68, Total = 13.50 C t/ha ± 1.04.....	37
Figura 3. Cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea en los sistemas agroforestales.	38
Figura 4. Correlación entre (Altura - Carbono t/ha) y (Edad - Carbono t/ha).	39
Figura 5. Curvas de acumulación de especies en relación Sistemas de producción – riqueza (A) y Número de individuos – riqueza (B).....	42
Figura 6. Eficiencia energética de los sistemas de producción en la parroquia de Cutchil.	45
Figura 7. Promedio de eficiencia energética para los sistemas de producción en la parroquia Cutchil.	47
Figura 8. Correlaciones significativas de entradas, salidas de energía con eficiencia energética para los sistemas de producción agroforestales, cultivos de ciclo corto y pasto respectivamente.	48
Figura 9. Correlaciones entre entradas, salidas, Altura (m s.n.m.), Área de los sistemas de producción con eficiencia energética respectivamente; línea entrecortada azul significa (--- Nivel crítico).	50
Figura 10. Medianas de área ± desviación estándar (A) y medianas de altura ± desviación estándar de los sistemas de producción en la parroquia de Cutchil.....	52
Figura 11. Frecuencia de especies agroforestales en los sistemas agroforestales de la parroquia Cutchil.	53
Figura 12. Frecuencia de sistemas agroforestales con presencia de especies agroforestales y especies de ciclo corto de importancia.....	54
Figura 13. Frecuencia de sistemas de cultivos de ciclo corto con presencia de especies de ciclo corto de importancia.	55
Figura 14. Frecuencia de sistemas de cultivos de ciclo corto con presencia de especies agroforestales y especies de ciclo corto de importancia.	56
Figura 15. Ubicación de las parcelas muestreadas en la parroquia Cutchil.	57

Cláusula de Propiedad Intelectual

Bryam Roberto Jiménez Bravo, autor del trabajo de titulación "Variación del carbono, eficiencia energética y riqueza florística en agroecosistemas de la provincia del Azuay, parroquia Cutchil – Sígsig", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 06 de enero de 2023.



Bryam Roberto Jiménez Bravo

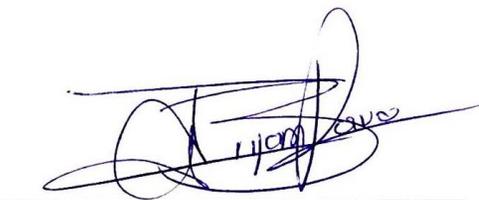
C.I: 0106312226

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Bryam Roberto Jiménez Bravo en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Variación del carbono, eficiencia energética y riqueza florística en agroecosistemas de la provincia del Azuay, parroquia Cutchil – Sígsig”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 06 de enero de 2023.



Bryam Roberto Jiménez Bravo

C.I: 0106312226

UCUENCA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por acompañarme a lo largo de mi vida, brindándome sabiduría, entendimiento y valentía para culminar con éxito mis estudios profesionales.

A mí, por todo el esfuerzo y dedicación para alcanzar mis metas propuestas.

A mi mamá, mi abuelita Bertha, mi tía Lucía, mis primos Gina e Israel, mi esposa Marcela, por ser siempre mi pilar y mi ayuda incondicional durante todo este tiempo.

A Cutchil y sus productores que permitieron que este trabajo de investigación se desarrolle en sus sistemas de producción; y que este trabajo de titulación sirva para el progreso de nuestra parroquia.

En especial a mi tutor Ing. Pedro Zea M.Sc., por haberme apoyado y guiado con su experiencia y colaboración en este trabajo de titulación y en todo este tiempo de vida universitaria, de igual manera a todos los profesores que me ayudaron a desarrollarme profesionalmente de manera íntegra.

Bryam Jiménez B.

UCUENCA

DEDICATORIA

Especialmente a mi madre, Fanny, por todo el esfuerzo y valentía que tuvo que hacer para ayudarme en mi desarrollo personal y académico.

A mi abuelita, Bertha, por sus oraciones, su amor y su apoyo incondicional en toda mi vida.

A mi tía, Lucía y mis primos, Israel y Gina, por siempre velar por mi bienestar y ser muy solidarios conmigo.

A mi tío, Milton, por siempre haberme motivado a seguir prosperando en todos los ámbitos de mi vida.

A mi esposa, Marcela y a mi hijo, Josué Emiliano, por ser mi fuerza y mi inspiración para culminar mis estudios profesionales.

Bryam Jiménez B.

1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas proveen de servicios ambientales en beneficio global, regional y local (Mulkey et al., 2012). Los agroecosistemas cuya forma de manejo es la integración funcional entre especies productivas arbóreas, pastos, cultivos y animales promueven la sostenibilidad, soberanía y seguridad alimentaria y a su vez prestan servicios ecosistémicos (Montagnini et al., 2015). El almacenamiento de carbono es uno de los principales servicios ecosistémicos que brindan los sistemas forestales a través de sus biotipos vegetales. En un sistema agroforestal la edad y la densidad de árboles forestales son las variables que indican una correlación significativa con el potencial de carbono almacenado. Los árboles frutales son una opción en la agricultura por las salidas productivas y por ser los principales sumideros captadores de CO₂ (Milera, 2013).

Los sistemas agroforestales asociados con especies forestales maderables, frutales e industriales son los sistemas que presentan mayor eficiencia en la fijación de carbono, además la captura de carbono es mayor en la biomasa arbórea de los árboles vivos en donde los sistemas agroforestales de 12 y 20 años presentan reservas de carbono por encima de los 40 t C ha⁻¹; mientras que los sistemas de 5 años se encuentran con reservas de carbono por debajo de los 30 t C ha⁻¹ (Concha et al., 2007). Herbas et al. (2018) mostró que la combinación de árbol frutal, árbol nativo más la compañía de un árbol introducido generó mayor acumulación y fijación de carbono en la parcela a partir de la biomasa. La especie que más aportó al total fue el manzano con una acumulación de 14,04 t ha⁻¹ con la presencia de 67 individuos distribuidos entre hileras, seguido de tagasaste, tecoma y cedro colorado.

La agricultura posee una alta contribución con el calentamiento global debido a los sistemas convencionales con ciertas prácticas agrícolas poco eficientes empleados para incrementar la producción de alimentos (Álvarez et al., 2007). Los sistemas de cultivo sin sombra y con fertilización química generan mayores emisiones de gases efecto invernadero (GEI) (Zaldaña Angulo, 2019). La concentración atmosférica de dióxido de carbono ha incrementado alrededor del 40%, es decir, de 280 ppm en 1750 a 403.64 ppm en octubre de 2017 debido a las diversas actividades humanas (Aquino et al., 2018). La agricultura convencional contribuye al aumento de los GEI debido al uso de altos niveles de agroquímicos que junto con el tipo de manejo inciden en la eficiencia energética (Castro et al., 2006).

UCUENCA

En los últimos años, se ha comenzado a reconocer la indiscutible interrelación que existe entre la biodiversidad, la agricultura sustentable y la eficiencia energética (Sarandón, 2010). Un sistema de producción diverso es la base de múltiples estrategias, estas sirven para enfrentar problemas de la producción y sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Garrido, 2006). La eficiencia energética disminuye en los sistemas agropecuarios debido a ciertas prácticas empleadas poco eficientes como son los monocultivos en grandes extensiones, excesivo uso de maquinarias, utilización masiva de fertilizantes químicos y plaguicidas, desaprovechamiento o quema de residuos de cosecha, escasa utilización del área de cultivo en tiempo y espacio y el ineficiente empleo de la mano de obra (Chilpe, 2018). Este modelo de agricultura caracterizado por una baja agrobiodiversidad produce un mayor uso de insumos externos para enfrentar problemas de fertilización del suelo, manejo de plagas y enfermedades atentando contra la sostenibilidad de la producción en el largo plazo y volviendo a los sistemas energéticamente deficitarios (Silva Laya et al., 2017).

La presente investigación permite conocer los primeros datos de los servicios ecosistémicos que prestan los sistemas agroforestales presentes en la parroquia de Cutchil específicamente la cantidad de Carbono aéreo almacenado y su riqueza florística en los sistemas agroforestales de esta zona, además de evaluar la eficiencia energética de los sistemas productivos que serán tipificados. Esta información apoyará a investigaciones posteriores y será un insumo para la planificación dentro de la zona de estudio.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general del proyecto.

- Evaluar la variación del carbono, eficiencia energética y riqueza florística en agroecosistemas de la provincia del Azuay, parroquia Cutchil – Sígsig.

1.1.2 Objetivos específicos del proyecto.

- Definir el carbono a partir de la biomasa aérea, diversidad y riqueza de los sistemas de producción agroforestales.

UCUENCA

- Analizar la eficiencia energética de los sistemas agroproductivos.
- Tipificar los sistemas de producción en función de tres usos de suelo imperantes en la zona: sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y sistemas de pastizales para evaluar la variación de diversidad, riqueza y carbono aéreo en sistemas agroforestales de la parroquia Cutchil.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Existe relación entre la riqueza, el carbono y la eficiencia energética de los sistemas de producción agroforestales?

¿Existe variación de la eficiencia energética en los sistemas de producción analizados?

2 CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas de producción agropecuarios.

Los agricultores conciben a sus fincas, sean estas pequeñas unidades de producción destinadas a la subsistencia, como sistemas en sí mismas. Un sistema de producción agropecuaria, por su parte, se define como el conglomerado de sistemas de fincas individuales, que en su conjunto presentan una base de recursos, patrones empresariales, sistemas de subsistencia y limitaciones familiares similares; y para los cuales serían apropiadas estrategias de desarrollo e intervenciones también similares (Dixon et al., 2001).

Los sistemas de finca se caracterizan porque comprenden la producción y consumo de bienes y servicios en la finca propiamente dicha (parcelas, establos) y en el hogar finquero, hay un intercambio entre la producción externa y la producción interna (Camino et al., 1993).

2.1.1 Cultivos de ciclo corto.

Los cultivos de ciclo corto son aquellos cultivos que presentan un ciclo vegetativo menor a un año, llegando a efectuarse incluso en pocos meses, donde se puede volver a sembrar luego de

UCUENCA

cosecharse. Los cultivos de ciclo corto constituyen la principal fuente de ingreso a los productores a nivel mundial, por la diversidad de productos y valor nutritivo que poseen las plantaciones y que a su vez son cosechadas en cortos periodos de tiempo y que en nuestro país son considerados como cultivos transitorios. (Palma, 2020).

2.1.2 Pastizales.

La ganadería en el Ecuador depende del pastoreo, los pastos a más de constituir el alimento más barato disponible para la alimentación del ganado, ofrecen todos los nutrientes necesarios para un buen desempeño animal. Los pastos y los forrajes son cultivos conjugados entre gramíneas y leguminosas, por lo tanto, para su producción y manejo se necesitan bases agrícolas, pero su aprovechamiento es con y para los animales. Los pastizales están formadas por pastos nativos y/o exóticos que se han naturalizado, mientras que, las pasturas son tierras cultivadas con plantas forrajeras mejoradas, su principal destino debiese ser la utilización en pastoreo directo (León et al., 2018).

2.1.3 Sistemas agroforestales (SAF).

Los sistemas agroforestales (SAF), se definen como aquellos sistemas de uso de la tierra donde especies leñosas perennes se usan y manejan junto con cultivos agrícolas y animales, donde se producen interacciones ecológicas y económicas entre los componentes que son resultado de los arreglos espaciales y temporales. Los sistemas agroforestales también son importantes reservorios de carbono en el tiempo, mismos que dependen de la productividad, la finalidad para la cual se hayan diseñado y las condiciones ambientales bajo las que se desarrollan, además de ser una fuente de alimento para los dueños y proporcionar alimento para animales (Nair, 1993).

2.2 Almacenamiento de carbono.

El dióxido de carbono (CO₂) es el GEI que más contribuye al calentamiento global. El aumento excesivo provoca problemas ambientales globales y trastornos importantes que modifican los procesos naturales y dinámicas en los componentes del ecosistema. Una forma de mitigar sus efectos es almacenarlo en la biomasa a través de la fotosíntesis (Avila et al., 2001; Conde et al., 2007).

UCUENCA

2.2.1 La biomasa arbórea y el carbono.

La biomasa arbórea (BA) se refiere a la cantidad total de materia orgánica seca y que es expresada en toneladas por unidad de área, donde uno de los componentes es la biomasa aérea. Para poder determinar el carbono de los componentes de la BA se multiplica por el 0,5 debido a que el 50% del material vegetal está conformado por carbono (Castañeda et al., 2017).

2.2.2 Biomasa aérea.

La biomasa aérea es parte de la biomasa arbórea que comprende la biomasa de tallos, ramas y hojas de árboles. En la fotosíntesis, el dióxido de carbono atmosférico es absorbido por las plantas para convertir la energía solar en energía química aprovechable para su desarrollo, y al mismo tiempo van almacenando grandes cantidades de carbono en su biomasa aérea (Cuenca et al., 2017; Klinge et al., 1975). La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Schulze et al., 2000).

2.2.3 Estimación de biomasa aérea mediante modelos alométricos.

Los modelos alométricos son métodos indirectos no destructivos y más prácticos para obtener la biomasa aérea de los árboles. Estos modelos utilizan variables dasométricas como: DAP, altura del árbol y densidad de la madera. Las relaciones alométricas se han utilizado en especies forestales de clima templado-frío para estimar la biomasa aérea total a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP; 1.30 m). Esto permite calcular el carbono almacenado en la biomasa total de cada árbol, basado en ecuaciones alométricas previamente derivadas (Bartelink, 1996; Brown et al., 1997; Chave et al., 2014).

2.2.4 Carbono en sistemas agroforestales.

Ortiz et al. (2008), demostraron en su estudio sobre almacenamiento y fijación de carbono en SAF, que en promedio un SAF con árbol de laurel acumula 1.86 t de biomasa en condiciones de valle y 3.97 t en loma en 25 años. Un árbol de cacao con diámetro de 30 cm, altura de 5 m, a los 25 años de edad, con incrementos de 1.1 cm por año; puede acumular, en promedio, 22 kg de biomasa.

UCUENCA

Cerda (2011), investigó sobre la fijación y almacenamiento de carbono en los cacaotales a los 7 años de Valle del Cielo Guatemala, a través de modelos para estimación de carbono donde encontró 1.93 t C/ha. Según este autor, en su proyecto “Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao de Centroamérica”, la mayor acumulación de carbono se da hasta los primeros 10 años de edad.

Concha et al. (2007) determinaron que la edad del sistema agroforestal y densidad de árboles forestales son las variables que indican una correlación significativa con el potencial de carbono almacenado. Los sistemas agroforestales de cacao asociados con especies forestales maderables, frutales e industriales son los sistemas que presentan mayor eficiencia en la fijación de carbono, además la captura de carbono fue mayor en la biomasa arbórea de los árboles vivos en donde los sistemas agroforestales de 12 y 20 años presentan reservas de carbono por encima de los 40 t C ha⁻¹; mientras que los sistemas de 5 años se encuentran con reservas de carbono por debajo de los 30 t C ha⁻¹.

Zavala et al. (2018) investigó sobre la influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono encontró valores similares y concluyó que el mayor almacenamiento de carbono en la biomasa aérea se obtuvo en el sistema agroforestal mayor de 16 años 285,16 t C/ha, seguido por el sistema agroforestal entre 8 y 16 años, con 116,23 t C/ha, y el menor almacenamiento de carbono en la biomasa aérea lo presentó el sistema agroforestal menor de 8 años con 88,75 t C/ha. Poveda et al. (2013) demostró que el almacenamiento de carbono por componente de biomasa aérea es de 35.9% en sistemas agroforestales de cacao mediante el uso de ecuaciones alométricas para el cálculo de biomasa aérea en los árboles.

Herbas et al. (2018) mostró en su estudio sobre fijación de carbono en 10 sistemas agroforestales dinámicos (SAFD) que la combinación de árbol frutal, árbol nativo más la compañía de un árbol introducido generó mayor acumulación y fijación de carbono en la parcela a partir de la biomasa. La especie que más aporta al total es el manzano con una acumulación de 14,04 t ha⁻¹ con la presencia de 67 individuos distribuidos entre hileras, seguido de tagasaste (*Cytisus proliferus*.), tecomá (*Tecoma stans*.) y cedro colorado (*Cedrela fissilis*.).

La diversificación de cultivos en los sistemas agroforestales puede aumentar el rendimiento y la producción de servicios ecosistémicos (Malézieux et al., 2009). Los estudios sobre la relación

de la diversidad con el carbono sugieren que una alta diversidad de plantas promueve el almacenamiento de C por encima del suelo en un ecosistema (Cong et al., 2014). Un aumento en la diversidad de plantas mejora la entrada y el almacenamiento de carbono a través de la producción de biomasa aérea (Wu et al., 2020). La cantidad total de C secuestrado en un SAF puede depender de una serie de factores, incluidos el origen y las especies de árboles y el tipo de uso de la tierra agrícola adyacente, la edad de los árboles, la densidad del rodal y la diversidad de especies de árboles (Ma et al., 2020).

2.3 Biodiversidad.

Según Altieri et al. (2005) citado por Stupino et al. (2014) “La biodiversidad constituye todas las especies de plantas, animales y microorganismos existentes que interactúan dentro de un ecosistema. En todos los agroecosistemas, los polinizadores, los enemigos naturales, las lombrices de tierra y los microorganismos del suelo son componentes clave de la biodiversidad y juegan papeles ecológicos importantes, al mediar procesos como la introgresión genética, el control natural, el reciclaje de nutrientes, la descomposición, entre otros”.

La biodiversidad agrícola es el indicador de mayor importancia para la sostenibilidad general de los agroecosistemas; ella refleja en su relación directa o indirecta, los cambios que ocurren a favor o en contra de la sostenibilidad, su riqueza natural actual y futura, es seguridad económica, alimentaria, de producción, de negociación y seguridad alimentaria para las generaciones presentes y futuras (Brack, 2005). Cada vez hay más evidencia empírica de que la diversidad funcional es la clave para entender la relación entre la diversidad, la estructura de las comunidades y el funcionamiento de los ecosistemas (Hooper, 2005; McGill et al., 2006).

En las últimas décadas los sistemas agroforestales (SAF) han demostrado incrementar múltiples servicios ecosistémicos (SE), respecto a los sistemas tradicionales. Es por ello que algunos autores han reconocido la importancia de los SAFs como una alternativa para proveer SE como la producción de madera, frutas o forrajes, secuestro y aumentando los ingresos del productor por el aprovechamiento de productos maderables y no maderables (Andrade et al., 2003; Suárez et al., 2002).

Los agroecosistemas biodiversos, que combinan especies leñosas perennes y cultivos agrícolas como los sistemas agroforestales (SAF), han ganado gran importancia en los últimos años, porque promueven la biodiversidad y servicios ecosistémicos, además de producir alimentos, generan ingresos económicos y mayor satisfacción a los agricultores (Zomer et al., 2016). Las prácticas agroforestales tienen el potencial para contribuir a la mitigación del cambio climático, mediante el secuestro del carbono en la vegetación y en el suelo (Watson et al., 2000). El potencial de almacenamiento de carbono depende del tipo de práctica agroforestal, composición florística y manejo (Kumar, 2006).

2.3.1 Diversidad y Riqueza Específica.

La diversidad florística es un atributo que permite comprender y realizar comparaciones según dos componentes o atributos de la vegetación. La riqueza específica se mide como el número de especies presentes en una comunidad y la equitatividad que es la relación que existen entre el número de individuos que posee cada especie (Cano, 2009; Magurran, 1988). La diversidad alfa es la diversidad de especies a nivel local, la diversidad gama es la diversidad de especies a nivel regional y la diversidad beta es la relación entre ambas (Whittaker, 1960).

2.3.1.1 Índice de riqueza de Margalef.

El índice de Margalef evalúa la riqueza de especies (número total de especies en cada muestra) y se calcula usando el número absoluto de individuos o la densidad (Magurran, 2004).

Índice de riqueza de Margalef, $d = S - 1 / \ln N$ (Margalef, 1968).

Aquí, d es el índice de riqueza, S es el número total de especies y N es el número total de individuos en la muestra.

Tabla 1. Valores de significancia para la riqueza específica (Índice de Margalef).

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

Fuente: Margalef (1995).

2.3.2 Diversidad alfa de Shannon.

El índice de Shannon-Wiener considera no solo el número de especies sino su representación (cuantos individuos por especie). Este índice requiere que todas las especies estén representadas en la muestra y es muy susceptible a la abundancia (Magurran, 1988). La mayor limitante es que no contempla la distribución de las especies en el espacio.

El índice de Shannon-Wiener (H) procede de la teoría de la información y mide la diversidad como:

$$H = -\sum p_i \ln(p_i) \quad p_i = n_i / N$$

Donde n_i es el número de individuos de la especie i y N es la abundancia total de las especies. El valor de H se encuentra acotado entre 0 y $\ln(s)$, tiende a cero en comunidades poco diversas y es igual al logaritmo de la riqueza específica en comunidades de máxima equitatividad (Soler et al., 2012).

Tabla 2. Valores de significancia para el índice de Shannon-Wiener.

Valores	Significancia
< 2	Diversidad baja
2 – 3.5	Diversidad media
> 3.5	Diversidad alta

Fuente: (Margalef, 1972).

2.3.3 Dominancia Simpson.

El índice de Simpson es la probabilidad de que dos individuos extraídos al azar de un conjunto pertenezcan a la misma especie. Como tal, es una medida de dominancia, y para un conjunto altamente dominado (es decir, muy desigual) la probabilidad de obtener dos individuos de la misma especie será alta (cerca de 1). Para un conjunto completamente uniforme, en el que todos los individuos pertenecen a especies diferentes, la probabilidad de extraer dos individuos de la

UCUENCA

misma especie será 0 (Sommerfield et al., 2008). El índice de Simpson varía inversamente con la heterogeneidad; por ejemplo, los valores del índice decrecen o aumentan según aumente o decrezca la diversidad. Es en realidad un índice de dominancia, sobrevalora las especies más abundantes en detrimento de la riqueza total.

El índice de Simpson (D) mide la diversidad como $D = \Sigma 1/(p_i^2)$.

El valor de D se encuentra acotado entre 0 y s, tiende a cero en comunidades poco diversas, y es igual a la riqueza específica (s) en comunidades de máxima equitatividad ($E = \Sigma 1/(s * p_i^2)$) (Soler et al., 2012).

Tabla 3. Valores de significancia para el índice de dominancia de Simpson.

Valores	Significancia
0 – 0.35	Diversidad baja
0.36 – 0.75	Diversidad media
0.76 - 1	Diversidad alta

Fuente: (Magurran, 2004).

2.3.4 Diversidad beta de Simpson.

Este índice identifica la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar sean de la misma especie (Villareal et al., 2004).

La diversidad beta se determinó mediante índice de similitud de Jaccard cuyos datos cualitativos se basan en la presencia o ausencia de las especies entre dos conjuntos de datos (Magurran, 1988).

2.4 Eficiencia energética.

(Hernanz, 2006) citado por Sánchez Salinas (2017) define la eficiencia energética como “el cociente entre la energía calórica contenida en el producto final multiplicada por el rendimiento final de los cultivos y la energía requerida para su producción”.

UCUENCA

La nueva agricultura necesita de aportes de energía fósil para el uso directo en maquinaria agrícola, agua de riego, operaciones de cultivo y cosecha. También se debe contabilizar el uso de energía a través fertilizantes minerales, insecticidas y herbicidas, considerado como empleo de energía indirecto. En general todos los agrosistemas requieren de cantidades altas y crecientes de insumos (Denoia et al., 2006), como resultado se emplean elevados costos energéticos. El empleo de tecnología en fertilización y control de adversidades, sumado al mejoramiento tiene como consecuente el incremento de rendimientos y por lo tanto más las salidas de los agrosistemas (Bonel et al., 2005).

Canakci et al. (2005) informaron que la relación producto-insumo para la producción de cultivos extensivos y hortalizas en Turquía fue 0,6 para verdura. Kuswardhani et al. (2013) mostraron que la producción de lechuga en campo abierto tiene mayor productividad energética, siendo esta de 0.69 kg/MJ y la energía específica fue de 1.45 MJ/kg lo que implica que, para producir 1 kg de lechuga, se necesita la menor cantidad de entrada de energía que otras hortalizas en la producción de vegetales de campo abierto. Por lo tanto, el aporte total de energía de la lechuga en la producción de hortalizas en campo abierto contribuye relativamente más al rendimiento en comparación con otros cultivos.

Según Zea et al. (2020) la eficiencia de producción en los sistemas agrícolas podría ayudar a identificar procesos que podrían mejorarse para mantener estos sistemas sostenibles. Además, la caracterización de los sistemas de producción podría ser útil para diseñar localmente tecnologías apropiadas para mejorar la sostenibilidad de los productos agrícolas, en ese estudio investigaron la eficiencia energética de fincas de pequeños productores de hortalizas en Cuenca (Ecuador) y concluyeron que la mayoría de las explotaciones hortícolas caracterizadas produjeron balances energéticos negativos. Probablemente varias entradas utilizan cantidades excesivas que conducen a una reducción de eficiencias energéticas y escasas ganancias.

Caldas et al. (2020) concluyó que en la microcuenca del río Cutilcay los sistemas de producción agrícolas pertenecientes a los tipos de producción frutícola, mixto y hortícola se caracterizan por ser sostenibles y eficientes, además, la mayoría de los sistemas de producción evaluados presentaron un balance energético positivo. También Sánchez Salinas (2017) mostró que la mayoría de cultivos hortícolas pertenecientes a San Joaquín-Azuay tuvieron una alta productividad

UCUENCA

energética y también una alta eficiencia energética, además el cultivo que más eficiencia energética obtuvo anualmente en las diferentes fincas evaluadas fue el ajo con 4,63 debido a su alto contenido energético y el cultivo que menor eficiencia energética tuvo fue el cebollín con 0,58 debido a la gran demanda de energía que requiere especialmente en su semilla.

Aydın et al. (2018) en su investigación sobre eficiencia en el uso de energía en la producción de durazno en Turquía, revelaron que el uso total de energía en la producción de durazno fue de 28416,08 MJ ha⁻¹ y la producción total de energía de la producción se calculó en 28800 MJ ha⁻¹. La eficiencia en el uso de energía en la producción de durazno al aplicar y no aplicar buenas prácticas agrícolas se encontró de 1.01 y 0.66. Además, los resultados mostraron que el mayor aporte energético lo proporcionaron los fertilizantes con un 26.88%. De manera similar, en estudios previos en la producción de manzanas en Turquía la eficiencia energética fue de 1,63 (Ekinci et al., 2005) y para la producción de duraznos en la provincia iraní de Golestán la eficiencia energética fue de 0.93 (Royan et al., 2012), los investigadores informaron que los fertilizantes tenían uno de los mayores consumos de energía.

Un sistema energéticamente eficiente produce una mayor producción por unidad de energía consumida. El uso juicioso de la energía en la agricultura conduce a sistemas de producción sostenibles. Los sistemas de producción agrícola deben ser eficientes en términos de uso de recursos y energía (Pretty et al., 2008). La reducción de los insumos energéticos y la mejora de la eficiencia en el uso son cruciales para garantizar la seguridad energética en los sistemas de producción agrícola (Yadav et al., 2021). Rathore et al. (2022) demostraron que los sistemas de cultivo con un manejo orgánico integrado y manejo integrado de cultivos registraron una alta productividad y eficiencia energética, concluyendo que son viables y eficientes en energía.

3 CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio.

La parroquia rural de Cutchil se encuentra ubicada en la parte sur-este del cantón Sígsig, localizado a una distancia de 74 kilómetros desde la ciudad de Cuenca; esta parroquia es considerada como puerta al oriente, por el acceso de la vía Sígsig-Gualaquiza. Esta parroquia cubre

UCUENCA

una amplia extensión, de 138.9 kilómetros cuadrados, ocupa el 21.1% del territorio cantonal. Las altitudes en la parroquia comprenden los rangos entre los 2400 m s.n.m en su parte más baja y 3900 m s.n.m en su parte más alta. La parte más baja de la parroquia se sitúa en el río Santa Bárbara en el límite con la parroquia Sígsig, mientras que la parte más alta se encuentra ubicada en los páramos de la parroquia (Ordóñez et al., 2011).

3.1.1. Mapa de la parroquia Cutchil.

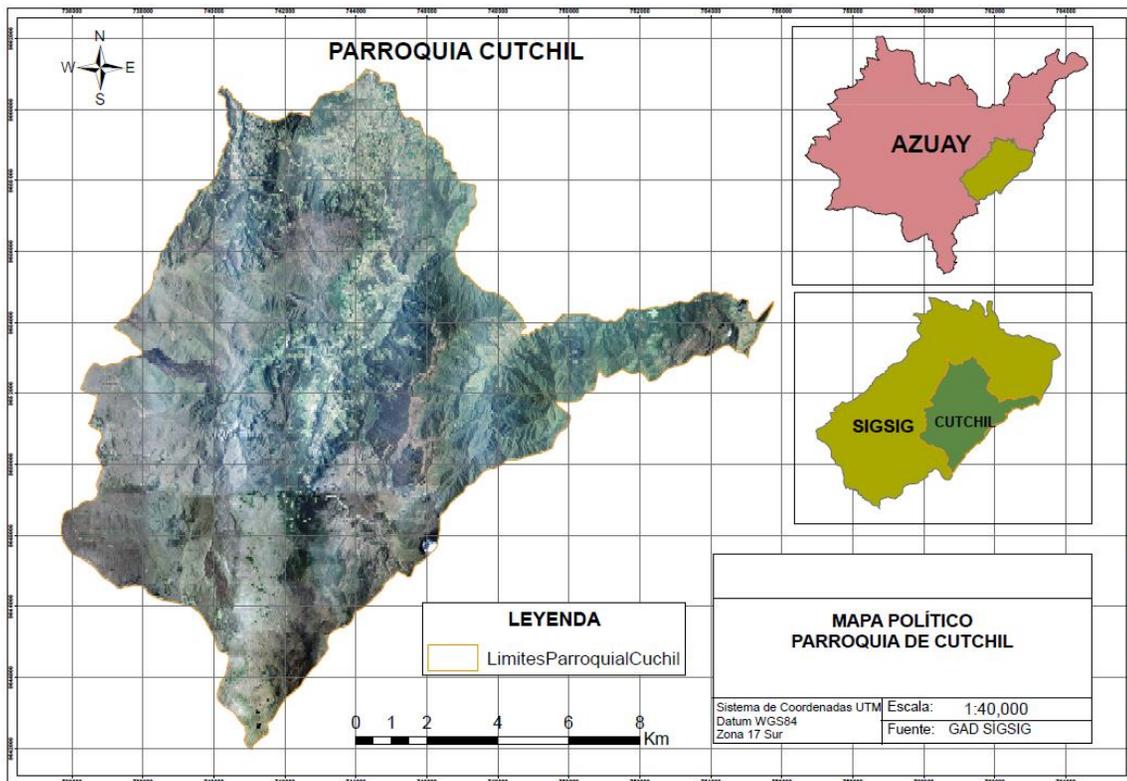


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. La parroquia Cutchil está ubicada en el cantón Sígsig de la provincia del Azuay.

Fuente: (GAD Sígsig, 2021).

Las parcelas dentro del área de estudio fueron evaluadas con los siguientes materiales y equipos: Encuestas, GPS, libreta de campo, lápices, borrador, cinta diamétrica, computador, cámara digital, impresora, Arcgis 10.2.2, Microsoft office, memoria USB.

UCUENCA

3.1.1 Ubicación política-geográfica del área de estudio.

La parroquia Cutchil se encuentra ubicada: Al Norte: Las parroquias San Sebastián de Sígsig y San Bartolomé. Al Sur: La parroquia de Jima. Al Este: La provincia de Morona Santiago con su cantón Gualaquiza y su parroquia Chigiüinda. Al Oeste: Jima, San José de Raranga, Ludo y San Bartolomé, con las coordenadas en 3°04'28.9"S 78°46'59.1"W. (Castillo Corozo et al., 2020).

3.1.2 Caracterización de los aspectos ecológicos.

La parroquia Cutchil es de clima subtropical interandino, en este piso climático se encuentra su asentamiento poblacional, su temperatura promedio varía de 15°C a 20°C, su precipitación es de 700 a 1700 mm. Tiene tres pisos altitudinales: Montano, Montano Alto, Montano Alto Superior, las altitudes en la parroquia comprenden los rangos entre los 2400 m s.n.m. en su parte más baja y 3900 m s.n.m. en su parte más alta (Crespo, 2018).

3.1.3 Determinación del universo.

Para la identificación y selección de los tipos de finca dentro de la parroquia Cutchil se obtuvo información georreferenciada a partir de los catastros prediales urbano y rural proporcionados por el GAD de Sígsig mediante el departamento de Avalúos y Catastros.

Para evitar variabilidad en los datos se seleccionaron predios $>5000\text{m}^2$ y que hayan sido de uso agrícola, por lo que el universo encontrado fue de 789 predios de uso agrícola distribuidos entre pastizales, agroforestales y cultivos de ciclo corto; luego se obtuvo el tamaño de la muestra de un universo conocido, siendo esta de 259 predios en esta investigación.

Para contrastar la información proporcionada por el GAD de Sígsig se realizó un recorrido dentro de toda la parroquia, en donde se contabilizaron y seleccionaron predios de uso agrícola que son utilizados de manera frecuente, por lo que el universo encontrado fue de 152 predios distribuidos entre pastizales, agroforestales y cultivos de ciclo corto; luego se obtuvo el tamaño de la muestra de un universo conocido, siendo esta de 115 predios en esta investigación.

3.1.4 La muestra y el método del muestreo.

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2pq}} \quad n = \frac{162}{1 + \frac{0.05^2(N-1)}{1.96^2 * 0.5 * 0.5}} = 115$$

n= Tamaño de la muestra que deseamos conocer.

N=Tamaño conocido de la población.

z= Nivel de confianza.

e= Margen de error.

p= Probabilidad de éxito.

q= Probabilidad de fracaso.

N= 95

z= 95% (1.96)

e= 5% (0.05)

p= 0.5

La muestra para esta investigación tuvo un 95% de nivel de confianza y un margen de error del 5% (0.05).

El número de muestras para los sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y sistemas de pastizales fueron de 32, 39, 44 respectivamente.

El levantamiento de información de los sistemas de producción fue mediante encuestas, tablas de estimadores y recorridos dentro de cada predio agrícola productivo para medir el número y tipo de especies; además se obtuvo información requerida para categorizar, analizar y definir los tipos de finca, el análisis de eficiencia energética y la riqueza, diversidad y carbono alométrico. Se realizó un análisis observacional cualitativo cuyos resultados fueron expuestos a pruebas estadísticas.

3.2 Metodología para el objetivo específico 1. Definir el carbono a partir de la biomasa aérea, diversidad y riqueza de los sistemas de producción agroforestales.

Para estimar la cantidad de carbono, la riqueza y diversidad de especies se evaluó la cantidad de especies, riqueza de especies y cantidad de carbono en 32 predios de sistemas agroforestales

UCUENCA

que fueron clasificados según tres rangos de alturas impuestas (Baja, Media, Alta). Se definieron parcelas de 400 m² (20m x 20m) según (Yepes et al., 2011), y se elaboraron mediciones de número y tipo de especies. En cada sistema agroforestal se seleccionó una parcela de 400 m², en donde se muestreó el contenido de carbono alométrico del dosel aéreo, en cada parcela se midió y registró el DAP (1.3 m) del fuste sobre el suelo de plantas agroforestales mayores o iguales a 10 cm de diámetro con una cinta diamétrica, además se midió la altura total de toda la vegetación agroforestal leñosa dentro de la parcela de acuerdo a la metodología de Poveda et al. (2013).

Por medio de un modelo alométrico se estimó la biomasa aérea de las plantas agroforestales generado por (Chave et al., 2014). El carbono almacenado en las plantas agroforestales se calculó de acuerdo los coeficientes planteados por cada especie:

Tabla 4. Ecuaciones alométricas utilizadas para la estimación de biomasa arriba del suelo en los sistemas agroforestales pertenecientes a la parroquia de Cutchil.

Especies	Ecuación	Fuente
Árboles montanos andinos.	Biomasa aérea = 0,0673 x (densidad de la madera × DAP ² × altura del árbol) ^{0.976}	(Chave et al., 2014)
Carbono almacenado	CA = B*Fc	(IPCC, 2003)

Donde: Bt=biomasa total arriba del suelo (kg árbol-1); dap=diámetro a 1,30 m del suelo (cm); H= altura del árbol (m); CA=carbono almacenado (t/ha); B=biomasa (t/ha); Fc=fracción carbono (t/ha).

Para obtener la riqueza específica y la diversidad de especies se utilizaron los siguientes índices donde se obtuvo la riqueza específica, la diversidad alfa de Shannon, la dominancia de Simpson, diversidad beta de Simpson, diversidad beta de Jaccard. Los modelos matemáticos utilizados fueron los siguientes:

Tabla 5. Modelos matemáticos para el procesamiento de datos.

Riqueza Específica =	$N \text{ de especies} - 1 / \ln N \text{ individuos}$
Diversidad alfa de Shannon =	$-\sum PI \log_2 PI$
Dominancia Simpson =	$1 / \sum PI^2$
Diversidad beta de Simpson =	$\sum Q1 \text{ de cada comunidad} * \sum PI^2 - \sum PI^2$
Diversidad beta de Jaccard =	$2 * \text{especies comunes (n individuos presentes)} / N \text{ especies de a} + N \text{ especies de b}$

3.3 Metodología para el objetivo específico 2. Analizar la eficiencia energética de los sistemas agroproductivos.

En el segundo objetivo el parámetro estimado fue la eficiencia energética en los sistemas de producción (agroforestales, cultivos de ciclo corto y pastos), dando un total de 115 fincas donde se realizó un análisis de eficiencia energética a partir de las entradas y salidas de energía (Tabla 6). Mediante observaciones directas y/o mediciones in situ a partir de recorridos en los sistemas de producción respectivamente, además de una encuesta (ver, anexo 1) debidamente estructurada donde el cuestionario fue diseñado para registrar el gasto y frecuencia de uso de todas las entradas y todo el uso de energía de los sistemas de producción. Además, la diversidad de cultivos y tipos de tecnologías utilizadas en los sistemas de producción también fueron registrados. Se recopilaron datos para los cultivos presentes en los sistemas en el momento de la encuesta, que luego fueron utilizados con datos existentes de eficiencia energética de acuerdo a la metodología de (Bojacá et al., 2012).

Tabla 6. Variables e indicadores de entradas y salidas para estimar la eficiencia energética de los sistemas de producción en la parroquia de Cutchil.

	Variables	Indicadores
SALIDAS	Sistema de producción	- Cantidad producida en kilogramos.

ENTRADAS		
	Insumos agrícolas.	Cantidad de insumos agrícolas en kilogramos.
	Herramientas, equipos e instalaciones.	Cantidad de horas de uso de herramientas.
	Agua potable, agua de riego.	Cantidad (m ³) de agua
	Trabajo de jornales.	Cantidad de horas.
	Trabajo animal.	Cantidad de horas.

La cantidad de insumos utilizados fueron transformados a sus equivalentes de energía utilizando coeficientes de eficiencia energética por kilogramos de producto cosechado/sembrado. Los insumos fueron ordenados en las siguientes categorías: fertilizantes orgánicos, fertilizantes sintéticos y agroquímicos (herbicidas, fungicidas e insecticidas) (Tabla 7), trabajo animal, trabajo humano, cal, semillas, trasplantes, agua (Tabla 8). Del mismo modo, los productos (cultivos cosechados) se transformaron a sus equivalentes de energía multiplicando la cantidad producida por su contenido energético extraído de las fuentes citadas (Tabla 9).

Tabla 7. Coeficientes de eficiencia energética por kilogramo de fertilizantes sintéticos y orgánicos

Fertilizantes Químicos			
Producto	kg	MJ	Bibliografía
Azufre	1	1.12	(Kumar et al., 2021)
Boro	1	18.2	(Kavargiris et al., 2009)
Calcio	1	8.8	(Pimentel, 1980; Strapatsa et al., 2006)
Fosforo	1	12.44	(Unakitan et al., 2010)
Magnesio	1	8.8	(Kavargiris et al., 2009)
Microelementos	1	120	(Mandal et al., 2002)
Nitrógeno	1	66.14	(Unakitan et al., 2010)
Potasio	1	11.15	(Unakitan et al., 2010)
Zinc	1	8.4	(Pimentel, 1980; Strapatsa et al., 2006)
Fertilizantes Orgánicos			
Abonaza	1	13.38	(MAG, 2020)
Abono de gallina	1	0.3	(Singh, 2002)
Biol	1L	0.26	(Astier et al., 2014)
Cal	1	4.94	(MAG, 2020)
Compost	1	0.48	(Astier et al., 2014)
Gallinaza	1	11.91	(MAG, 2020)

Materia orgánica	1	16.7	(Margalef, 1993)
Pesticidas			
Fungicidas	1	276	(Unakitan et al., 2010)
Herbicidas	1	288	(Unakitan et al., 2010)
Insecticidas	1	278	(Unakitan et al., 2010)

Tabla 8. Coeficientes de ingreso de energía por unidad.

Ingreso de energía			
Producto	Unidad	MJ	Bibliografía
Agua de riego	m ³	1.02	(Mohammadi et al., 2010)
Mano de obra	h	1.96	(Yaldiz et al., 1993)
Maquinaria	h	62.7	(Yaldiz et al., 1993)
Plántulas	unidad	0.8	(Romanelli et al., 2010)
Semilla de tubérculos	Kg	14.7	(Ozkan et al., 2004)
Semilla Oleaginosa	Kg	3.6	(Ozkan et al., 2004)
Semillas Cereales y legumbres	Kg	25	(Ozkan et al., 2004)
Trabajo animal (bovino)	h	5.05	(Ozkan et al., 2004)
Mano de obra en ganadería	h	0.58	(Pérez et al., 2014)

Tabla 9. Coeficientes de eficiencia energética por kilogramos de producto cosechado.

Autor: Bryam Jiménez.

Salidas de energía				
Producto	Nombre Científico	kg	MJ	Bibliografía
Acelga	<i>Beta vulgaris var. cicla.</i>	1	0.79	(Schramski et al., 2013)
Aguacate	<i>Persea americana.</i>	1	8.83	(Astier et al., 2014)
Ají	<i>Capsicum annuum.</i>	1	0.8	(Kuswardhani et al., 2013)
Ajo	<i>Allium sativum.</i>	1	6.23	(Schramski et al., 2013)
Alfalfa	<i>Medicago sativa.</i>	1	15.8	(Tsatsarelis et al., 1994)
Arveja	<i>Pisum sativum.</i>	1	1.76	(Schramski et al., 2013)
Avena	<i>Avena sativa.</i>	1	14.7	(Ozkan et al., 2004)
Babaco	<i>Vasconcellea × heilbornii.</i>	1	1.9	(Ozkan et al., 2004)
Brócoli	<i>Brassica oleracea var. italica.</i>	1	1.41	(Schramski et al., 2013)
Camote	<i>Ipomoea batatas.</i>	1	9	(Claessens et al., 2008)
Cáñaro	<i>Erythrina edulis.</i>	1	14.7	(Ozkan et al., 2004)
Capulí	<i>Prunus salicifolia.</i>	1	1.9	(Ozkan et al., 2004)
Carne vacuno	<i>Bos taurus.</i>	1	10.48	(Delgado et al., 2005)
Cebada	<i>Hordeum vulgare.</i>	1	15.976	(Fokaidis et al., 2015)
Cebolla	<i>Allium cepa.</i>	1	1.6	(Ozkan et al., 2004)
Cilantro	<i>Coriandrum sativum.</i>	1	0.95	(Schramski et al., 2013)
Claveles	<i>Dianthus caryophyllus.</i>	1	0.18	(Litskas et al., 2019)
Col	<i>Brassica oleracea var. capitata.</i>	1	1.34	(Schramski et al., 2013)
Coliflor	<i>Brassica oleracea var. botrytis.</i>	1	1.04	(Schramski et al., 2013)
Durazno	<i>Prunus persica.</i>	1	3.64	(Aydın et al., 2018)
Escancel	<i>Aerva sanguinolenta.</i>	1	0.18	(Litskas et al., 2019)
Espinaca	<i>Spinacia oleracea.</i>	1	0.97	(Schramski et al., 2013)
Fréjol	<i>Phaseolus vulgaris.</i>	1	17.1	(Nautiyal et al., 2007)
Fresa	<i>Fragaria vesca.</i>	1	1.058	(Defra, 2005)
Granadilla	<i>Passiflora ligularis.</i>	1	1.9	(Ozkan et al., 2004)
Haba	<i>Vicia faba.</i>	1	20	(Šarauskis et al., 2020)
Higo	<i>Ficus carica 'Mission'.</i>	1	4.84	(Alonso et al., 2010)
Leche		1	2.75	(Beaton, 2006)
Lechuga	<i>Lactuca sativa.</i>	1	1.058	(Defra, 2005)
Limeño	<i>Cucurbita moschata.</i>	1	1.09	(Cristiano, 2021)
Limón	<i>Citrus limon.</i>	1	2.85	(Pergola et al., 2013)
Lúcuma	<i>Pouteria lucuma.</i>	1	1.9	(Ozkan et al., 2004)
Maíz	<i>Zea mays.</i>	1	15.28	(Schramski et al., 2013)
Manzana	<i>Malus domestica.</i>	1	1.79	(Defra, 2005)

UCUENCA

Manzanilla	<i>Chamaemelum nobile.</i>	1	0.18	(Litskas et al., 2019)
Menta	<i>Mentha piperita L.</i>	1	0.18	(Litskas et al., 2019)
Mora	<i>Rubus glaucus.</i>	1	1.9	(Ozkan et al., 2004)
Nabo	<i>Brassica rapa lúcumá L.</i>	1	1.17	(Schramski et al., 2013)
Nogal	<i>Juglans nigra.</i>	1	1.9	(Ozkan et al., 2004)
Papa	<i>Solanum tuberosum.</i>	1	3.18	(Defra, 2007)
Pasto		1	1.8	(Odum, 1984)
Pena	<i>Fuchsia Magellanica Lam.</i>	1	0.18	(Litskas et al., 2019)
Pepino	<i>Cucumis sativus.</i>	1	0.65	(Schramski et al., 2013)
Pera	<i>Pyrus communis.</i>	1	3.71	(Alonso et al., 2010)
Perejil	<i>Petroselinum crispum.</i>	1	1.51	(Schramski et al., 2013)
Pimienta	<i>Capsicum annum.</i>	1	0.84	(Schramski et al., 2013)
Pimpinela	<i>Sanguisorba minor.</i>	1	0.18	(Litskas et al., 2019)
Queso		1	19.25	(Beaton, 2006)
Rábano	<i>Raphanus sativus.</i>	1	0.66	(Schramski et al., 2013)
Reina Claudia Roja	<i>Prunus domestica L.</i>	1	4.11	(Alonso et al., 2010)
Reina Claudia Verde	<i>Prunus domestica subsp. italica.</i>	1	4.11	(Alonso et al., 2010)
Remolacha	<i>Beta vulgaris.</i>	1	1.8	(Schramski et al., 2013)
Repollo	<i>Brassica oleracea var. capitata.</i>	1	1.03	(Schramski et al., 2013)
Romanel	<i>Brassica oleracea var. botrytis</i>	1	1.04	(Schramski et al., 2013)
Sambo	<i>Cucurbita ficifolia</i>	1	1.09	(Cristiano, 2021)
Santa Rosa	<i>Prunus domestica (rosaceae).</i>	1	4.11	(Alonso et al., 2010)
Tomate árbol	<i>Solanum betaceum.</i>	1	1.9	(Ozkan et al., 2004)
Tomate Riñón	<i>Solanum lycopersicum.</i>	1	0.753	(Cristiano, 2021)
Toronjil	<i>Melissa officinalis.</i>	1	0.18	(Litskas et al., 2019)
Trigo	<i>Triticum aestivum.</i>	1	17	(Defra, 2007)
Uvilla	<i>Physalis peruviana.</i>	1	1.9	(Ozkan et al., 2004)
Zanahoria	<i>Daucus carota.</i>	1	1.46	(Defra, 2007)
Zapallo	<i>Cucurbita maxima.</i>	1	1.09	(Cristiano, 2021)
Zucchini	<i>Cucurbita pepo.</i>	1	0.71	(Schramski et al., 2013)

UCUENCA

Los equivalentes de energía de entrada y salida luego se utilizaron para calcular la energía neta (NE) y la eficiencia energética (EE) como en (Bojacá et al., 2012). NE fue calculado como la diferencia entre la equivalencia de energía de todos los productos e insumos de cada explotación (es decir, $NE = \text{Salida de energía} - \text{Entrada de energía}$), mientras que EE fue calculada como la relación entre la equivalencia de energía de todas las salidas y entradas (es decir, $EE = \text{Salida de energía} / \text{Entrada de energía}$). Se consideró que granjas "Energéticamente eficientes" cuando $EE \geq 1$, o "energéticamente ineficientes" cuando $EE < 1$. Se hicieron comparaciones cuantitativamente de la eficiencia energética dentro de cada sistema de producción y entre sistemas de producción.

3.4 Metodología para el objetivo específico 3. Tipificar los sistemas de producción en función de tres usos de suelo imperantes en la zona: sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y sistemas de pastizales para evaluar la variación de diversidad, riqueza y carbono aéreo en sistemas agroforestales de la parroquia Cutchil.

En el tercer objetivo el parámetro estimado fue el tipo de sistema de producción, es así que las variables evaluadas fueron: tamaño del sistema de producción, uso de suelo, especies existentes, tipo de sistema para los tres tipos de sistema de producción respectivamente: Agroforestales, Cultivos de ciclo corto y Sistemas de pastizales, a través de un diagnóstico en campo, ortofotos y mapeo digital pertenecientes a la zona de estudio. Mediante el programa ArcGIS 10.2, se realizó una clasificación y ubicación de los sistemas de producción levantados (Tabla 10).

Tabla 10. El resultado del mapa mostró una clasificación de los sistemas de producción.

	General	Específico
Clasificación de los sistemas de producción.	Sistemas de producción tipificados por:	Sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y sistemas de pastizales
	Distribución de los sistemas de producción estudiados:	Ubicación de los sistemas de producción.

3.4.1 Análisis estadístico de datos.

Para el análisis estadístico de resultados en los objetivos uno, dos y tres, primero se utilizó estadística descriptiva.

En el objetivo 1, se revisaron la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro Wilk en las siguientes variables: Carbono t/ha, Índice de Margalef, Índice de Shannon e Índice de Simpson. En las variables Carbono t/ha, Índice de Margalef e Índice de Shannon, también se evaluó la homocedasticidad mediante la prueba de Levene y se aplicaron pruebas paramétricas (test ANOVA) para evaluar diferencias estadísticas en función de los transectos altitudinales, además, se midieron las relaciones entre Carbono t/ha con edad del sistema agroforestal y Altura m s.n.m. respectivamente, mediante el coeficiente de correlación de Pearson. En la variable Índice de Simpson se realizó un test de Kruskal Wallis para evaluar diferencias estadísticas en función de los transectos altitudinales. La unidad experimental empleada fue la parcela de 400 m²; el número de repeticiones para las categorías medio, alto y bajo fueron respectivamente: 8, 6, 18.

En el objetivo 2, se verificó la normalidad de datos para cada tipo de sistema, mediante la prueba de Shapiro Wilk en las variables: Eficiencia energética, Entradas de energía y salidas de energía, luego se midieron las relaciones entre eficiencia energética con las variables independientes (entradas de energía y salidas de energía) mediante el coeficiente de correlación de Spearman. Además, se revisó la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov en las variables correspondientes a eficiencia energética, entradas de energía, salidas de energía, área de la finca y altura m s.n.m. de la finca a partir de los 115 predios estudiados que estuvieron distribuidos en sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y pasto respectivamente. Luego se realizaron pruebas no paramétricas (test de Kruskal Wallis y prueba de Dunn) para evaluar diferencias estadísticas de eficiencia energética en función de los tipos de sistemas productivos (Agroforestales, cultivos de ciclo corto y pastos). La unidad experimental empleada fue el predio; el número de repeticiones para las categorías agroforestal, cultivo de ciclo corto y pastos fueron respectivamente 32, 39, 44.

4 CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 Definir el carbono a partir de la biomasa aérea, diversidad y riqueza de los sistemas de producción agroforestales.

Los 32 sistemas de producción agroforestales (SAF) estuvieron distribuidos en tres transectos altitudinales (Bajo, Medio, Alto) (Tabla 11). El transecto altitudinal bajo abarcó el 56.25%, seguido del transecto altitudinal medio con 25% y el transecto altitudinal alto con 18.75% de SAF respectivamente.

Tabla 11. Sistemas de producción agroforestales distribuidos en tres transectos altitudinales en función de tres rangos altitudinales.

Transecto altitudinal	Rango altitudinal (m s.n.m)	SAF
Bajo	2445 – 2586	18
Medio	2587 – 2728	8
Alto	2729 – 2871	6

4.1.1 Caracterización de las variables.

La prueba de Shapiro Wilk reveló que los datos presentaron normalidad ($p \geq 0.05$) en las variables correspondientes a Carbono, Índice de Margalef e Índice de Shannon, mientras que el Índice de Simpson no cumplió el supuesto de normalidad ($p < 0.05$) (Tabla 12).

Tabla 12. Prueba de normalidad para las variables a Carbono, Índice de Margalef, Índice de Shannon e Índice de Simpson.

	Shapiro Wilk	
	Estadístico	p- valor
Carbono t/ha	0.97454	0.6327
Índice de Margalef	0.96064	0.2694
Índice de Shannon	0.96928	0.4606
Índice de Simpson	0.93125	0.03798

4.1.2 Carbono a partir de la biomasa aérea.

El análisis de la cuantificación del Carbono almacenado a partir de la biomasa aérea en los 32 sistemas de producción agroforestales mostró una mediana 13.50 t/ha, mientras que para los transectos bajo, medio y alto fueron de 11.82 t/ha, 11.31 t/ha, 15.63 t/ha respectivamente (Tabla 13).

Tabla 13. Carbono almacenado en toneladas por hectárea en los SAF de Cutchil.

Transectos	Carbono almacenado t/ha				
	n	Media	Mediana	D.E.	E. E.
Bajo	18	13.21	11.82	5.90	±1.39
Medio	8	13.11	11.31	6.84	±2.42
Alto	6	16.87	15.63	4.11	±1.68
Total	32	13.87	13.50	5.87	±1.04

Los datos correspondientes a Carbono almacenado presentaron una distribución normal $p=0.6327$ y homocedasticidad $p=0.2278$, por lo que se realizó un test ANOVA para corroborar si existe diferencias estadísticas entre Carbono almacenado en función de los transectos altitudinales, el valor de la prueba fue $p=0.395$ por lo que no existieron diferencias significativas (Figura. 2).

Carbono almacenado en SAF Cutchil

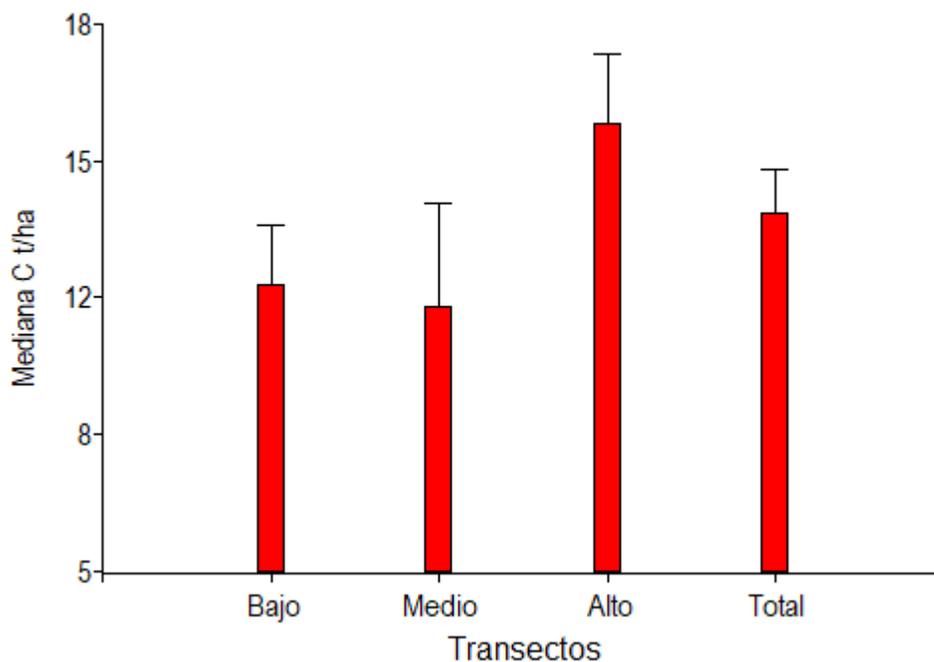


Figura 2. Medianas y Error Estándar del carbono almacenado en la biomasa aérea de los SAF en Cutchil; Transecto: Bajo = 11.82 C t/ha ± 1.39, Medio = 11.31 C t/ha ± 2.42, Alto = 15.63 C t/ha ± 1.68, Total = 13.50 C t/ha ± 1.04.

4.1.2.1 Carbono almacenado en la biomasa aérea de las especies agroforestales de la parroquia Cutchil.

En los sistemas agroforestales, el carbono almacenado por especie mostró que *Malus domestica*. capturó 11.77 t C/ha, *Prunus persica*. 0.77 t C/ha, *Prunus domestica L.* 0.61 t C/ha. y *Pyrus communis*. 0.46 t C/ha. Estas especies están entre las que mayor carbono aéreo capturaron en función del número de individuos (Fig. 3).

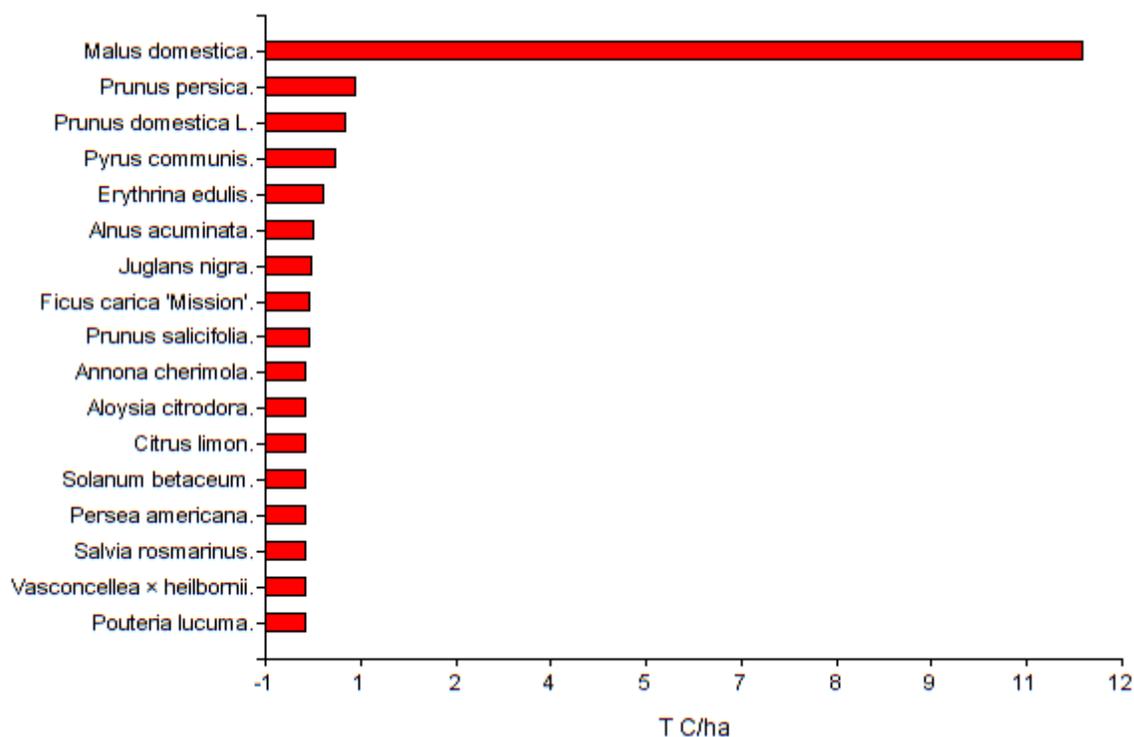


Figura 3. Cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea en los sistemas agroforestales de acuerdo al número de individuos por especie.

4.1.2.2 Correlaciones entre edad del cultivo, altura m s.n.m. y Carbono almacenado.

En los sistemas de producción agroforestal, la correlación entre altura y Carbono almacenado no tuvo significancia estadística $p = 0.2307$ y tampoco un nivel de correlación significativo $r = 0.21$ (Fig.4A). Así mismo, la correlación entre Edad del cultivo y Carbono almacenado no tuvo significancia estadística $p = 0.4822$ y tampoco un nivel de correlación significativo $r = -0.12$ (Fig.4B).

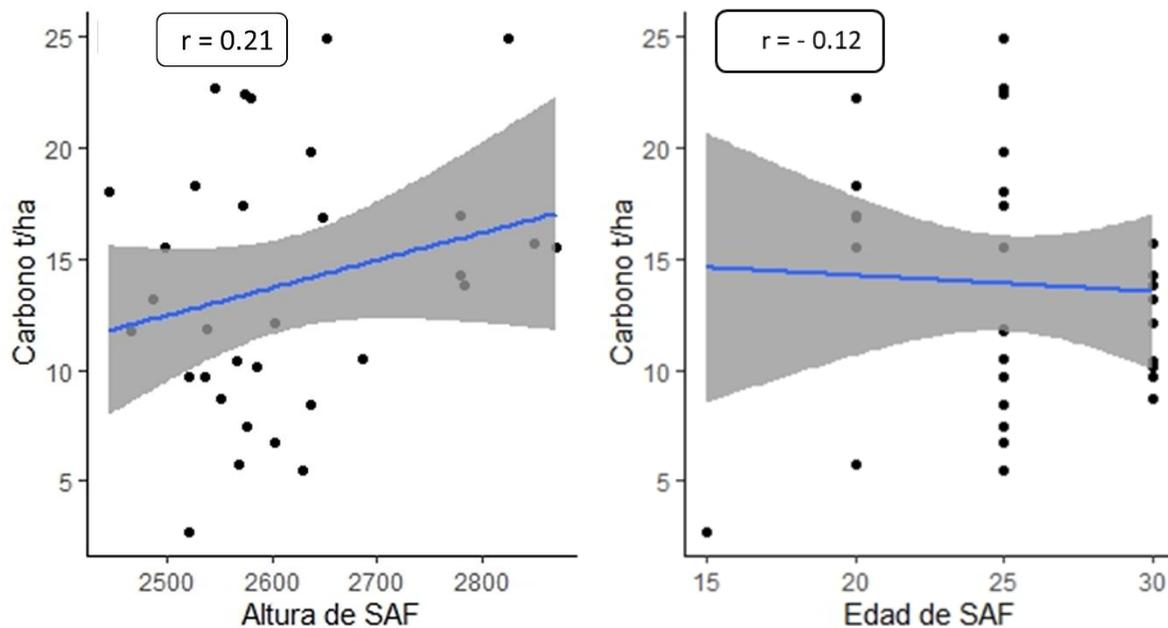


Figura 4. Correlación entre (Altura - Carbono t/ha) y (Edad - Carbono t/ha).

4.1.3 Diversidad y riqueza de los sistemas de producción agroforestales.

En los SAF se registraron 1081 individuos pertenecientes a 13 familias, 15 géneros y 16 especies. La familia con mayor riqueza fue Rosaceae con 5 especies y la cantidad de individuos por especie se distribuyó en *Malus domestica*. con 655 individuos, *Prunus persica*. con 174 individuos, *Prunus domestica*. con 69 individuos, *Pyrus communis*. con 20 y *Prunus salicifolia*. con 7 individuos (Tabla 14).

Tabla 14. Especies agroforestales productivas identificadas dentro de los SAF de Cutchil.

Familia	Especie	Número de Individuos		
		Transecto		
		Bajo	Medio	Alto
Rosaceae	<i>Malus domestica</i> .	360	179	116
Rosaceae	<i>Prunus persica</i> .	131	25	18
Moraceae	<i>Ficus carica</i> 'Mission'.	102	0	0
Rosaceae	<i>Prunus domestica</i> subsp. <i>italica</i> .	43	9	1
Rosaceae	<i>Pyrus communis</i> .	19	1	0

UCUENCA

Rosaceae	<i>Prunus salicifolia.</i>	6	1	0
Solanaceae	<i>Solanum betaceum.</i>	5	0	10
Rutaceae	<i>Citrus limon.</i>	4	0	0
Rosaceae	<i>Prunus domestica</i> (<i>rosaceae</i>).	3	0	2
Juglandaceae	<i>Juglans nigra.</i>	2	0	0
Rosaceae	<i>Prunus domestica L.</i>	2	9	0
Annonaceae	<i>Annona cherimola.</i>	1	0	0
Caricaceae	<i>Vasconcellea × heilbornii.</i>	1	0	0
Lauraceae	<i>Persea americana.</i>	1	0	0
Sapotaceae	<i>Pouteria lucuma.</i>	1	1	0
Betulaceae	<i>Alnus acuminata.</i>	0	8	2
Fabaceae	<i>Erythrina edulis.</i>	0	0	16
Lamiaceae	<i>Salvia rosmarinus.</i>	0	0	1
Verbenaceae	<i>Aloysia citrodora.</i>	0	0	1

4.1.3.1 Diversidad alfa.

En los transectos altitudinales alto, medio y bajo el índice de Margalef mostro un promedio por parcela de 0.68, 0.57, y 0.74 respectivamente. El índice de Shannon mostró un promedio por parcela de 1.08, 0.85 y 1.08 respectivamente. El índice de Simpson mostró una media por parcela de 0.44, 0.32 y 0.40 respectivamente, estos valores indican diversidad media en los transectos alto y bajo y diversidad baja en el transecto medio según los valores de significancia de este índice (Tabla 15).

Tabla 15. Promedios \pm errores estándar para los índices de diversidad alfa en las comunidades evaluadas.

	Transectos altitudinales por parcela		
	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>
Índice de Margalef	0.68 \pm 0.14	0.57 \pm 0.14	0.74 \pm 0.10
Índice de Shannon	1.08 \pm 0.11	0.85 \pm 0.18	1.08 \pm 0.16
Índice de Simpson	0.44 \pm 0.05	0.32 \pm 0.07	0.40 \pm 0.06

UCUENCA

Los datos correspondientes a índice de Margalef y Shannon presentaron una distribución normal de $p = 0.2694$ y $p = 0.4606$ respectivamente y homocedasticidad de $p = 0.5664$ y $p = 0.07048$ respectivamente, por lo que se realizaron test ANOVA para corroborar si existen diferencias estadísticas en el índice de Margalef y también en el índice de Shannon en función de los Transectos altitudinales, el valor de la prueba para el índice de Margalef fue de $p = 0.628$ y para el índice Shannon $p = 0.63$ respectivamente, por lo que no existieron diferencias significativas en ninguno de los índices a nivel de parcela. Mientras que los datos correspondientes al índice de Simpson no presentaron una distribución normal $p = 0.03798$, por lo que se realizó un test de Kruskal Wallis para confirmar si existen diferencias estadísticas en el índice de Simpson en función de los transectos altitudinales, el valor de la prueba fue de $p = 0.5992$ por lo que no existieron diferencias significativas a nivel de parcela.

Cuando se evaluaron los SAFs en función del número de especies e individuos total para cada transecto altitudinal., las curvas de acumulación de especies mostraron que no hay diferencias significativas en relación a la riqueza de especies en función de número sistemas agroforestales (Fig. 5A) e individuos (Fig. 5B) muestreados, debido a que las desviaciones estándar se traslapan e indica que las muestras no provienen de poblaciones diferentes. Sin embargo, la riqueza de especies en el transecto altitudinal medio dejaría de ser similar a medida que se aumentan el número de SAF e individuos muestreados. La riqueza de especies fue mayor en el transecto altitudinal bajo en comparación con los transectos medio y alto. También las curvas de acumulación de especies no llegaron a la asíntota, esto indica que el número de sistemas agroforestales e individuos muestreados no fueron suficientes para conocer el número total de especies agroforestales productivas en la parroquia de Cutchil.

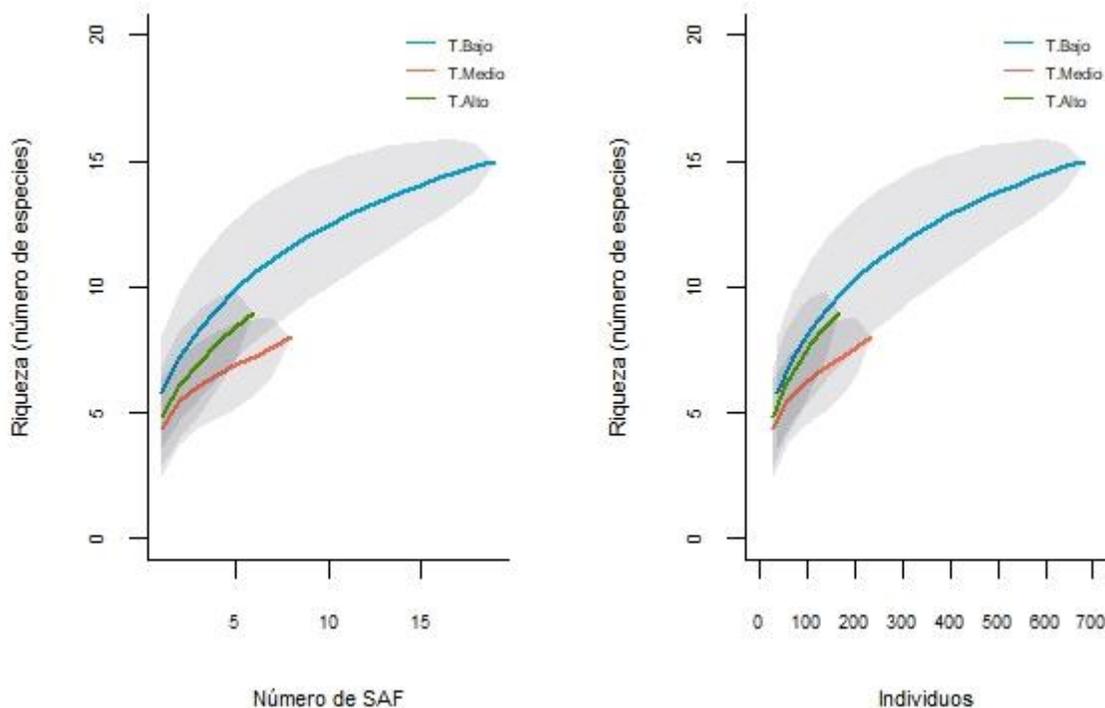


Figura 5. Curvas de acumulación de especies en relación Sistemas de producción – riqueza (A) y Número de individuos – riqueza (B).

4.1.3.2 Diversidad beta.

La dominancia beta de Simpson mostró un valor 0.21 lo que indica que existe una diversidad baja (<0.35) a nivel de parcela, esto también sugiere que existe dominancia.

La dominancia beta Simpson mostro valores de diversidad entre los transectos comparados. La comparación entre transectos A+B+M dio una diversidad de 0.02, A+B = 0.01, A+M = 0.01, B+M = 0.02, lo que indicó que existe una alta dominancia. La diversidad beta de Jaccard mostro valores porcentuales de presencia de especies entre los transectos, de manera que entre los transectos A+B+M hubo el 19% de las mismas especies presentes, transectos A+B = 42%, A+M = 47% y B+ M = 61% respectivamente.

4.2 Analizar la eficiencia energética de los sistemas agroproductivos.

Se evaluaron 115 predios comprendidos entre sistemas de producción agroforestales (27.83%), cultivos de ciclo corto (33.91%) y pastos (38.26%); de los cuales la energía neta (EN) tuvo un promedio de -3202.21 MJ/ha. y la eficiencia energética (EE) tuvo un promedio de 4.86 MJ/ha. En los sistemas de producción evaluados el 55.65% son energéticamente eficientes y 44.35% son energéticamente ineficientes. Los sistemas agroforestales productivos tuvieron el mayor promedio de eficiencia energética con 9.43 MJ/ha, los cultivos de ciclo corto con 6.33 MJ/ha. y pastizales tuvieron un promedio de 0.23 MJ/ha.

El análisis de los 32 sistemas de producción agroforestal reveló que 29 SAF tuvieron balances positivos y fueron energéticamente eficientes, mientras que 3 SAF tuvieron balances negativos y fueron energéticamente ineficientes. La energía neta (NE) tuvo una media de 13343.85 MJ/ha. y una mediana de 4895.83 MJ/ha. Los valores de EE oscilaron entre 0,72 MJ/ha. y 28.27 MJ/ha con una eficiencia promedio de 9.43 MJ/ha. y una mediana de 5.32 MJ/ha. El aporte energético provino en mayor cantidad de la mano de obra con el 39.68 %, con una media de 2777.92 MJ/ha, seguido de los fertilizantes orgánicos con el 30.46 %, con una media de 2132.34 MJ/ha. y fertilizantes químicos con el 18.11 %, con una media de 1267.90 MJ/ha (Tabla 16) (Fig. 6).

En los cultivos de ciclo corto se analizaron 39 sistemas de producción y reveló que 35 tienen balances positivos y son energéticamente eficientes y los 4 restantes tuvieron balances negativos y fueron energéticamente ineficientes. La energía neta (NE) tuvo una media de 14155.04 MJ/ha. y una mediana de 9358.20 MJ/ha. Los valores de EE estuvieron entre 0.17 MJ/ha. y 27.26 MJ/ha con una eficiencia promedio de 6.33 MJ/ha. y una mediana 5.26 MJ/ha. El aporte energético con mayor cantidad fue el agua con el 42.35 %, con una media de 2885.18 MJ/ha, seguido de la mano de obra con el 17.50%, con una media de 1192.03 MJ/ha. y fertilizantes orgánicos con el 9.46 %, con una media de 644.24 MJ/ha. (Tabla 16) (Fig. 6).

En el análisis de los sistemas de pastos los 44 predios tuvieron balances negativos y fueron energéticamente ineficientes. La energía neta tuvo una media -30620.53 MJ/ha. y una mediana de -28014.96 MJ/ha. Los valores de EE oscilaron entre 0.02 MJ/ha. y 0.69 MJ/ha con una eficiencia promedio de 0.23 MJ/ha. y una mediana de 0.18 MJ/ha. El aporte energético con mayor cantidad fue el pasto con el 91.51%, con una media de 36076.98 MJ/ha, seguido de los fertilizantes

UCUENCA

orgánicos con el 3.35 %, con una media de 1321.54 MJ/ha. y los fertilizantes químicos con el 2.04 %, con una media de 802.54 MJ/ha (Tabla 16, 17) (Fig. 6).

Tabla 16. Promedio de entradas y salidas de energía en los sistemas de producción.

	Entradas de energía					
	SAF		Cultivo ciclo corto		Pasto	
	Media (MJ/ha)	Proporción (%)	Media (MJ/ha)	Proporción (%)	Media (MJ/ha)	Proporción (%)
Mano de obra	2777.92	39.68	1192.03	17.50	773.99	1.96
Trabajo animal	20.26	0.29	592.31	8.69	0	0
Maquinaria	0	0.00	446.94	6.56	31.67	0.08
Fertilizantes químicos	1267.90	18.11	165.78	2.43	802.54	2.04
Fertilizantes orgánicos	2132.34	30.46	644.24	9.46	1321.54	3.35
Enmiendas	174.71	2.50	0.00	0.00	0	0
Insecticidas	47.00	0.67	10.02	0.15	0	0
Fungicidas	382.01	5.46	16.07	0.24	0	0
Herbicidas	0.00	0.00	592.24	8.69	50.40	0.13
Semillas	24.54	0.35	224.31	3.29	152.57	0.39
Plántulas	60.77	0.87	44.36	0.65	0	0
Agua	114.05	1.63	2885.18	42.35	215.07	0.55
Combustible	0	0	0	0	0	0
Pasto	-	-	-	-	36076.98	91.51
Total entradas	7001.49	100.00	6813.47	100	39424.76	100
Salidas	20345.34		20968.51		8804.23	
EE	9.43		6.33		0.23	
NE	13343.85		14155.04		-30620.53	

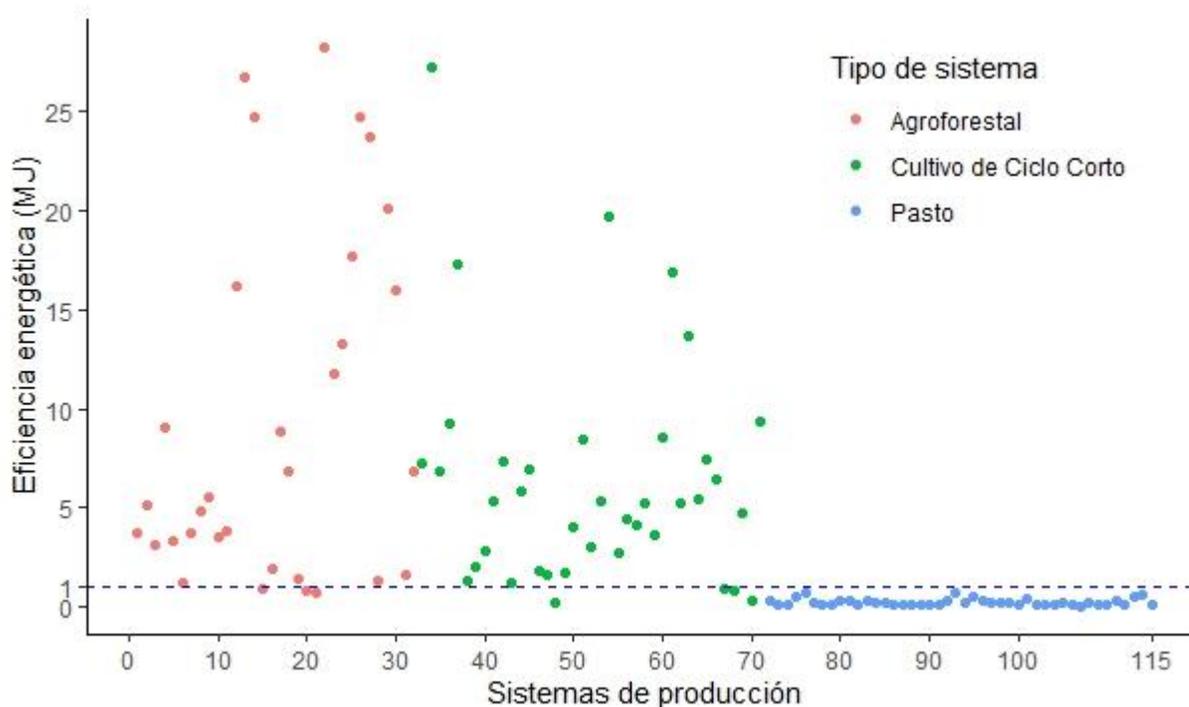


Figura 6. Eficiencia energética de los sistemas de producción en la parroquia de Cutchil.

Tabla 17. Promedios, medianas, desviación estándar y error estándar para los sistemas de producción pertenecientes a la parroquia de Cutchil.

Sistemas de producción	Eficiencia energética			
	Media	Mediana	SD	ERR.ES.
<i>Agroforestal</i>	9.43	5.32	8.86	1.57
<i>Ciclo corto</i>	6.33	5.26	5.77	0.92
<i>Pasto</i>	0.23	0.18	0.17	0.03

4.2.1 Comparaciones entre los sistemas productivos pertenecientes a la parroquia de Cutchil.

En los sistemas de producción agroforestal, ciclo corto y pasto los datos correspondientes a la variable eficiencia energética no presentaron normalidad ($p= 2.2e-16$) por lo que se realizó un test Kruskal Wallis para medir la diferencia entre EE en función de los tres tipos de sistemas de producción, el valor de la prueba fue de $p= 2.2e-16$, lo que indicó que existieron diferencias significativas. La prueba de Dunn mostró que existieron diferencias significativas entre los sistemas de producción agroforestal – pasto y cultivos de ciclo corto – pasto, mientras que entre los sistemas de producción agroforestal – cultivo de ciclo corto no existieron diferencias significativas (Tabla 18) (Fig. 7).

Tabla 18. Prueba de Dunn para corroborar diferencias estadísticas significativas entre pares de comparaciones entre sistemas de producción; valores $p < 0.05$ existe diferencias significativas.

Prueba de Dunn	
Comparaciones	p.adj
<i>Agroforestal - Cultivo de Ciclo Corto</i>	5.22E-01
<i>Agroforestal - Pasto</i>	6.96E-14
<i>Cultivo de Ciclo Corto - Pasto</i>	3.46E-13

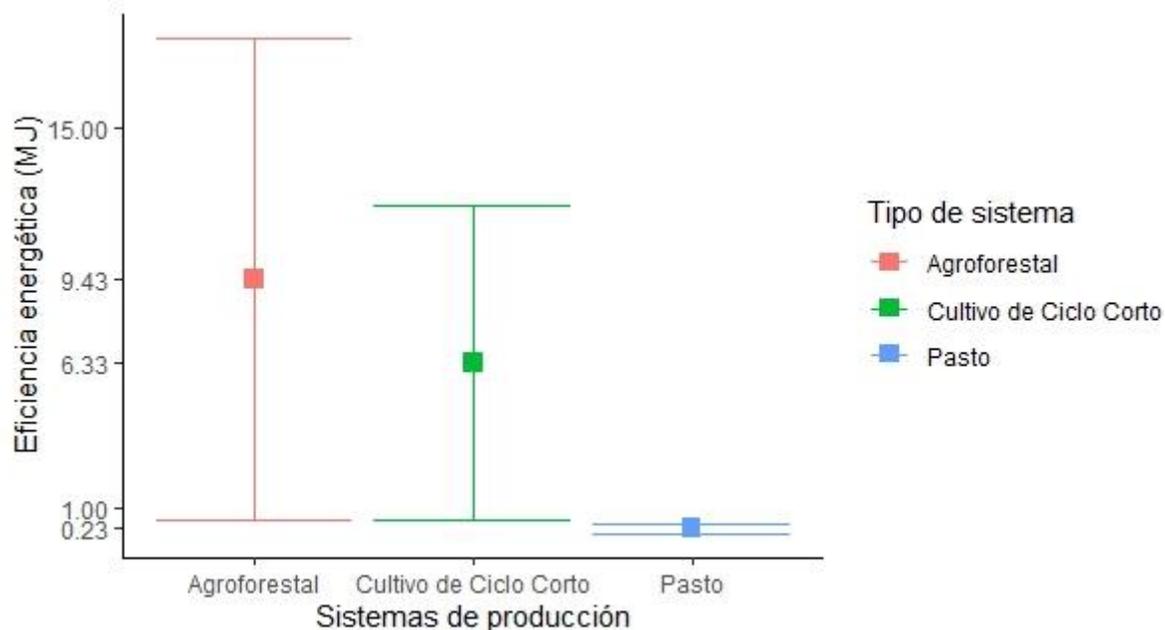


Figura 7. Promedio de eficiencia energética para los sistemas de producción en la parroquia Cutchil.

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

En los sistemas de producción agroforestales la correlación entre entradas de energía y eficiencia energética tuvo significancia estadística ($p = 1.936E-06$) y una correlación negativa de $r = -0.76$ (fig. 8A), mientras que la correlación entre salidas de energía y eficiencia energética no tuvo significancia estadística ($p = 0.1602$). En los sistemas de cultivos de ciclo corto la correlación entre entradas de energía y eficiencia energética tuvo significancia estadística ($p = 0.03716$) y una correlación negativa de $r = -0.34$ (fig. 8B), de la misma manera, la correlación entre salidas de energía y eficiencia energética mostró significancia estadística ($p = 0.006691$) y una correlación positiva de $r = 0.43$ (fig. 8C). En los sistemas de pastizales la correlación entre entradas de energía y eficiencia energética no mostró significancia estadística ($p = 0.6583$), mientras que la correlación entre salidas de energía y eficiencia energética tuvo significancia estadística ($p = 2.2E-16$) y una correlación positiva de $r = 0.81$ (fig. 8D).

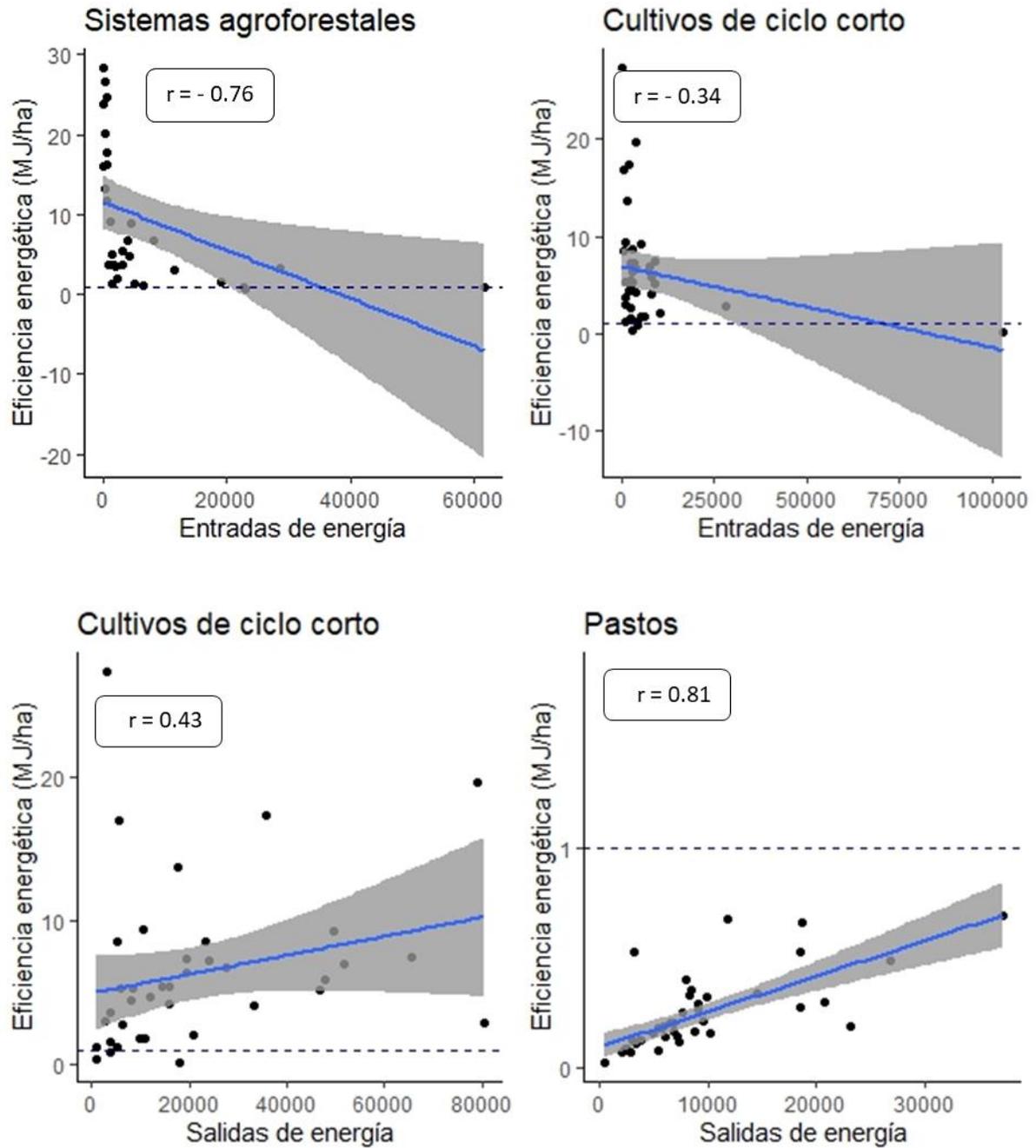
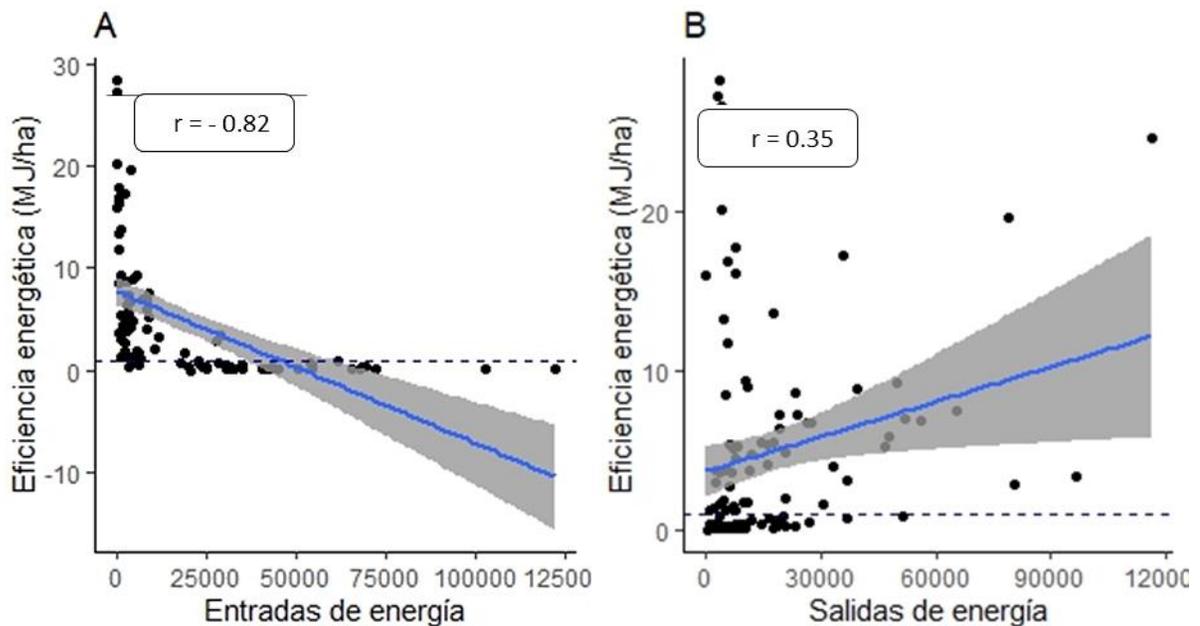


Figura 8. Correlaciones significativas de entradas, salidas de energía con eficiencia energética para los sistemas de producción agroforestales, cultivos de ciclo corto y pasto respectivamente.

UCUENCA

En los sistemas de producción de la parroquia Cutchil, las correlaciones entre: Entradas de energía y eficiencia energética tuvo significancia estadística ($p= 2.2E-16$) y un nivel de correlación negativa $r = -0.82$ (Fig.9A). Salidas de energía y eficiencia energética tuvo significancia estadística ($p= 0.0001395$), y un nivel de correlación positiva $r = 0.35$ (Fig.9B). Altura m s.n.m. de los sistemas de producción y Eficiencia energética tuvo significancia estadística ($p= 7.14E-07$) y un nivel de correlación negativa $r = -0.44$ (Fig.9C). Área de los sistemas de producción y eficiencia energética tuvo significancia estadística ($p= 2.967E-15$), además, un nivel de correlación negativa de $r = -0.65$ (Fig.9D).



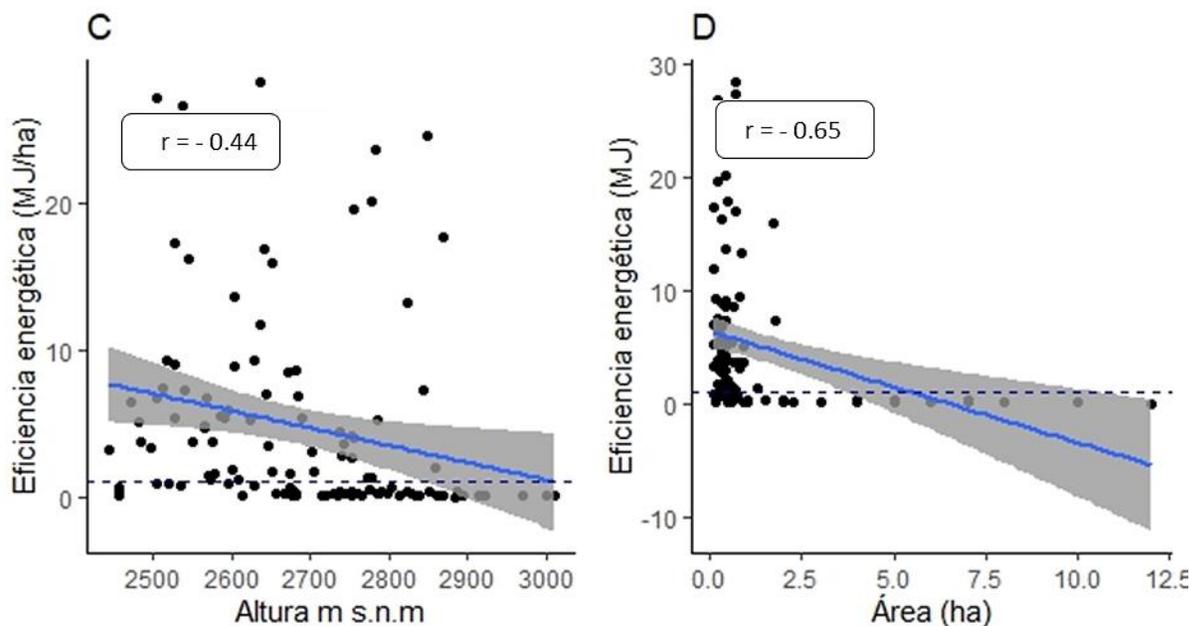


Figura 9. Correlaciones entre entradas, salidas, Altura (m s.n.m.), Área de los sistemas de producción con eficiencia energética respectivamente; línea entrecortada azul significa (--- Nivel crítico).

4.3 Tipificar los sistemas de producción en función de tres usos de suelo imperantes en la zona: sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y sistemas de pastizales para evaluar la variación de diversidad, riqueza y carbono aéreo en sistemas agroforestales de la parroquia Cutchil.

4.3.1 Área y altura de los sistemas de producción de la parroquia de Cutchil.

En los sistemas de producción de la parroquia de Cutchil el área de los sistemas forestales presentó una media de 0.51 ha y una mediana de 0.35 ha, de la misma manera en los cultivos de ciclo corto el promedio fue de 0.41 ha y una mediana de 0.35 ha, mientras que en los sistemas de pastos el área promedio fue de 3.21 ha y una mediana de 2.00 ha (Tabla 19) (Fig. 10A).

Tabla 19. Promedio \pm error estándar del área de los sistemas de producción en la parroquia de Cutchil.

	Área (ha)		
	<i>Agroforestal</i>	<i>Cultivo de ciclo corto</i>	<i>Pasto</i>
Media	0.51 \pm 0.06	0.41 \pm 0.05	3.21 \pm 0.43
Mediana	0.35	0.35	2.00
SD	0.37	0.32	2.88
CV	0.72	0.77	0.90

La ubicación de los sistemas de producción de la parroquia de Cutchil respecto a la altura, mostró que los sistemas agroforestales se ubican a una media de 2609 m s.n.m. y una mediana de 2575 m s.n.m., similar a esto en los cultivos de ciclo corto la altura promedio y la mediana está en 2651 m s.n.m., en cambio los sistemas de pastos están ubicados a una altura promedio de 2770 m s.n.m. y una mediana de 2781 m s.n.m. (Tabla 20) (Fig. 10B).

Tabla 20. Promedio \pm error estándar de la altura de los sistemas de producción en la parroquia de Cutchil.

	Altura m s.n.m.		
	<i>Agroforestal</i>	<i>Cultivo de ciclo corto</i>	<i>Pasto</i>
Media	2609 \pm 20	2651 \pm 16	2770 \pm 19
Mediana	2575	2651	2781
SD	113	102	126
CV	0.04	0.04	0.05

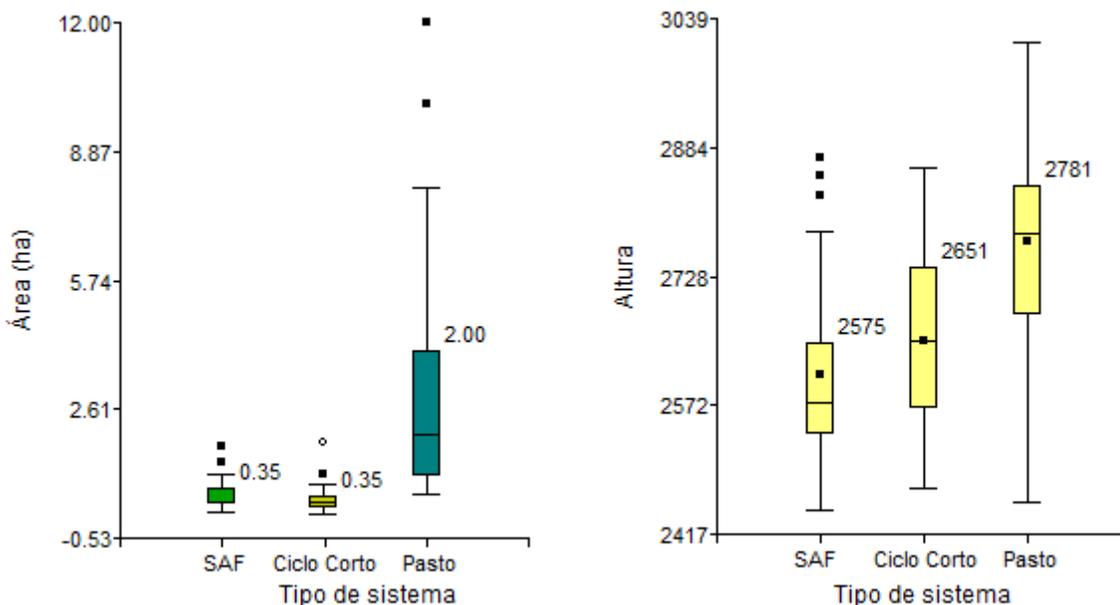


Figura 10. Medianas de área \pm desviación estándar (A) y medianas de altura \pm desviación estándar de los sistemas de producción en la parroquia de Cutchil.

4.3.2 Composición de los sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y pastos.

En los sistemas de producción agroforestal, una parcela está compuesta por una media de 7.33 especies de interés agrícola y una mediana de 7 especies. En los sistemas de cultivos de ciclo corto una parcela está compuesta por una media de 6.97 especies y una mediana 6 especies, mientras que en los sistemas de pastos una finca está compuesta por una media 2.21 especies y una mediana de 2.00 especies. (Tabla 21).

Tabla 21. Promedio \pm error estándar de especies presentes por tipo de sistema de producción.

	Especies agrícolas		
	Sistemas agroforestales	Cultivos de ciclo corto	Sistemas de pastos
Media	7.33 \pm 0.62	6.97 \pm 0.46	2.21 \pm 0.14
Mediana	7.00	6.00	2.00
SD	4.23	3.03	0.93

UCUENCA

Las especies agroforestales con mayor frecuencia en los sistemas agroforestales fueron *Malus domestica* con el 96.97%, también en el 75.76% de los SAF está presente *Prunus persica*., le sigue *Prunus domestica L.* con el 48.48%, *Pyrus communis* con el 33.33%, *Prunus domestica subsp. italica* con el 27.27% y *Prunus salicifolia* con el 12.12% (Fig. 11), junto a estas especies también están las de ciclo corto con una frecuencia de 60.61%, 48.48%, y 36.36% que provienen de *Zea mays*., *Phaseolus vulgaris*., *Vicia faba* respectivamente, que también son especies acompañantes en los sistemas agroforestales, en menor porcentaje de SAF se encuentra con el 33.33%, 27.27% y 24.24% de *Brassica oleracea var. capitata*., *Daucus carota* y *Allium cepa* respectivamente (Fig. 12) (Anexo. 1).

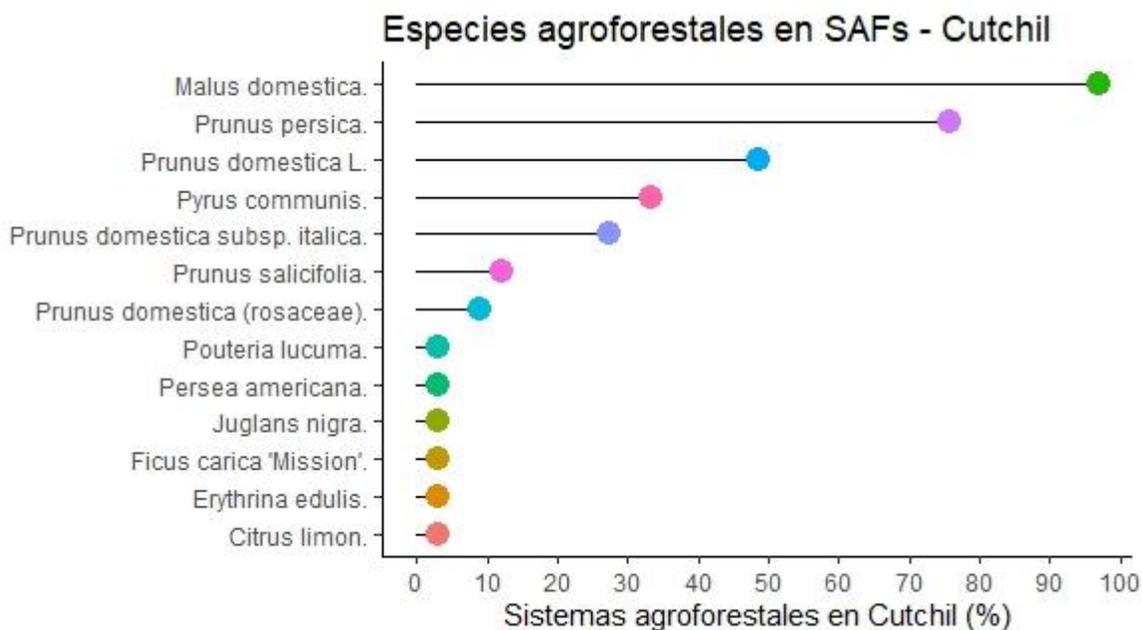


Figura 11. Frecuencia de especies agroforestales en los sistemas agroforestales de la parroquia Cutchil.

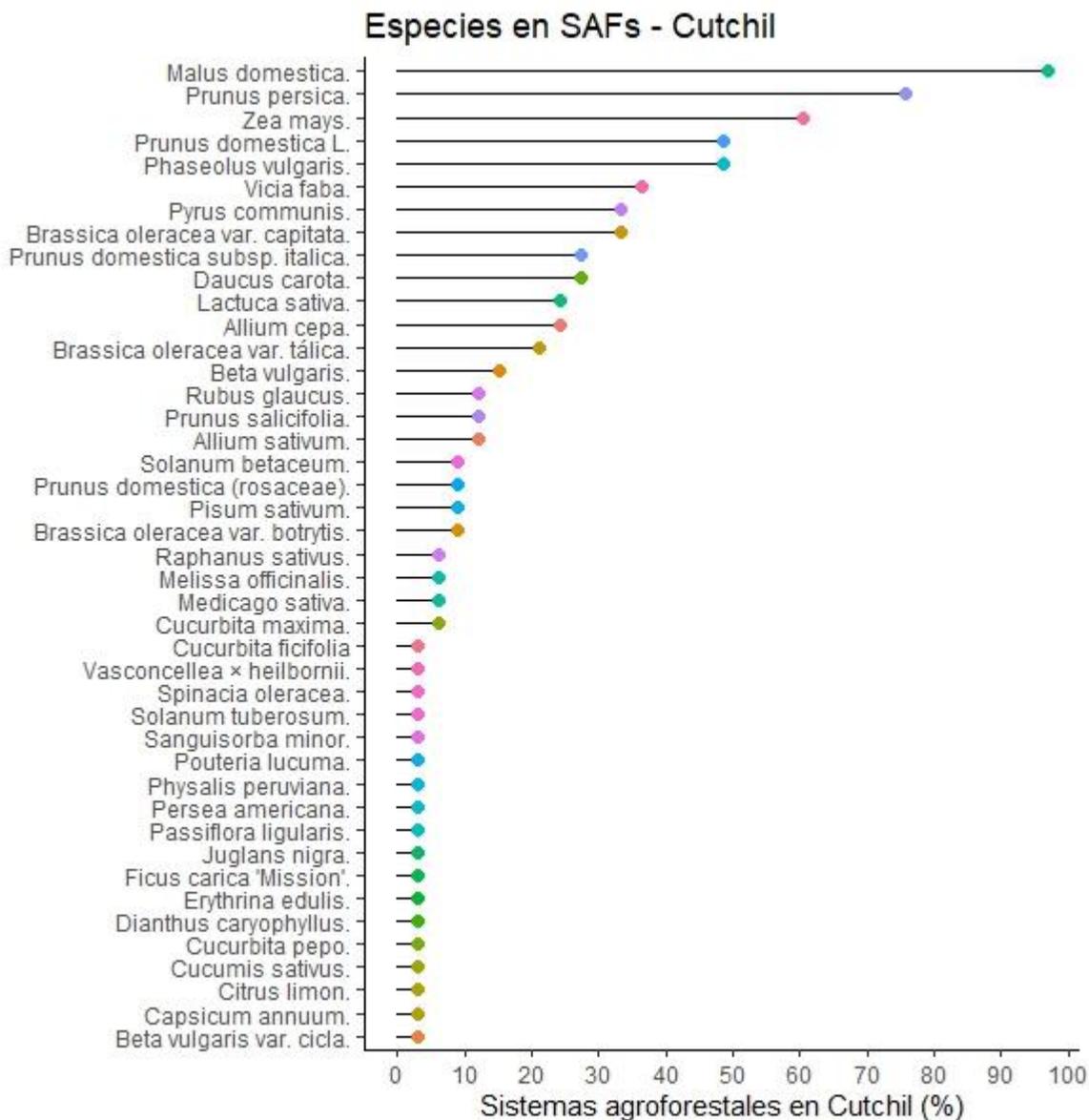


Figura 12. Frecuencia de sistemas agroforestales con presencia de especies agroforestales y especies de ciclo corto de importancia.

Las especies de ciclo corto con mayor frecuencia en los sistemas de cultivos de ciclo corto fueron *Phaseolus vulgaris*. y *Zea mays*. ambas con el 89.74%, también en el 82.08% y 56.41% de los sistemas de ciclo corto están *Vicia faba*. y *Pisum sativum*. respectivamente, en menor porcentajes de cultivos de ciclo corto también están *Brassica oleracea var. capitata*. y *Allium cepa*.

UCUENCA

con porcentajes de 36.90% y 20.51% respectivamente (Fig. 13), junto a estas especies también están acompañando las agroforestales, que en el 51.28%, 41.03% y 15.38% de los cultivos de ciclo corto están presentes *Malus domestica.*, *Prunus persica.* y *Prunus domestica L.* (Fig. 14) (Anexo. 2).

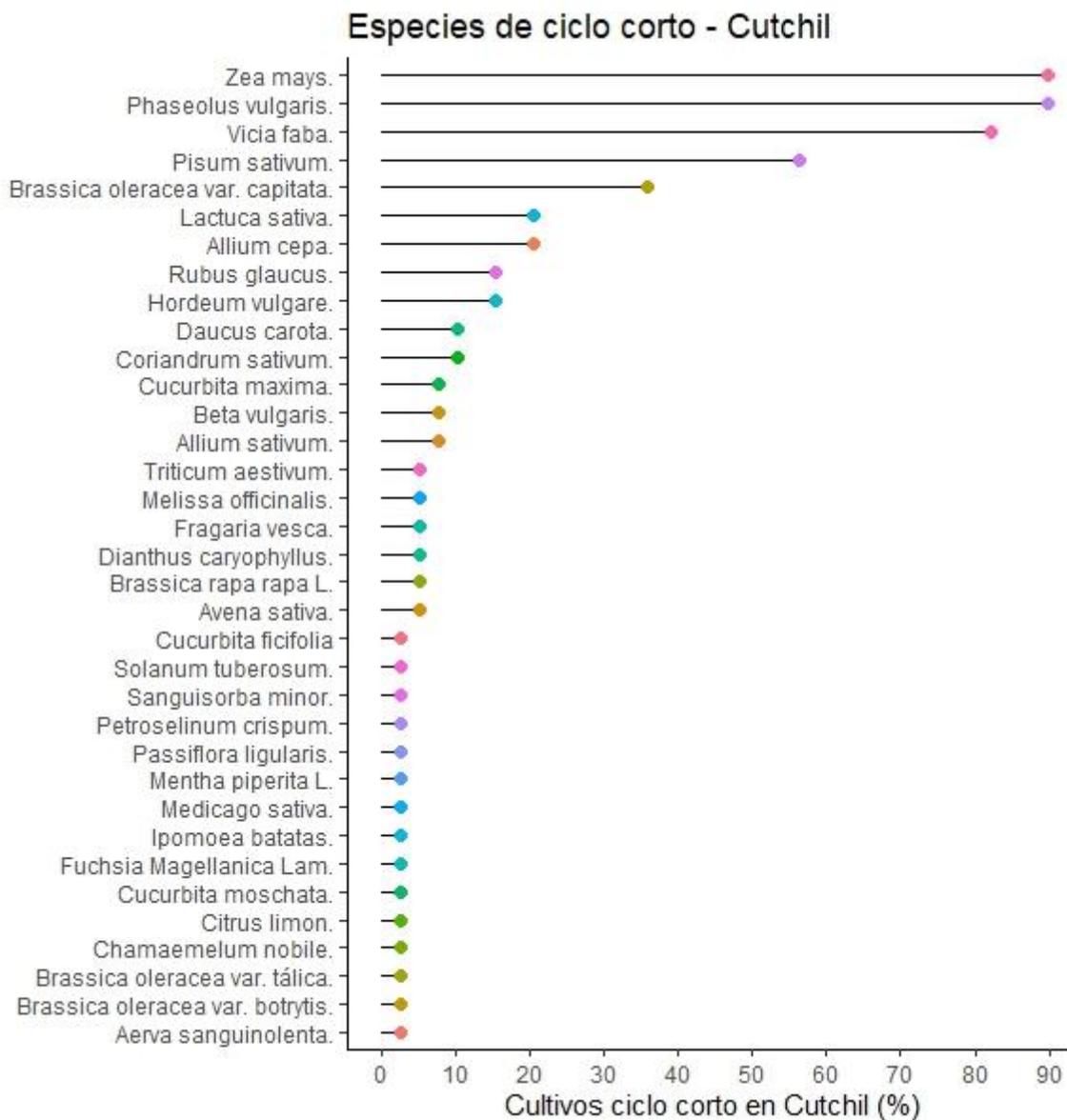


Figura 13. Frecuencia de sistemas de cultivos de ciclo corto con presencia de especies de ciclo corto de importancia.

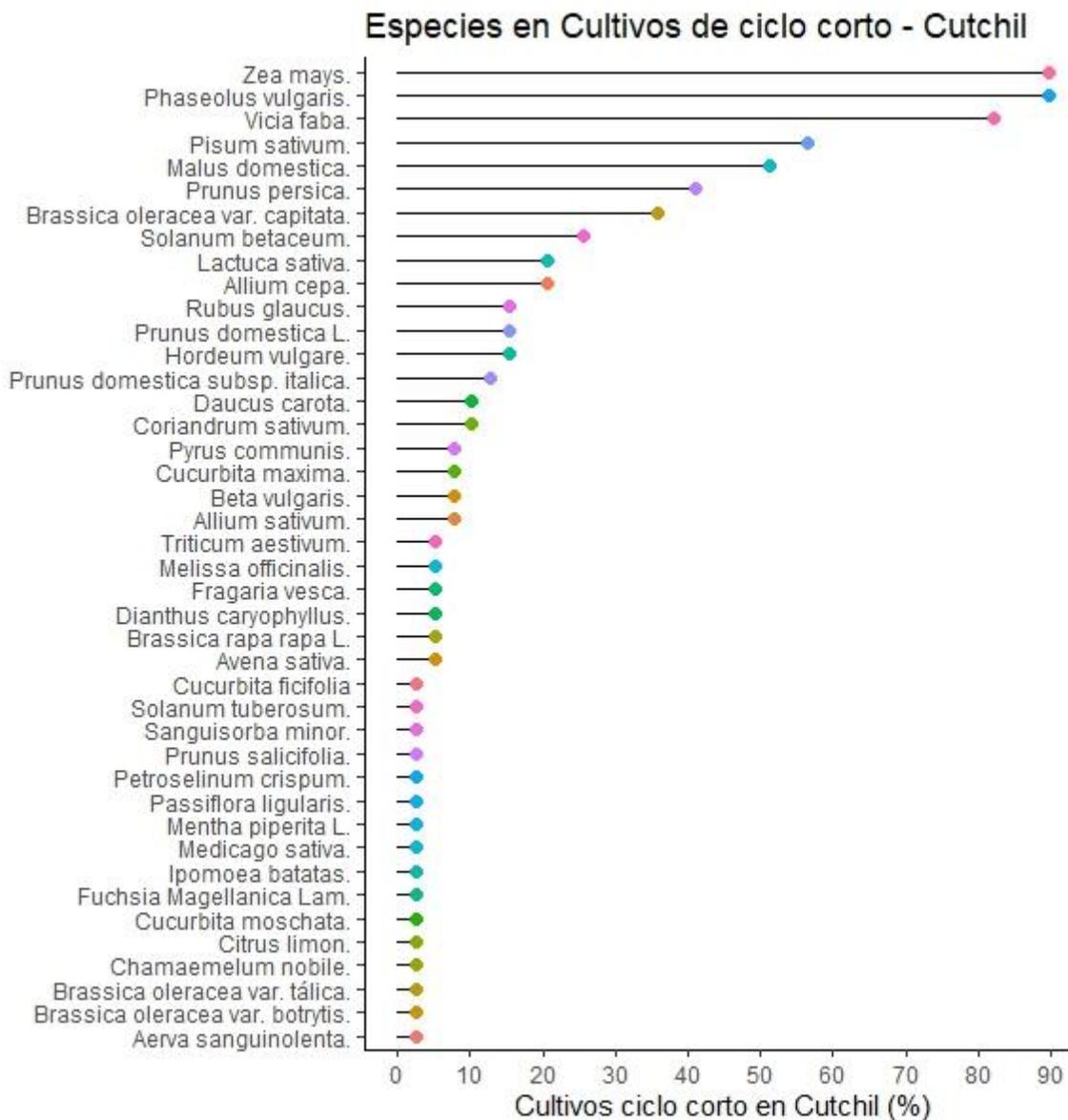


Figura 14. Frecuencia de sistemas de cultivos de ciclo corto con presencia de especies agroforestales y especies de ciclo corto de importancia.

Las especies de pastos con mayor frecuencia en los sistemas de pastos fueron *Pennisetum clandestinum*, que estuvo presente en el 100% de los pastizales, le sigue *Trifolium repens*, con presencia en el 73% de los pastizales, en menores porcentajes estuvo *Lolium perenne*, y *Holcus lanatus*, con presencias en el 36% y 20% de fincas respectivamente.

UCUENCA

4.3.3 Mapa de ubicación de los sistemas de producción en la parroquia de Cutchil.

En la parroquia Cutchil, los sistemas de producción están ubicados entre una altura mínima de 2445 m s.n.m. y una altura máxima de 3011 m s.n.m. Los sistemas agroforestales y cultivos de ciclo corto están ubicados entre rangos altitudinales de 2445 m s.n.m. y 2840 m s.n.m., mientras que los pastizales se ubican en su mayoría entre los rangos altitudinales de 2640 m s.n.m. hasta los 3011 m s.n.m.

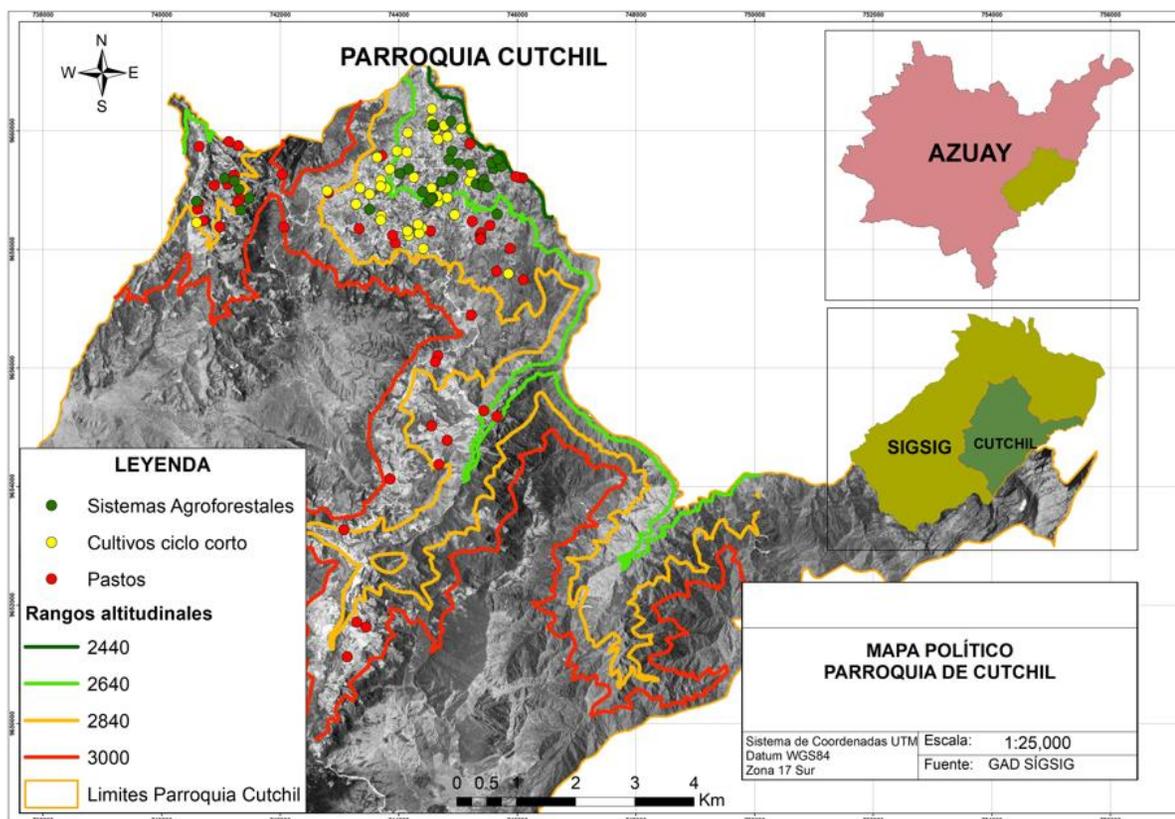


Figura 15. Ubicación de las parcelas muestreadas en la parroquia Cutchil.

5 CAPITULO V. DISCUSIÓN.

5.1 Carbono a partir de la biomasa aérea.

El carbono almacenado a partir de la biomasa aérea en los sistemas agroforestales en la parroquia Cutchil fue de 13.50 t/ha. y mayor a lo encontrado por Ortuño et al. (2022) quienes estimaron el carbono alométrico en 8.02 t/ha. en sistemas agroforestales de la microcuenca del río Cutilcay en Paute. Esto puede deberse a que la dinámica de los sistemas agroforestales condicionan la cantidad de carbono secuestrado, es así que la diversificación de los cultivos en los SAF puede aumentar el rendimiento y la producción de servicios ecosistémicos (Malézieux et al., 2009), además la cantidad total de C secuestrado en un SAF puede depender de una serie de factores, incluidos el origen y las especies de árboles y el tipo de uso de la tierra agrícola adyacente, la edad de los árboles, la densidad del rodal y la diversidad de especies de árboles (Ma et al., 2020).

El carbono almacenado en los sistemas agroforestales en la parroquia de Cutchil es tres veces menos que lo reportado por Alvarado et al. (2019), quienes obtuvieron un promedio de (43.87 t C/ha) almacenado en la biomasa aérea de los bosques montanos andinos del Cajas en Azuay. La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Schulze et al., 2000). Aunque existe diferencia entre el carbono almacenado entre bosques y SAF productivos, es importante considerar que estos últimos siguen siendo importantes a la hora de almacenar carbono (Muchane et al., 2020; Schoeneberger, 2009).

La cantidad de carbono almacenado no tuvo diferencias significativas en función de los tres transectos altitudinales. Resultados similares hallaron Chisanga et al. (2018) en sistemas de uso de la tierra templados a gran altitud en el noroeste del Himalaya, donde el carbono aéreo en SAF con predominancia de *Malus domestica*. fue similar en los rangos altitudinales, además esto concuerda con lo reportado por Salas Macías et al. (2020) quienes evaluaron la influencia de las gradientes altitudinales en el secuestro de carbono en un bosque protector en Manabí, ambos autores no tuvieron diferencias estadísticas significativas. Estos resultados indican que existe similitud en la composición florística, edad y densidad arbórea (Rajput et al., 2017).

UCUENCA

En los sistemas agroforestales, el carbono almacenado por especie mostró que *Malus domestica*. capturó 11.77 t C/ha, esto concuerda con lo obtenido por Herbas et al. (2018) quienes mostraron en su estudio sobre fijación de carbono en diez sistemas agroforestales dinámicos en Bolivia que la especie que más aporta al total es el manzano con una acumulación de 14,04 t C/ha. El potencial de acumulación de carbono puede estar relacionado con la abundancia de individuos por especie y la dominancia que tienen las mismas, además el diseño y la gestión adecuados de tales plantaciones agroforestales/forestales agrícolas pueden aumentar las tasas de acumulación de biomasa, convirtiéndolas en sumideros de carbono efectivos (Shepherd et al., 2001).

En los sistemas de producción agroforestal, la correlación entre altura y carbono almacenado a partir de la biomasa aérea no tuvo significancia estadística, sin embargo, en el transecto altitudinal alto hubo mayor acumulación de carbono, este estudio respalda los hallazgos de Nath et al. (2021) en la India, que también demuestra que cuando se consideró el efecto principal de la altitud, los sistemas agroforestales en altitudes elevadas tenían reservas totales de C en la biomasa significativamente más altas. Sin embargo, la diferencia entre altitudes no fue estadísticamente significativa.

Respecto a la correlación entre edad del sistema agroforestal y carbono almacenado, tampoco tuvo significancia estadística, lo que difiere de lo encontrado por Concha et al. (2007) donde determinaron que la edad del sistema agroforestal y densidad de árboles forestales son las variables que indican una correlación significativa con el potencial de carbono almacenado, además la captura de carbono fue mayor en la biomasa arbórea de los árboles vivos en donde los sistemas agroforestales tienen 12 y 20 años, esto respalda los hallazgos de Rajput et al. (2015) donde indica que la producción de biomasa total está influenciada por la edad del estrato arbóreo y el efecto combinado con la altitud.

5.2 Diversidad

Respecto a la diversidad en los sistemas agroforestales, la familia con mayor riqueza fue Rosaceae y las especies que mayores individuos tuvieron fueron *Malus domestica*. (655), *Prunus persica*. (174), *Prunus domestica*. (69), *Pyrus communis*. (20) y *Prunus salicifolia* (7), estos resultados coinciden parcialmente con lo registrado por Flores (2014) en su estudio “Evaluación de los servicios de agrobiodiversidad y carbono almacenado de los sistemas agroforestales de la

UCUENCA

zona Iztaccíhuatl-Popocatepetl” en México, donde encuentran que la familia con mayor riqueza es Rosaceae y dentro de ella, las especies con mayor individuos fueron *Prunus persica*. (145), *Prunus domestica*. (115) y *Prunus salicifolia* (17). Esto se atribuye a que los productores condicionan la diversidad de especies y la cantidad de individuos en función de sus objetivos e intereses, además el área de las fincas y la densidad de plantación son determinantes en la cantidad de individuos que abarca un sistema (Wurz et al., 2022).

En los transectos altitudinales alto, medio y bajo el índice de Margalef mostro un promedio por parcela de 0.68, 0.57, y 0.74 respectivamente. El índice de Shannon mostro un promedio por parcela de 1.08, 0.85 y 1.08 respectivamente. Estos valores se encuentran por debajo de lo reportado por Salmón et al. (2012) en sistemas agroforestales en Cuba quienes calcularon el índice de Margalef en 5.70 y el de Shannon en 2.50, ellos concluyen que, los valores de estos índices tienden a ser menores cuando la distribución de especies e individuos no es equitativa y cuando existe la predominancia de alguna especie forestal de interés agronómico, además la historia del uso de la tierra es importante a la hora de medir la diversidad (Martin et al., 2021).

El índice de Simpson mostro una media por parcela de 0.44, 0.32 y 0.40 respectivamente, estos valores indican diversidad media en los transectos alto y bajo y diversidad baja en el transecto medio. Mientras que la diversidad beta (Índice de Simpson) mostro una semejanza a entre parcelas de 0.79. Esto no concuerda con lo reportado por Pino (2008) en su estudio sobre diversidad de especies de frutales en sistemas campesinos, donde obtiene un valor de 0.88. Las diversidades bajas en nuestro estudio indican que existe dominancia de especies sobre otras, *Malus domestica* es dominante en los sistemas agroforestales productivos de Cutchil y se debe a que los agricultores en este caso juegan un papel importante en la filtración de conjuntos de especies productivas que brinden frutos (Fifanou et al., 2011; M'Woueni et al., 2019).

Los datos correspondientes a índice de Margalef, Shannon y Simpson no tuvieron diferencias significativas entre los transectos altitudinales a nivel de parcela respectivamente. Esto concuerda parcialmente con lo reportado por Suárez et al. (2019) en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en Chiapas, México, donde encontraron que el índice de Shannon tuvo diferencias significativas entre niveles altitudinales, mientras que el índice de Simpson no tuvo

UCUENCA

diferencias significativas. La similar diversidad en la composición arbórea entre la menor y la mayor altura estudiada se debe a la presencia de especies compartidas (Roa et al., 2009).

En los tres transectos altitudinales, las curvas de acumulación de especies mostraron que no hay diferencias significativas en relación a la riqueza de especies en función de número sistemas agroforestales e individuos muestreados, debido a que las desviaciones estándar se traslapan e indica que las muestras no provienen de poblaciones diferentes. Sin embargo, la riqueza de especies en el transecto altitudinal medio dejaría de ser similar a medida que se aumentan el número de SAF e individuos muestreados. La riqueza de especies fue mayor en el transecto altitudinal bajo en comparación con los transectos medio y alto. También las curvas de acumulación de especies no llegaron a la asíntota, esto indica que el número de sistemas agroforestales e individuos muestreados no fueron suficientes para conocer el número total de especies agroforestales productivas en la parroquia de Cutchil (Gotelli et al., 2001).

La dominancia beta Simpson mostro valores de diversidad bajos entre los transectos comparados. La comparación entre transectos A+B+M dio una diversidad de 0.02, A+B =0.01, A+M = 0.01, B+M = 0.02, lo que indicó que existe una alta dominancia. La diversidad beta de Jaccard mostro valores porcentuales de presencia de especies entre los transectos, de manera que entre los transectos A+B+M hubo el 19% de las mismas especies presentes, transectos A+B = 42%, A+M = 47% y B+ M = 61%. Valores similares en el índice de Jaccard encontraron Ortuño et al. (2022) en sistemas agroforestales en la microcuenca del río Cutilcay, Paute, quienes estimaron la relación entre la microcuenca alta y baja en 44%, microcuenca media y alta en 61% y microcuenca baja y media en 52%.

5.3 Eficiencia energética

Se evaluaron 115 predios comprendidos entre sistemas de producción agroforestales, cultivos de ciclo corto y pastos. En los sistemas de producción evaluados el 55.65% son energéticamente eficientes y 44.35% son energéticamente ineficientes. Los sistemas agroforestales productivos tuvieron el mayor promedio de eficiencia energética (9.43 MJ/ha), los cultivos de ciclo corto y pastizales tuvieron 6.33 MJ/ha. y 0.23 MJ/ha respectivamente. Esta variabilidad de eficiencias

UCUENCA

energéticas concuerda con (Lillywhite et al., 2007) en Reino Unido, quienes atribuyen que la demanda de energía dentro y entre sistemas de producción no es igual, por ejemplo los cultivos de manzana requieren menos energía (16.9 MJ/ha) y los sistemas de producción de leche necesitan más energía (45.4 MJ/ha).

En el análisis de los sistemas de producción agroforestal, la energía neta (NE) tuvo una media de 13343.85 MJ/ha mientras que la eficiencia energética promedio fue de 9,43 MJ/ha. La energía neta fue 1.9 veces mayor a lo reportado por Rafiee et al. (2010) en sistemas agroforestales de manzanas en Turquía quienes obtuvieron 7038,18 MJ/ha, de la misma manera la EE fue diferente con un promedio de 1.16, resultados similares de 1.0 y 1.1 en EE encontraron en Grecia y Estados Unidos Strapatsa et al. (2006) y Reganold et al. (2001) respectivamente, similar a esto también reportó la EE de 1.01 Aydın et al. (2018) en la producción de durazno en Turquía, ellos concuerdan que el uso intensivo de la mano de obra, la fertilización y la mecanización son las variables que más secuestran energía en los sistemas, estos resultados coinciden parcialmente con nuestro estudio debido a que la mecanización es nula en sistemas agroforestales de la parroquia Cutchil (Royan et al., 2012).

En los sistemas agroforestales el aporte energético provino en mayor cantidad de la mano de obra (39.68 %), seguido de los fertilizantes orgánicos (30.46 %) y fertilizantes químicos (18.11 %). Esto no concuerda con Demircan et al. (2006) en cultivos de cereza asociados con frutales en Isparta-Turquía, donde registran que los fertilizantes químicos aportan el 45.35% en ingresos de energía, en segundo lugar estuvo la mano de obra que fue del 12.95% y los fertilizantes orgánicos con un aporte del 3.39%, resultados similares estimaron Rodríguez et al. (2020) donde encontraron que la mano de obra en los sistemas agroforestales aumenta debido a que las operaciones de control de malezas, podas, aplicación de fertilizantes, riego y cosecha se las hace de manera manual como lo corrobora (Gezer et al., 2003). Respecto a los fertilizantes orgánicos se encontraron resultados parecidos en huertos agrícolas orgánicos en Reino Unido quienes reportaron que uno de los mayores contribuyentes de energía fue el compost con 23.6% (Schramski et al., 2013). También en otra investigación reportaron entradas de fertilizantes orgánicos e inorgánicos con porcentajes de 16.33% y 20.94% en huertos de aguacate orgánicos y convencionales en México (Astier et al., 2014).

UCUENCA

En los cultivos de ciclo corto se analizaron 39 sistemas de producción y reveló que 35 tienen balances positivos y son energéticamente eficientes y los 4 restantes tuvieron balances negativos y fueron energéticamente ineficientes. La energía neta (NE) tuvo una media de 14155.04 MJ/ha. y la eficiencia energética promedio fue de 6.33 MJ/ha. Resultados similares obtuvieron Kazemi et al. (2015) en producción de habas en Irán con una EE de 4.70 MJ/ha, mientras que menores resultados al nuestro reportó Bojacá et al. (2010) donde obtuvieron una EE de 1.12 MJ/ha. en sistemas de horticultura periurbana en Colombia, de la misma manera Caldas et al. (2020) tuvieron una media de 2.05 MJ/ha. en sistemas mixtos en Paute-Ecuador. La eficiencia energética en cultivos de ciclo corto en Cutchil es alta en comparación de la literatura citada y está condicionado por las bajas entradas de energía que puede deberse al bajo uso de fertilizantes químicos y labores agrícolas básicas.

El aporte energético con mayor cantidad fue el agua (42.35 %), seguido de la mano de obra (17.50%) y fertilizantes orgánicos (9.46 %), nuestro estudio respalda lo encontrado por Mohammadi et al. (2008) en cultivos de papa y Canakci et al. (2005) en cultivos de maíz, quienes reportan entradas de energía del 12% y 34% por el insumo agua respectivamente, siendo indispensables en los cultivos de ciclo corto. Respecto a los fertilizantes orgánicos, coincidimos con lo encontrado por (Zea et al., 2020) donde mencionan que el gran aporte de energía de los abonos orgánicos se deriva del característico alto nivel de uso de este insumo en la provincia del Azuay. A lo largo de los años, la mayoría de las fincas han aumentado el uso de fertilizantes orgánicos, principalmente estiércol de pollo y han reducido el uso de fertilizantes sintéticos.

En el análisis de los sistemas de pastos los 44 predios tuvieron balances negativos y fueron energéticamente ineficientes. La energía neta tuvo una media -30620.53 MJ/ha. y la eficiencia promedio de 0.23 MJ/ha, lo que concuerda con lo encontrado por Unakitan et al. (2019) y Sefeedpari (2012) en granjas lecheras de Turquía e Irán, donde obtuvieron balances energéticos de -58256 MJ y -55217.3 MJ y eficiencias en el uso de energía de 0.23 MJ/ha. y 0.26 MJ/ha respectivamente, además el porcentaje con mayor aporte fue las entradas de alimento con un 52%, valores similares también obtuvo Hosseinzadeh-Bandbafha et al. (2018) en granjas lecheras de Irán con una EE de 0.16 MJ. Mientras que resultados diferentes a los nuestros encontraron (Guevara et al., 2013), (Guevara et al., 2006) y (Iermanó, 2015) con eficiencias de 4.5, 2.8 y 8 en sistemas ganaderos de México, Cuba y Argentina respectivamente. Estos estudios demostraron

UCUENCA

que la eficiencia energética fue superior debido al mayor rendimiento de producción de carne por hectárea, así como al menor consumo energético, además el número de unidades bovinas adultas por granja fue 50 como mínimo (Valdés et al., 2009).

El aporte energético con mayor cantidad fue el pasto (91.51%), seguido de los fertilizantes orgánicos (3.35 %) y los fertilizantes químicos (2.04 %), lo que concuerda parcialmente con Pérez et al. (2014) quienes estimaron que el 86% se debe a la alimentación entre pasto y pienso, mientras que no reportaron valores para fertilizantes en ganadería orgánica en Andalucía, España, además los autores antes mencionados concuerdan que el mayor aporte energético se da por la alimentación a base de pasto y concentrados.

En los sistemas de producción agroforestal, ciclo corto y pasto los datos correspondientes a la variable eficiencia energética tuvieron diferencias significativas entre los sistemas de producción agroforestal – pasto y cultivos de ciclo corto – pasto, mientras que entre los sistemas de producción agroforestal – cultivo de ciclo corto no existieron diferencias significativas, esto concuerda con la literatura consultada en donde la eficiencia energética en sistemas agroforestales mantiene valores de 1.6, 1.0, 1.1 y 1.01 (Aydın et al., 2018; Rafiee et al., 2010; Reganold et al., 2001; Strapatsa et al., 2006) y los cultivos de ciclo corto (1.12, 2.5) (Bojacá et al., 2010; Caldas et al., 2020) en donde estos también mantienen rangos similares a los sistemas agroforestales, sin embargo la diferencia con los sistemas productivos de pasto son evidentes y además ineficientes con valores de 0.23, 0.26 y 0.16 (Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2018; Sefeedpari, 2012; Unakitan et al., 2019), estas diferencias significativas se deben a los elevados valores de ingreso de energía proveniente de los pasto y a la baja cantidad de salidas de productos lácteos y carne en sistemas de pastizales que también son pequeños en comparación con los sistemas energéticos eficientes ganaderos que tienen granjas con pastizales extensos (Iermanó, 2015).

En los sistemas de producción agroforestales y cultivos de ciclo corto, las entradas de energía con la eficiencia energética se relacionaron significativamente, en donde a menores entradas de energía se relacionaba con mayores niveles de eficiencia energética. Por otro lado, en los sistemas de cultivos de ciclo corto y pastizales las salidas de energía con la eficiencia energética se relacionaron significativamente, en donde a mayores salidas de energía hubo también mayores niveles de eficiencia energética. En los sistemas de producción de la parroquia de Cutchil de

UCUENCA

manera general también existieron relaciones significativas similares entre entradas de energía y EE donde también a menores ingresos resultaba en mayores niveles de EE, además a mayores salidas de energía resultaba en mayores niveles de EE, esto concuerda con lo encontrado por Rathke et al. (2007) en su investigación sobre efectos de labranza en los balances energéticos de maíz y soja en Nebraska, donde observaron que la eficiencia en el uso de la energía aumenta al aumentar el rendimiento del cultivo y/o al disminuir el consumo de insumos energéticos, de tal manera que la eficiencia en el uso de la energía tendía a aumentar cuando se reducían las operaciones de labranza del suelo. El uso efectivo de la energía en la agricultura es una de las condiciones para la producción agrícola sostenible (Alla et al., 2014).

En la misma línea hubo una relación significativa entre la altura m s.n.m. y EE donde a mayor altura, menor eficiencia y viceversa, esto se debe a que los sistemas de pastizales se ubican a mayores alturas y además tuvieron menores niveles de eficiencia, mientras que los SAF y cultivos de ciclo corto predominaban a menores alturas y además tenían mayores niveles de eficiencia energética. Por otra parte, también hubo una relación significativa entre el tamaño de la finca y la EE, donde a menor tamaño de la parcela existía mayores niveles de eficiencia energética, esto se debe a que los sistemas agroforestales y ciclo corto además de ser eficientes, tuvieron áreas promedio de 0.46 ha respectivamente, mientras que los pastos además de ser ineficientes, tuvieron áreas con un promedio de 3.21 ha. Esto no concuerda con lo reportado por Zea et al. (2020) donde detectaron que el tamaño de la finca se relacionó significativamente tanto con EE como con NE, siendo las fincas más grandes más eficientes y productivas que las fincas más pequeñas.

5.4 Tipificación de los sistemas de producción.

En los sistemas de producción de la parroquia de Cutchil el área de los sistemas forestales presentó una media de 0.51 ha, de la misma manera en los cultivos de ciclo corto el promedio fue de 0.41 ha, mientras que en los sistemas de pastos el área promedio fue de 3.21 ha. Esto concuerda con lo obtenido por Admasu et al. (2022). en su estudio sobre impactos de las prácticas agroforestales basadas en manzanas en los medios de vida de los pequeños agricultores en el sur de Etiopía, quienes observaron que las parcelas agrícolas de los agricultores cubiertas por los manzanos en Chenchá tenían una media de 0.28 ha. Resultados diferentes encontraron Seid et al. (2022) en huertos familiares, quienes identificaron un promedio de 0.103 ha, de la misma manera Kebebew et al. (2011) informaron que los huertos familiares en Jimma, Etiopía tenían un promedio

UCUENCA

de 0.15 ha. Los sistemas de producción en la parroquia Cutchil son pequeños, sin embargo, comparten esta característica con los terrenos de pequeños agricultores de otros lugares.

La ubicación de los sistemas de producción de la parroquia de Cutchil respecto a la altura, mostró que los sistemas agroforestales se ubican a una media de 2609 m s.n.m., similar a esto en los cultivos de ciclo corto la altura promedio de 2651 m s.n.m., en cambio los sistemas de pastos están ubicados a una altura promedio de 2770 m s.n.m. Este rango de alturas es similar a lo encontrado por Sánchez Salinas (2017) en San Joaquín, Azuay, debido a que tanto la parroquia Cutchil y San Joaquín comparten un piso climático templado interandino.

En los sistemas de producción agroforestal, una parcela está compuesta por una media de 7.33 especies de interés agrícola, similares valores tuvieron los sistemas de cultivos de ciclo corto con una parcela compuesta por una media de 6.97 especies, mientras que en los sistemas de pastos una finca está compuesta por una media 2.21 especies. Esto concuerda con lo obtenido por N'Woueni et al. (2021) en un estudio sobre diversidad de plantas en los sistemas agroforestales donde estimaron un total de 8 especies, lo que indica una diversidad muy baja en los sistemas agroforestales, datos iguales encontró Haas et al. (2001) en la agricultura de pastizales en el sur de Alemania, donde la diversidad de especies de pastizales es baja.

Las especies agroforestales con mayor frecuencia en los sistemas agroforestales fueron *Malus domestica.*, *Prunus persica.*, *Prunus domestica L.*, *Pyrus communis.*, *Prunus domestica subsp. italica.* y *Prunus salicifolia.* junto a estas especies también están las de ciclo como los son *Zea mays.*, *Phaseolus vulgaris.*, *Vicia faba.* que también son especies acompañantes en los sistemas agroforestales, en menor porcentaje de SAF se encuentra *Brassica oleracea var. capitata.*, *Daucus carota.* y *Allium cepa.*, esto concuerda con Tamayo (2015) quien menciona que en Ecuador, los campesinos combinan cultivos de manzana (*Malus sp.*) y durazno (*Prunus persica*) con especies de ciclo corto como *Zea mays.* en arreglos conocidos como huertas frutícolas con el fin de maximizar el uso de la tierra y diversificar la oferta de productos. Esta combinación de cultivos con árboles frutales ayuda a promover la diversificación de un agroecosistema, mejorar el microclima, controlar la erosión, dotar de fertilidad natural al suelo, capturar y almacenar carbono, mejorar y diversificar el ingreso familiar (Altieri et al., 2006; Jadán et al., 2012; Pocomucha et al., 2016).

UCUENCA

Las especies de ciclo corto con mayor frecuencia en los sistemas de cultivos de ciclo corto fueron *Phaseolus vulgaris*. y *Zea mays*. ambas con el 89.74%, también están *Vicia faba*. y *Pisum sativum*., en menores porcentajes de cultivos de ciclo corto están *Brassica oleracea var. capitata*. y *Allium cepa*., junto a estas especies también están acompañando las agroforestales con frecuencia *Malus domestica*., *Prunus persica*. y *Prunus domestica L.*, lo que concuerda con González et al. (2018) en México, donde menciona que uno de los sistemas insignia del cultivo múltiple en esta categoría es la milpa, implementada desde épocas prehispánicas y está conformada principalmente por maíz (*Zea mays*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*) y calabaza (*Curcubita pepo*.) (Ebel et al., 2017), además estas pueden estar asociadas a cultivos perennes (Aguilar et al., 2003). También en áreas campesinas de Ecuador, es habitual la mezcla de variedades de fréjol en asocio con maíz, tradicionalmente conocido como chacra, a fin de disminuir la propagación de plagas, enfermedades y generar alimentos en diferentes temporadas (Ochoa Lozano, 2018).

Las especies de pastos con mayor frecuencia en los sistemas de pastos fueron *Pennisetum clandestinum*. que estuvo presente en el 100% de los pastizales, le sigue *Trifolium repens*., *Lolium perenne*. y *Holcus lanatus*., lo que concuerda con (Chamorro et al., 2017; Rivera et al., 2015; Urbano et al., 2006) donde mencionan que las principales especies utilizadas están relacionadas con el uso de gramíneas en asocio de leguminosas a fin de dotar a las crías de una alimentación balanceada, incrementar los rendimientos, mejorar las características del suelo y generar mayores ingresos agrícolas.

6 CONCLUSIONES.

En los sistemas de producción agroforestal, las variables riqueza de especies, carbono y eficiencia energética no tuvieron relación, esto afirma que en los sistemas agroforestales estudiados la riqueza de especies no condiciona la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea, de igual manera la eficiencia energética no depende de la riqueza de especies.

En los sistemas de producción analizados la eficiencia energética fue similar en entre los sistemas agroforestales y cultivos de ciclo corto, mientras que los sistemas de pastos fueron significativamente diferentes respecto a los SAFs y cultivos de ciclo corto.

UCUENCA

En los sistemas agroforestales de la parroquia de Cutchil se concluye que la cantidad de carbono almacenado fue similar en los tres transectos altitudinales debido a la similitud en la composición florística, edad, manejo y densidad arbórea de los SAFs. La especie que acumuló mayor carbono fue *Malus domestica*. debido a la abundancia de individuos en esta especie, convirtiéndola en sumideros de carbono efectivo. Los sistemas agroforestales son importantes a la hora de almacenar carbono y prestar servicios ecosistémicos.

Se concluye que la diversidad en sistemas agroforestales es baja debido a una distribución de especies e individuos sin equidad que se atribuye a un manejo selectivo de especies por parte de los productores, lo que ha provocado la existencia de dominancia de *Malus domestica*. sobre otras especies y además a tener parcelas semejantes, aunque los esfuerzos de muestreo no fueron suficientes para conocer el número total de especies agroforestales en la parroquia Cutchil.

Los sistemas agroforestales y cultivos de ciclo corto fueron eficientes, mientras que, los pastos fueron ineficientes energéticamente, se concluye que la principal razón para estas diferencias es la variación de la demanda de energía entre sistemas productivos. Las diferencias significativas se dieron entre (SAFs - pasto) y (cultivos de ciclo corto – pasto) debido a los elevados valores de ingreso de energía proveniente del pasto y a la baja cantidad de salidas de productos lácteos y carne en sistemas de pastizales. La mano de obra presentó un gasto energético importante en SAFs, mientras que el agua demandó más energía en cultivos de ciclo corto y en los sistemas de pastizales la mayor entrada de energía provino del insumo pasto. También se concluye que la eficiencia energética de los sistemas de producción estuvo relacionada con las entras y salidas de energía, de igual manera con el área de las parcelas y la altura a la que se encontraban ubicadas.

En los sistemas de producción de la parroquia de Cutchil se concluye que el área de los sistemas de producción es pequeña y están ubicados en un piso climático templado interandino. Los sistemas de producción agroforestal y cultivos de ciclo corto en la parroquia de Cutchil comparten las mismas especies, mientras que los sistemas de pastos están compuestos por gramíneas y leguminosas.

7 RECOMENDACIONES.

En la parroquia de Cutchil es la primera investigación sobre carbono y diversidad de especies en sistemas agroforestales, por lo que se recomienda realizar mediciones de estas mismas variables a nivel forestal en el bosque protector Moya-Molón presente en esta zona de estudio.

Se recomienda socializar este trabajo de investigación con el GAD de Cutchil, para que los resultados sirvan en la toma de decisiones para el desarrollo productivo agrícola.

8 BIBLIOGRAFÍA.

- Admasu, T. G., y Jenberu, A. A. (2022). The Impacts of Apple-based Agroforestry Practices on the Livelihoods of Smallholder Farmers in Southern Ethiopia. *Trees, Forests and People*, 7, 100205. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100205>
- Aguilar, J., Illsley, C., y Marielle, C. (2003). Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos. *Sin maíz no hay país*, 83-122.
- Alla, A. A., Alhafiez, A., y Abdo, S. (2014). Energy consumption for production of some winter food crops in river Nile state, Sudan. *J. Nat. Resour. Environ. Stud.*, 2, 7-11.
- 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.
- Altieri, M., y Nicholls, C. (2005). Agroecology the Search for a Truly Sustainable Agriculture:- 2005 (English version)-University of California. *Berkeley-UN, Environment Programme Environmental Training Network for Latin America and the Caribbean*.
- Altieri, M. A., y Nicholls, C. (2006). Optimizando el manejo agroecológico de plagas a través de la salud del suelo. *Agroecología*, 1, 29-36.
- Alvarado, I., y Cobos, C. S. (2019). *Relaciones entre la estructura y cobertura arbórea con el carbono almacenado en bosques montanos Andinos en el macizo del Cajas, Azuay-Ecuador.*, Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33587>
- Álvarez, A., y Mercadet, A. (2007). El cambio climático y la actividad agraria. Memorias del IV Congreso Forestal de Cuba.[cd-rom]. Instituto de investigaciones forestales-MINAG. La Habana, Cuba.
- Andrade, H., y Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles. *Agroforestería en las Américas*, 10(39-40), 109-116.
- Aquino, M., Velázquez, A., Etchevers, J. D., y Castellanos, J. F. (2018). Concentración de carbono en tres especies de árboles tropicales de la sierra sur de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 52(3), 455-465.
- Astier, M., Merlín-Uribe, Y., Villamil-Echeverri, L., Garciarreal, A., Gavito, M. E., y Masera, O. R. (2014). Energy balance and greenhouse gas emissions in organic and conventional avocado orchards in Mexico. *Ecological indicators*, 43, 281-287.
- Avila, G., Beer, J., Gómez, M., Ibrahim, M., y Jiménez Otárola, F. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica Carbon storage and fixation, and evaluation of environmental services in agroforestry systems in Costa Rica. *Agroforestería en las Américas (CATIE) v. 8 (30) p. 32-35*.
- 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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.087>
- Bartelink, H. (1996). Allometric relationships on biomass and needle area of Douglas-fir. *Forest Ecology and Management*, 86(1-3), 193-203.
- Beaton, C. (2006). *The Farm Management Handbook 2006/7. SAC, Edinburgh*.
- Bojacá, C. R., Casilimas, H. A., Gil, R., y Schrevens, E. (2012). Extending the input-output energy balance methodology in agriculture through cluster analysis. *Energy*, 47(1), 465-470. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.051>

- Bojacá, C. R., y Schrevens, E. (2010). Energy assessment of peri-urban horticulture and its uncertainty: Case study for Bogota, Colombia. *Energy*, 35(5), 2109-2118. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.01.029>
- Bonel, B., Denoia, J., Di Leo, N., Montico, S., y Vilche, M. (2005). Análisis energético de las unidades de tierra de una cuenca rural. *FAVE. Sección Ciencias Agrarias* Vol. 4, no. 1/2 (2005), p. 37-47.
- Brack, A. (2005). Diversidad biológica y mercados. Ministerio de la agricultura de Perú. Consultado [6-3-2006]. In.
- Brown, P., Cabarle, B., Livernash, R., y Institute, W. R. (1997). *Carbon counts: estimating climate change mitigation in forestry projects*: World Resources Institute Washington, DC.
- Caldas, K., y Cedillo, D. (2020). Evaluación de la sostenibilidad, eficiencia energética y agrobiodiversidad funcional de los sistemas de producción agrícolas presentes en la microcuenca del río Cutilcay.
- Camino, R. d., y Müller, S. (1993). *Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer indicadores* (1011-7741). Retrieved from
- Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., y Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 46(4), 655-666. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.04.008>
- Cano, A. (2009). Diversidad y composición florística de tres tipos de bosque en la Estación Biológica Caparú, Vaupés, Colombia.
- Castañeda, A. E., y Montes, C. R. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 13(1), 210-221.
- Castillo Corozo, E. L., y Siguencia Cruz, S. P. (2020). *Actualización del inventario de atractivos turísticos naturales y culturales del cantón Sígsig de la provincia del Azuay, con base en la Metodología del Ministerio de Turismo del Ecuador del 2018*. Universidad de Cuenca, Cuenca-Azuay. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34900>
- Castro, J., y Amador, M. (2006). Emisión de gases de efecto invernadero y agricultura orgánica. *Enfoque metodológico: emisión de gases de efecto invernadero, la fijación de Carbono y la agricultura orgánica. Costa Rica*.
- Cerda, R. (2011). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao de Centroamérica. *IV Foro Nacional de Cacao en Panamá*.
- Chamorro, D., y Rey, A. (2017). Los sistemas silvopastoriles como estrategia de ganadería ecológica y productiva en Colombia. *Producción de carne y leche bovina en sistemas silvopastoriles*, 52-54.
- Chave, J., Réjou, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., et al. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology*, 20(10), 3177-3190. doi:<https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chilpe, J. (2018). Evaluación de la sostenibilidad de sistemas de producción hortícola pequeños y medianos de la Parroquia San Joaquín del Cantón Cuenca. *Obtenido de Universidad de Cuenca*.
- Chisanga, K., Bhardwaj, D. R., Pala, N. A., y Thakur, C. L. (2018). Biomass production and carbon stock inventory of high-altitude dry temperate land use systems in North Western Himalaya. *Ecological Processes*, 7(1), 22. doi:10.1186/s13717-018-0134-8
- Claessens, L., Stoorvogel, J., y Antle, J. (2008). Ex ante assessment of dual-purpose sweet potato in the crop–livestock system of western Kenya: A minimum-data approach. *Agricultural Systems*, 99(1), 13-22.

- Concha, J. Y., Alegre, J. C., y Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología aplicada*, 6(1-2), 75-82.
- Conde, C., y Saldaña, S. (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Ambiente y desarrollo*, 23(2), 23-30.
- Cong, W.-F., van Ruijven, J., Mommer, L., De Deyn, G. B., Berendse, F., y Hoffland, E. (2014). Plant species richness promotes soil carbon and nitrogen stocks in grasslands without legumes. *Journal of Ecology*, 102(5), 1163-1170. doi:<https://doi.org/10.1111/1365-2745.12280>
- Crespo, H. (2018). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial para el GAD Parroquial Rural de Cutchil-año 2018*. Cutchil-Azuay-Ecuador. Retrieved from <http://gpcuchil.gob.ec/azuay/wp-content/uploads/2017/01/Alineacion-PDOT-Cuchil-2018.compressed.pdf>.
- Cristiano, S. (2021). Organic vegetables from community-supported agriculture in Italy: Energy assessment and potential for sustainable, just, and resilient urban-rural local food production. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126015.
- Cuenca, M. E., Jadán, O., Cueva, K., y Aguirre, C. (2017). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. *Cedamaz*, 4(1).
- Defra. (2005). Agriculture and food-quick statistics. *National Statistics Defra. UK*.
- Defra. (2007). Agriculture in the United Kingdom 2006. . *HMSO, Norwich, UK*.
- Delgado, E. J., Rubio, M. S., Iturbe, F. A., Méndez, R. D., Cassís, L., y Rosiles, R. (2005). Composition and quality of Mexican and imported retail beef in Mexico. *Meat Science*, 69(3), 465-471.
- Demircan, V., Ekinci, K., Keener, H. M., Akbolat, D., y Ekinci, C. (2006). Energy and economic analysis of sweet cherry production in Turkey: A case study from Isparta province. *Energy Conversion and Management*, 47(13), 1761-1769. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.10.003>
- Denoia, J., Vilche, M. S., Montico, S., Tonel, B., y Di Leo, N. (2006). Análisis descriptivo de la evolución de los modelos tecnológicos difundidos en el Distrito Zavalla (Santa Fe) desde una perspectiva energética. *Ciencia, docencia y tecnología*, 17(33).
- Dixon, J., Gulliver, A., y Gibbon, D. (2001). Sistemas de producción agropecuaria y pobreza: cómo mejorar los medios de subsistencia de los pequeños agricultores en un mundo cambiante. *Malcolm Hall. FAO*.
- Ebel, R., Pozas Cárdenas, J. G., Soria Miranda, F., y Cruz González, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 149-160.
- Ekinci, K., Akbolat, D., Demircan, V., y Ekinci, C. (2005). *Determination of energy use efficiency apple production in Isparta province*. Paper presented at the Turkey 3th Renewable Energy Sources Symposium, Mersin.
- Fifanou, V. G., Ousmane, C., Gauthier, B., y Brice, S. (2011). Traditional agroforestry systems and biodiversity conservation in Benin (West Africa). *Agroforestry systems*, 82(1), 1-13. doi:10.1007/s10457-011-9377-4
- Flores, J. C. (2014). *Evaluación de los servicios de agrobiodiversidad y carbono almacenado de los sistemas agroforestales de la zona Iztaccíhuatl-Popocatepetl*.
- Fokaides, P. A., Tofas, L., Polycarpou, P., y Kylili, A. (2015). Sustainability aspects of energy crops in arid isolated island states: The case of Cyprus. *Land Use Policy*, 49, 264-272.

- Garrido, V. (2006). Recomendaciones y estrategias para desarrollar la Agricultura Ecológica en Iberoamérica. *CYTED. Cooperación Iberoamericana*.
- Gezer, I., Acaroğlu, M., y Haciseferoğullari, H. (2003). Use of energy and labour in apricot agriculture in Turkey. *Biomass and bioenergy*, 24(3), 215-219. doi:[https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00116-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00116-2)
- González, A. Y. V., Mejía, M. C. C., Tapia, F. H., y Meléndez, F. C. (2018). Milpa y seguridad alimentaria: El caso de San Pedro El alto, México. *Revista de ciencias sociales*, 24(2), 24-36.
- Gotelli, N. J., y Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(4), 379-391. doi:<https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x>
- Guevara, F., Rodríguez, L., Saraoz, V., La, M., Gómez, H., Pinto, R., et al. (2013). Balance energético del sistema local de producción de bovinos de engorde en Tecpatán, Chiapas, México. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(4), 359-365.
- Guevara, V., Rivero, A., Guevara, V., y Curbelo, R. (2006). Balance de energía y sostenibilidad en un sistema ganadero-forestal. *Rev. Prod. Anim*, 18(2), 121-126.
- Haas, G., Wetterich, F., y Köpke, U. (2001). Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, ecosystems & environment*, 83(1), 43-53. doi:[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00160-2)
- Herbas, C. S., Barra, N., y Azero, M. (2018). Fijación de carbono en 10 sistemas agroforestales dinámicos (SAFD) de la zona seca de Cochabamba. *Desafíos científicos*, 173.
- Hernanz, J. L. (2006). La Agricultura de Conservación: una revisión a la rentabilidad energética. *Agricultura de conservación: AC*(4), 18-24.
- Hooper, D. (2005). Chapin iii FS. *Ewel JJ, Hector A, Inchausti P, Lavorel S, Lawton JH, Lodge DM, Loreau M, Naeem S, Schmid B, Setälä H, Symstad AJ, Vandermeer J, Wardle DA*, 3-35.
- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Safarzadeh, D., Ahmadi, E., y Nabavi-Pelesaraei, A. (2018). Optimization of energy consumption of dairy farms using data envelopment analysis – A case study: Qazvin city of Iran. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(3), 217-228. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.04.006>
- Iermanó, M. J. (2015). *Sistemas mixtos familiares de agricultura y ganadería pastoril de la región pampeana: eficiencia en el uso de la energía y rol funcional de la agrobiodiversidad*. Universidad Nacional de La Plata,
- IPCC, I. P. o. C. C. (2003). Orientación del IPCC sobre las buenas practicas para UTCUTS [En línea]. *IPCC (Geneve). versión en español*, 3, 325p.
- Jadán, O., Navarrete, S. B. T., y Günter, S. (2012). Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. *UEA/ Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 1(3), 173-185.
- Kavargiris, S. E., Mamolos, A. P., Tsatsarelis, C. A., Nikolaidou, A. E., y Kalburtji, K. L. (2009). Energy resources' utilization in organic and conventional vineyards: Energy flow, greenhouse gas emissions and biofuel production. *Biomass and bioenergy*, 33(9), 1239-1250.

- Kazemi, H., Shahbyki, M., y Baghbani, S. (2015). Energy analysis for faba bean production: A case study in Golestan province, Iran. *Sustainable Production and Consumption*, 3, 15-20. doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2015.07.004>
- Kebebew, Z., Garedew, W., y Debela, A. (2011). Understanding homegarden in household food security strategy: case study around Jimma, Southwestern Ethiopia. *Res J Appl Sci*, 6(1), 38-43.
- Klinge, H., Rodrigues, W., Brunig, E., y Fittkau, E. (1975). Biomass and structure in a central Amazonian rain forest. In *Tropical ecological systems* (pp. 115-122): Springer.
- Kumar, A., Tirkey, J. V., y Shukla, S. K. (2021). Comparative energy and economic analysis of different vegetable oil plants for biodiesel production in India. *Renewable energy*, 169, 266-282.
- Kumar, B. (2006). Carbon sequestration potential of tropical homegardens. In *Tropical Homegardens* (pp. 185-204): Springer.
- Kuswardhani, N., Soni, P., y Shivakoti, G. P. (2013). Comparative energy input–output and financial analyses of greenhouse and open field vegetables production in West Java, Indonesia. *Energy*, 53, 83-92.
- León, R., Bonifaz, N., y Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador Siembra y producción de pasturas*.
- Lillywhite, R., Chandler, D., Grant, W., Lewis, K., Firth, C., Schmutz, U., et al. (2007). Environmental footprint and sustainability of horticulture (including potatoes)—A Comparison with other agricultural sectors. *Final report of Defra project WQ0101*.
- Litskas, V., Chrysargyris, A., Stavrinides, M., y Tzortzakis, N. (2019). Water-energy-food nexus: A case study on medicinal and aromatic plants. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1334-1343.
- M'Woueni, D., Gaoue, O. G., Balagueman, R. O., Biaou, H. S. S., y Natta, A. K. (2019). Road mediated spatio-temporal tree decline in traditional agroforests in an African biosphere reserve. *Global Ecology and Conservation*, 20, e00796. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00796>
- Ma, Z., Chen, H. Y. H., Bork, E. W., Carlyle, C. N., y Chang, S. X. (2020). Carbon accumulation in agroforestry systems is affected by tree species diversity, age and regional climate: A global meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, 29(10), 1817-1828. doi:<https://doi.org/10.1111/geb.13145>
- MAG. (2020). Lista de plaguicidas y productos afines de uso agrícola registrados - Ecuador.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*: Princeton university press.
- Magurran, A. E. (2004). Measuring biological diversity. *Current Biology*, 31(19), R1174-R1177.
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., et al. (2009). Mixing Plant Species in Cropping Systems: Concepts, Tools and Models: A Review. In E. Lichtfouse, M. Navarrete, P. Debaeke, S. Véronique, y C. Alberola (Eds.), *Sustainable Agriculture* (pp. 329-353). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Mandal, K., Saha, K. P., Ghosh, P., Hati, K., y Bandyopadhyay, K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and bioenergy*, 23(5), 337-345.
- Margalef, R. (1968). *Perspectives in Ecological Theory*.
- Margalef, R. (1972). *Homage to Evelyn Hutchinson, or why there is an upper limit to diversity*: Connecticut Academy of Arts and Sciences.
- Margalef, R. (1993). *Teoría de los sistemas ecológicos* (Vol. 1): Edicions Universitat Barcelona.

- Margalef, R. (1995). Ecología: 1-951. *Omega, Barcelona, Spain*.
- Martin, D. A., Wurz, A., Osen, K., Grass, I., Hölscher, D., Rabemanantsoa, T., et al. (2021). Shade-Tree Rehabilitation in Vanilla Agroforests is Yield Neutral and May Translate into Landscape-Scale Canopy Cover Gains. *Ecosystems*, 24(5), 1253-1267. doi:10.1007/s10021-020-00586-5
- McGill, B. J., Enquist, B. J., Weiher, E., y Westoby, M. (2006). Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in ecology & evolution*, 21(4), 178-185.
- Milera, M. (2013). Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. *Avances en investigación Agropecuaria*, 17(3), 7-24.
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., y Rafiee, H. (2010). Energy inputs–yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. *Renewable energy*, 35(5), 1071-1075.
- Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., Shahin, S., Rafiee, S., y Keyhani, A. (2008). Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy Conversion and Management*, 49(12), 3566-3570. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.07.003>
- Montagnini, F., Somarriba Chávez, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B., Combe, J., et al. (2015). *Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Paper presented at the Biocenosis (Costa Rica) v. 2 (3) p. 5-6.
- Muchane, M. N., Sileshi, G. W., Gripenberg, S., Jonsson, M., Pumariño, L., y Barrios, E. (2020). Agroforestry boosts soil health in the humid and sub-humid tropics: A meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 295, 106899. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106899>
- Mulkey, S. S., Chazdon, R. L., y Smith, A. P. (2012). *Tropical forest plant ecophysiology*: Springer Science & Business Media.
- N'Woueni, D. K., y Gaoue, O. G. (2021). Species ethnobotanical values rather than regional species pool determine plant diversity in agroforestry systems. *Scientific reports*, 11(1), 23972. doi:10.1038/s41598-021-03408-3
- Nair, P. (1993). State-of-the-art of agroforestry research and education. *Agroforestry systems*, 23(2-3), 95-119.
- Nath, A. J., Sileshi, G. W., Laskar, S. Y., Pathak, K., Reang, D., Nath, A., et al. (2021). Quantifying carbon stocks and sequestration potential in agroforestry systems under divergent management scenarios relevant to India's Nationally Determined Contribution. *Journal of Cleaner Production*, 281, 124831. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124831>
- 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.
- Ochoa Lozano, J. (2018). Farmer crop variety mixtures to cope with disease epidemics in the common bean cropping system of the Ecuadorian highlands. *Sapienza Università di Roma*. <https://iris.uniroma1.it/handle/11573/1077355>.
- Odum, H. T. (1984). Energy Analysis of the Environmental Role in Agriculture. In G. Stanhill (Ed.), *Energy and Agriculture* (pp. 24-51). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Ordóñez, D. F., y Sumba, C. d. R. (2011). *Sígsig y sus parroquias: estudio histórico y geográfico*. Universidad de Cuenca Cuenca-Ecuador. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/1952>

- Ortiz, Á., Riascos, L., y Somarriba, E. (2008). Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas*.
- Ortuño, M., y Crespo, P. G. (2022). Evaluación de la riqueza florística, eficiencia energética y carbono aéreo almacenado en sistemas agroforestales en la microcuenca del río Cutilcay.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., y Fert, C. (2004). Energy input–output analysis in Turkish agriculture. *Renewable energy*, 29(1), 39-51.
- Palma, H. M. (2020). *Influencia de fitohormonas para aumentar los rendimientos en cultivos de ciclo corto*. BABAHOYO: UTB, 2020,
- Pérez, D., Soler Montiel, M., y Fernández, X. S. (2014). Energy indicators for organic livestock production: A case study from Andalusia, Southern Spain. *Agroecology and sustainable food systems*, 38(3), 317-335.
- 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.
- Pimentel, D. (1980). *Handbook of energy utilization in agriculture*: CRC press.
- Pino, M. d. I. A. (2008). Diversidad agrícola de especies de frutales en el agroecosistema campesino de la Comunidad Las Caobas, Gibara, Holguín. *Cultivos Tropicales*, 29, 5-10.
- Pocomucha, V. S., Alegre, J., y Abregú, L. (2016). Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huánuco. *Ecología aplicada*, 15(2), 107-114.
- Poveda, V., Orozco Aguilar, L., Medina, C., Cerda Bustillo, R., y López, A. (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua.
- Pretty, J., Smith, G., Goulding, K. W. T., Groves, S. J., Henderson, I., Hine, R. E., et al. (2008). Multi-year assessment of Unilever's progress towards agricultural sustainability I: indicators, methodology and pilot farm results. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 6(1), 37-62. doi:10.3763/ijas.2007.0322
- Rafiee, S., Mousavi Avval, S. H., y Mohammadi, A. (2010). Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy*, 35(8), 3301-3306. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.04.015>
- Rajput, B. S., Bhardwaj, D. R., y Pala, N. A. (2015). Carbon dioxide mitigation potential and carbon density of different land use systems along an altitudinal gradient in north-western Himalayas. *Agroforestry systems*, 89(3), 525-536. doi:10.1007/s10457-015-9788-8
- Rajput, B. S., Bhardwaj, D. R., y Pala, N. A. (2017). Factors influencing biomass and carbon storage potential of different land use systems along an elevational gradient in temperate northwestern Himalaya. *Agroforestry systems*, 91(3), 479-486. doi:10.1007/s10457-016-9948-5
- Rathke, G. W., Wienhold, B. J., Wilhelm, W. W., y Diepenbrock, W. (2007). Tillage and rotation effect on corn–soybean energy balances in eastern Nebraska. *Soil and Tillage Research*, 97(1), 60-70. doi:<https://doi.org/10.1016/j.still.2007.08.008>
- Rathore, S. S., Babu, S., Shekhawat, K., Singh, R., Yadav, S. K., Singh, V. K., et al. (2022). Designing energy cum carbon-efficient environmentally clean production system for achieving green economy in agriculture. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102190. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102190>
- Reganold, J. P., Glover, J. D., Andrews, P. K., y Hinman, H. R. (2001). Sustainability of three apple production systems. *Nature*, 410(6831), 926-930. doi:10.1038/35073574

- Rivera, J., Cuartas, C., Naranjo, J., Tafur, O., Hurtado, E., Arenas, F., et al. (2015). Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 27(10), 1-13.
- Roa, H. A., Salgado Mora, M. G., y Alvarez Herrera, J. (2009). ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ARBÓREA DEL SISTEMA AGROFORESTAL DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN EL SOCONUSCO, CHIAPAS - MÉXICO. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), 97-110.
- Rodríguez, I., Casimiro, L., Pérez Iglesias, H. I., y García Batista, R. M. (2020). Balance energético como indicador de sostenibilidad en sistemas de producción agrícola. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(3), 115-125.
- Romanelli, T. L., y Milan, M. (2010). Energy performance of a production system of eucalyptus. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14, 896-903.
- Royan, M., Khojastehpour, M., Emadi, B., y Mobtaker, H. G. (2012). Investigation of energy inputs for peach production using sensitivity analysis in Iran. *Energy Conversion and Management*, 64, 441-446. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.07.002>
- Salas Macías, C. A., Montes Escobar, K., Sánchez Sancán, G., Alcívar Chávez, W., Murillo Chóez, A., Vera Cedeño, F., et al. (2020). Influencia del gradiente altitudinal sobre la estimación del carbono almacenado en biomasa aérea viva y en suelos del "Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands". *Joa, Jipijapa. Ecosistemas*, 29(2), 1973. doi:10.7818/ECOS.1973
- Salmón, Y., Funes-Monzote, F. R., y Martín, O. M. (2012). Evaluación de los componentes de la biodiversidad en la finca agroecológica "Las Palmitas" del municipio Las Tunas. *Pastos y Forrajes*, 35, 321-332.
- Sánchez Salinas, D. L. (2017). *Caracterización de la sustentabilidad, eficiencia energética y rentabilidad económica de los sistemas de producción hortícola de la parroquia San Joaquín-Azuay-Ecuador*.
- Sarandón, S. J. (2010). Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable. Análisis del Convenio sobre Diversidad Biológica. *León Sicard, TE y Altieri, M., Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones, edit. Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA), Medellín, Colombia*, 105-129.
- Šarauskis, E., Romaneckas, K., Jasinskas, A., Kimbirauskienė, R., y Naujokienė, V. (2020). Improving energy efficiency and environmental mitigation through tillage management in faba bean production. *Energy*, 209, 118453.
- Schoeneberger, M. M. (2009). Agroforestry: working trees for sequestering carbon on agricultural lands. *Agroforestry systems*, 75(1), 27-37. doi:10.1007/s10457-008-9123-8
- 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 modelling*, 267, 102-114.
- Schulze, E.-D., Wirth, C., y Heimann, M. (2000). Managing forests after Kyoto. *Science*, 289(5487), 2058-2059.
- Sefeedpari, P. (2012). Assessment and optimization of energy consumption in dairy farm: energy efficiency. *Iranian (Iranica) Journal of Energy & Environment*, 3(3).

- Seid, G., y Kebebew, Z. (2022). Homegarden and coffee agroforestry systems plant species diversity and composition in Yayu Biosphere Reserve, southwest Ethiopia. *Heliyon*, 8(4), e09281. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09281>
- Shepherd, D., y Montagnini, F. (2001). ABOVE GROUND CARBON SEQUESTRATION POTENTIAL IN MIXED AND PURE TREE PLANTATIONS IN THE HUMID TROPICS. *Journal of Tropical Forest Science*, 13(3), 450-459.
- Silva Laya, S. J., Silva, H. J., y Pérez, S. (2017). Eficiencia energética y monetaria de sistemas de producción de durazno (*Prunus persica*) en El Jarillo, Venezuela. *Idesia (Arica)*, 35(4), 17-26.
- Singh, J. (2002). On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. *Master of Science. Germany: International Institute of Management, University of Flensburg*.
- Soler, P., Berroterán, J., Gil, J., y Acosta, R. (2012). Importance value index, diversity and floristic similarity of woody species in three ecosystems of the llanos centrales of Venezuela. *Agronomía Tropical (Maracay)*, 62(1/4), 25-37.
- Somerfield, P. J., Clarke, K. R., y Warwick, R. M. (2008). Simpson Index. In S. E. Jørgensen y B. D. Fath (Eds.), *Encyclopedia of Ecology* (pp. 3252-3255). Oxford: Academic Press.
- Strapatsa, A., Nanos, G., y Tsatsarelis, C. (2006). Energy flow for integrated apple production in Greece. *Agriculture, ecosystems & environment*, 116(3), 176-180. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.02.003>
- Stupino, S., Iermanó, M. J., Gargoloff, N. A., y Bonicatto, M. (2014). La biodiversidad en los agroecosistemas. *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Colección libros de cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Capítulo, 5*, 131-158.
- Súarez, A., y Somarriba, E. (2002). Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 9(35-36), 50-54.
- Suárez, G. M., Avendaño-Arrazate, C. H., Ruíz-Cruz, P. A., y Estrada-de los Santos, P. (2019). Tree diversity and stored carbon in cocoa (*Theobroma cacao* L.) agroforestry systems in Soconusco, Chiapas, Mexico. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 25(3), 315-332.
- Tamayo, C. V. (2015). *Análisis de las economías campesinas en la acequia Mocha-Huachi, provincia de Tungurahua*. Quito: UCE,
- Tsatsarelis, C. A., y Koundouras, D. S. (1994). Energetics of baled alfalfa hay production in northern Greece. *Agriculture, ecosystems & environment*, 49(2), 123-130.
- Unakitan, G., Hurma, H., y Yilmaz, F. (2010). An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Energy*, 35(9), 3623-3627.
- Unakitan, G., y Kumbar, N. (2019). Analysis of feed conversion efficiency in dairy cattle farms in Thrace Region, Turkey. *Energy*, 176, 589-595. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.031>
- Urbano, D., Dávila, C., y Moreno, P. (2006). Efecto de las leguminosas arbóreas y la suplementación con concentrado sobre la producción de leche y cambio de peso en vacas doble propósito. *Zootecnia tropical*, 24(1), 69-83.
- Valdés, N., Pérez, D., Márquez, M., Angarica, L., y Vargas, D. (2009). Funcionamiento y balance energético en agroecosistemas diversos. *Cultivos Tropicales*, 30, 00-00.

- Villareal, H. M., Álvarez, M., Córdoba-Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., et al. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad.
- Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N., Verardo, D. J., y Dokken, D. J. (2000). *Land use, land-use change and forestry: a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: Cambridge University Press.
- Whittaker, R. H. (1960). Vegetation of the Siskiyou mountains, Oregon and California. *Ecological monographs*, 30(3), 279-338.
- Wu, J., Zeng, H., Zhao, F., Chen, C., Liu, W., Yang, B., et al. (2020). Recognizing the role of plant species composition in the modification of soil nutrients and water in rubber agroforestry systems. *Science of The Total Environment*, 723, 138042. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138042>
- Wurz, A., Tschardtke, T., Martin, D. A., Osen, K., Rakotomalala, A. A. N. A., Raveloaritiana, E., et al. (2022). Win-win opportunities combining high yields with high multi-taxa biodiversity in tropical agroforestry. *Nature Communications*, 13(1), 4127. doi:10.1038/s41467-022-30866-8
- Yadav, G. S., Das, A., Kandpal, B. K., Babu, S., Lal, R., Datta, M., et al. (2021). The food-energy-water-carbon nexus in a maize-maize-mustard cropping sequence of the Indian Himalayas: An impact of tillage-cum-live mulching. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111602. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111602>
- Yaldiz, O., Ozturk, H., Zeren, Y., y Bascetincelik, A. (1993). *Energy usage in production of field crops in Turkey*. Paper presented at the 5th International Congress on Mechanisation and Energy Use in Agriculture. Turkey: Kusadasi.
- Yepes, A., Navarrete, D., Duque, A., Phillips, J., Cabrera, K., Álvarez, E., et al. (2011). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. *IDEAM. Bogotá, Colombia*.
- Zaldaña Angulo, F. D. (2019). Determinación de emisiones de gases de efecto invernadero y alternativas para la gestión eficiente de captura de carbono a través de la herramienta Cool Farm Tool en los sistemas de producción de Coffea sp. En Rodríguez de Mendoza–Amazonas 2018.
- Zavala, W., Merino, E., y Peláez, P. (2018). Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 493-501.
- Zea, P., Chilpe, J., Sánchez, D., y Chica, E. J. (2020). ENERGY EFFICIENCY OF SMALLHOLDER COMMERCIAL VEGETABLE FARMS IN CUENCA (ECUADOR). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(2).
- Zomer, R. J., Neufeldt, H., Xu, J., Ahrends, A., Bossio, D., Trabucco, A., et al. (2016). Global Tree Cover and Biomass Carbon on Agricultural Land: The contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. *Scientific reports*, 6(1), 1-12.

9 ANEXOS.

Anexo 1.

Diseño de encuesta para recopilación de datos de eficiencia energética.

ENCUESTA EFICIENCIA ENERGÉTICA					
Evaluación de fincas EE					
Sígsig – Cutchil	Sector:			datum (UTM)	
# de finca:				X:	
# parcela:					
Propietario:				Y:	
Fecha:					
Área:		Tipo de finca:			

a. ¿Cuál es la cantidad producida de cultivos de ciclo corto, fruta o pasto total y mensualmente y cuál es el precio promedio de las mismas?

Hortaliza, Fruta, Pasto.	Total (Kg)	Consumo Familiar (Kg)	Venta (Kg)/mes	Cantidad de meses	Precio/kg
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

b. ¿Cuál es la cantidad mensual de insumos agrícolas que ocupa en la producción de cultivos de ciclo corto, fruta o pasto?

Insumo	Cantidad Kg	Precio
Fertilizantes orgánicos		
A		
B		
C		
D		
E		
Fertilizantes sintéticos		
A		

c. ¿Cuál es la cantidad (h) de herramientas, equipos e instalaciones agrícolas que utiliza para la agricultura o ganadería?

Herramienta	Cantidad (horas)	Precio
Tractor		
Bombas de aspersión		
Picos, palas, azadillas, barretas		
Sistema de Riego		
Invernaderos		
Yunta		

UCUENCA

B		
C		
D		
E		
Agroquímicos		
A		
B		
C		
D		
E		
Enmiendas		
A		
B		
C		
Semillas		
A		
B		
C		
D		
E		
Plántulas		
A		
B		
C		
D		

d. ¿Cuál es la cantidad y costo mensual de los servicios básicos de su finca?

Servicio	Cantidad	Precio
Agua potable		
Agua de riego		
Luz		

d. ¿Paga algún tipo de renta por la utilización de las tierras para el cultivo de ciclo corto, fruta o pasto?

SI	NO	¿Cuánto?	
----	----	----------	--

e. ¿Cuál es el capital invertido en su producción de cultivo de ciclo corto, fruta o pasto?

\$

f. ¿Contrata jornales para la producción de hortalizas, fruta o pasto? ¿Cuál es el salario promedio de un jornal?

SI	NO	¿Cuánto?	\$
Número de Jornales		Cantidad días	

UCUENCA

Anexo 2.

Delimitación de parcelas de muestreo de carbono y diversidad en sistemas agroforestales.



Anexo 3.

Medición de variables dasométricas en sistemas agroforestales: Altura



UCUENCA

Anexo 4.

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



Anexo 5.

Entrevista a propietarios de los sistemas de producción de la parroquia Cutchil.



UCUENCA

Anexo 6.

Sistemas agroforestales de la parroquia Cutchil.



Anexo 7.

Sistemas de cultivos de ciclo corto de parroquia de Cutchil.



Anexo 8.

Sistemas de pastizales de la parroquia de Cutchil.



Anexo 9.

Frecuencia de los sistemas forestales con presencia de especies de interés agrícola.

Especie	Nombre Científico	Sistemas Agroforestales (%)
Manzana	<i>Malus domestica.</i>	96.97
Durazno	<i>Prunus persica.</i>	75.76
Maíz	<i>Zea mays.</i>	60.61
Reina Claudia Roja	<i>Prunus domestica L.</i>	48.48
Fréjol	<i>Phaseolus vulgaris.</i>	48.48
Haba	<i>Vicia faba.</i>	36.36
Pera	<i>Pyrus communis.</i>	33.33
Col	<i>Brassica oleracea var. capitata.</i>	33.33
Reina Claudia Verde	<i>Prunus domestica subsp. italica.</i>	27.27
Zanahoria	<i>Daucus carota.</i>	27.27
Cebolla	<i>Allium cepa.</i>	24.24
Lechuga	<i>Lactuca sativa.</i>	24.24
Brócoli	<i>Brassica oleracea var. tállica.</i>	21.21
Remolacha	<i>Beta vulgaris.</i>	15.15
Capulí	<i>Prunus salicifolia.</i>	12.12
Ajo	<i>Allium sativum.</i>	12.12
Mora	<i>Rubus glaucus.</i>	12.12
Santa Rosa	<i>Prunus domestica (rosaceae).</i>	9.09
Arveja	<i>Pisum sativum.</i>	9.09
Coliflor	<i>Brassica oleracea var. botrytis.</i>	9.09

UCUENCA

Tomate árbol	<i>Solanum betaceum.</i>	9.09
Alfalfa	<i>Medicago sativa.</i>	6.06
Rábano	<i>Raphanus sativus.</i>	6.06
Toronjil	<i>Melissa officinalis.</i>	6.06
Zapallo	<i>Cucurbita maxima.</i>	6.06
Acelga	<i>Beta vulgaris var. cicla.</i>	3.03
Aguacate	<i>Persea americana.</i>	3.03
Ají	<i>Capsicum annuum.</i>	3.03
Babaco	<i>Vasconcellea × heilbornii.</i>	3.03
Cáñaro	<i>Erythrina edulis.</i>	3.03
Claveles	<i>Dianthus caryophyllus.</i>	3.03
Espinaca	<i>Spinacia oleracea.</i>	3.03
Granadilla	<i>Passiflora ligularis.</i>	3.03
Higo	<i>Ficus carica 'Mission'.</i>	3.03
Limón	<i>Citrus limon.</i>	3.03
Lúcuma	<i>Pouteria lucuma.</i>	3.03
Nogal	<i>Juglans nigra.</i>	3.03
Papa	<i>Solanum tuberosum.</i>	3.03
Pepino	<i>Cucumis sativus.</i>	3.03
Pimiento	<i>Capsicum annuum.</i>	3.03
Pimpinela	<i>Sanguisorba minor.</i>	3.03
Repollo	<i>Brassica oleracea var. capitata.</i>	3.03
Romanel	<i>Brassica oleracea var. botrytis</i>	3.03
Sambo	<i>Cucurbita ficifolia</i>	3.03
Uvilla	<i>Physalis peruviana.</i>	3.03
Zucchini	<i>Cucurbita pepo.</i>	3.03

Anexo 10.

Frecuencia de cultivos de ciclo corto con presencia de especies de interés agrícola.

Especie	Nombre Científico	Cultivos de Ciclo corto (%)
Fréjol	<i>Phaseolus vulgaris.</i>	89.74
Maíz	<i>Zea mays.</i>	89.74
Haba	<i>Vicia faba.</i>	82.05
Arveja	<i>Pisum sativum.</i>	56.41
Manzana	<i>Malus domestica.</i>	51.28
Durazno	<i>Prunus persica.</i>	41.03
Col	<i>Brassica oleracea var. capitata.</i>	35.90

UCUENCA

Tomate árbol	<i>Solanum betaceum.</i>	25.64
Cebolla	<i>Allium cepa.</i>	20.51
Lechuga	<i>Lactuca sativa.</i>	20.51
Cebada	<i>Hordeum vulgare.</i>	15.38
Mora	<i>Rubus glaucus.</i>	15.38
Reina Claudia Roja	<i>Prunus domestica L.</i>	15.38
Reina Claudia Verde	<i>Prunus domestica subsp. italica.</i>	12.82
Cilantro	<i>Coriandrum sativum.</i>	10.26
Zanahoria	<i>Daucus carota.</i>	10.26
Ajo	<i>Allium sativum.</i>	7.69
Pera	<i>Pyrus communis.</i>	7.69
Remolacha	<i>Beta vulgaris.</i>	7.69
Zapallo	<i>Cucurbita maxima.</i>	7.69
Avena	<i>Avena sativa.</i>	5.13
Claveles	<i>Dianthus caryophyllus.</i>	5.13
Fresa	<i>Fragaria vesca.</i>	5.13
Nabo	<i>Brassica rapa rapa L.</i>	5.13
Toronjil	<i>Melissa officinalis.</i>	5.13
Trigo	<i>Triticum aestivum.</i>	5.13
Alfalfa	<i>Medicago sativa.</i>	2.56
Brócoli	<i>Brassica oleracea var. tática.</i>	2.56
Camote	<i>Ipomoea batatas.</i>	2.56
Capulí	<i>Prunus salicifolia.</i>	2.56
Coliflor	<i>Brassica oleracea var. botrytis.</i>	2.56
Escancel	<i>Aerva sanguinolenta.</i>	2.56
Granadilla	<i>Passiflora ligularis.</i>	2.56
Limeño	<i>Cucurbita moschata.</i>	2.56
Limón	<i>Citrus limon.</i>	2.56
Manzanilla	<i>Chamaemelum nobile.</i>	2.56
Menta	<i>Mentha piperita L.</i>	2.56
Papa	<i>Solanum tuberosum.</i>	2.56
Pena	<i>Fuchsia Magellanica Lam.</i>	2.56
Perejil	<i>Petroselinum crispum.</i>	2.56
Pimpinela	<i>Sanguisorba minor.</i>	2.56
Repollo	<i>Brassica oleracea var. capitata.</i>	2.56
Sambo	<i>Cucurbita ficifolia</i>	2.56