

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA TROPICAL



TESIS

**ESTIMACION DE LA BIOMASA Y EL CONTENIDO DE CARBONO
ALMACENADO EN TRES SISTEMAS AGROFORESTALES EN LA
ZONAL ECHARATI – LA CONVENCION**

PRESENTADO POR:

BACH. KENNY ROGER CUTIPA USCA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO TROPICAL.**

ASESOR:

ING. LUIS JESÚS CUBA MELLADO

CUSCO - PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: "Estimación de la biomasa y el contenido de carbono almacenado en tres sistemas agroforestales en la zonal Echarati - La Convención.", presentado por Kenny Roger Cutipa Usca Nro. de DNI: 72437949 para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Agrónomo Tropical. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	x
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 15 de junio de 2024



Firma

Ing. Luis Jesús Cuba Mellado
Nro. de DNI:23843175

ORCID del Asesor

0000-003-2902-8552

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio oid:27259:361265421

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS kenny corregido.docx

RECUENTO DE PALABRAS

26038 Words

RECUENTO DE PÁGINAS

117 Pages

FECHA DE ENTREGA

Jun 15, 2024 12:45 AM GMT-5

RECUENTO DE CARACTERES

140362 Characters

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.7MB

FECHA DEL INFORME

Jun 15, 2024 12:47 AM GMT-5**● 9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente

DEDICATORIA

A DIOS, por el éxito y la satisfacción de esta investigación, quien me regala los dones de la sabiduría para enfrentar los retos, las alegrías y los obstáculos que se me presentan constantemente.

A mis queridos padres, Máximo Cutipa Ramos y Rosa Usca Carayhua quienes hicieron posible que se vea realizado el sueño de ser profesional; mi sincero agradecimiento por haberme depositado su confianza e impartido sus sabios consejos.

A mi compañera de vida, Daliana Mercedes Vera Quispe que estuvo en todo momento brindándome su comprensión, cariño, amor y sobre todo tiempo para realizarme profesionalmente.

A mi hermano, Max Franco Cutipa Usca y demás familiares, a mis queridos amigos por su gran calidad humana, apoyo incondicional, amor, alegría y ánimo contagioso, que no me dejaron desfallecer para así poder llevar a cabo la culminación de este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, mediante la Facultad de Ciencias Agrarias y Docentes de la Escuela profesional de Agronomía, por la invaluable contribución cultural, social y científica.

A los Señores Docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias en K'ayra, por sus recomendaciones oportunas en el desarrollo de la tesis. Igualmente, por el apoyo brindado durante las evaluaciones. A cada una de las personas que contribuyeron de una u otra forma, mi agradecimiento infinito.

De manera muy especial al Ing. Luis Jesús Cuba Mellado, investigador y asesor principal del presente trabajo de tesis, por sus sabias contribuciones, dedicación constante, apoyo en la redacción científica, gran calidad humana y por su confianza puesta en mí persona.

INDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN.....	7
I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN.....	8
1.1. Identificación del problema objeto de investigación.....	8
1.2. Descripción del problema de investigación.....	9
1.3. Formulación del problema objeto de investigación.....	10
1.3.1. Problema General	10
1.3.2. Problemas Específicos	10
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN	11
2.1. Objetivos.....	11
2.1.1. Objetivo General	11
2.1.2. Objetivos Específicos	11
2.2. Hipótesis	11
2.2.1 Hipótesis general	11
2.2.2 Hipótesis específicas	11
2.3. Justificación.....	11
III. MARCO TEÓRICO	12
3.1. Antecedentes.....	12
3.2. Bases teóricas	14
3.2.1. El carbono.....	14
3.2.2. Ciclo del carbono.....	15
3.2.3. Captura del carbono.....	15
3.2.4. Concentración de carbono en el suelo	17
3.2.5. Cambio climático.....	17
3.2.6. Agroforestería.....	18
3.2.6.1. La agroforestería: una estrategia de producción agroecológica.....	18
3.2.7. Sistemas agroforestales	19
3.2.7.1. Características principales de los sistemas agroforestales	20
3.2.7.2. Clasificación de los sistemas agroforestales	22

3.2.8. Diseño participativo de sistemas agroforestales	25
3.2.9. Las practicas agroforestales en el Perú	25
3.2.9.1. Las cercas vivas.....	25
3.2.9.2. Las silvopasturas	27
3.2.9.3. Las prácticas de cobertura de suelos	28
3.10. Marco legal.....	30
3.2.10.1. Protocolo de Kyoto.....	30
3.2.10.2. Ley N° 29763, Ley Forestal y de la Fauna Silvestre.....	30
3.2.11. Creación del mercado del carbono	31
3.2.12. El cultivo de cacao.....	31
3.2.12.1. Morfología y taxonomía de cacao	31
3.2.12.2. Condiciones edafoclimáticas del cultivo de cacao	36
3.2.12.3. Requerimientos de suelo para el cultivo de cacao.....	38
IV. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	41
4.1. Tipo de investigación.....	41
4.2. Ubicación espacial.....	41
4.2.1. Ubicación Política	41
4.2.2. Ubicación Geográfica.....	41
4.2.3. Ubicación Hidrográfica	43
4.2.4. Ubicación Ecológica.....	43
4.3. Ubicación temporal	44
4.4. Materiales y métodos.....	44
4.4.1. Materiales	44
4.4.2. Metodología.....	45
4.5. Procesamiento de la información	56
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
5.1. Biomasa existente en los sistemas agroforestales.....	57
5.2.1. Biomasa arbórea viva	61
5.2.2. Biomasa arbustiva herbácea (t ha ⁻¹).....	65
5.2.3. Biomasa de la hojarasca	66
5.2.4. Biomasa vegetal total.....	68
5.3. Contenido de carbono contenido en los sistemas agroforestales.....	71

5.3.1. Carbono existente en la biomasa vegetal total.....	71
5.3.2. Carbono existente en los suelos.....	73
5.3.3. Carbono total del sistema agroforestal	77
5.4. Valor económico del contenido de carbono	79
5.4.1 Beneficio directo	81
5.5. Discusión	82
VI. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	85
6.1. Conclusiones.....	85
6.2. Sugerencias.....	87
VII. BIBLIOGRAFÍA	88
5.1. Características socioeconómicas de los agricultores que conducen las fincas agroforestales.....	¡Error! Marcador no definido.
5.1.1. Características sociales.....	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

El trabajo de investigación “**Estimación de la biomasa y el contenido de carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la zonal Echarati – La Convención**”, fue desarrollado durante los meses mayo a diciembre del 2018, el cual tuvo la finalidad de identificar las características socioeconómicas de los agricultores, cuantificar la biomasa existente en los sistemas agroforestales, determinar el contenido de carbono retenido en la biomasa y suelo de los sistemas y determinar el valor económico del contenido de carbono.

En torno a la metodología empleada, para determinar las características socioeconómicas de los agricultores, se aplicó una encuesta estructurada a 66 agricultores. Para cuantificar la biomasa y el contenido de carbono, se seleccionó parcelas con diversos sistemas agroforestales y se aplicó la metodología propuesta por el ICRAF (Centro Mundial de agroforestería). Para cuantificar el valor económico del carbono almacenado a nivel de los sistemas agroforestales, se consideró el valor monetario utilizado en proyectos a nivel internacional.

Respecto a los resultados, las características socioeconómicas los agricultores que conducen las fincas agroforestales, son en su mayoría del género masculino (68.2%), con una edad entre 46 – 55 años, y cuentan en su mayoría con estudios primarios. El principal sistema de trabajo es mediante ayni y familiar, y las fincas, en su mayoría son de 1.1 – 3.0 Ha. En cuanto a la biomasa existente el sistema agroforestal compuesto por Cacao – Mango – Ajo ajo y palto, obtuvo un valor de 308.14 tn/ha, con mayor composición a nivel de biomasa arbórea. Referente al contenido de carbono, para la biomasa vegetal total, la mayor concentración es identificado en el componente suelo del sistema agroforestal Cacao - Pisonay – Mango – Cítricos – Huillca – Cedro con un valor de 342.63 tn/ha. En cuanto al contenido de carbono total, la mayor cantidad de carbono almacenado, concentra en el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao – Mango – Ajo ajo y Palto con un valor de 437.05 tn/ha. Respecto al valor económico del contenido de carbono, se identificó que el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao – Mango – Ajo ajo y Palto, representó el mayor valor económico con \$4,370,530.00.

INTRODUCCIÓN

La tumba y quema de los bosques tropicales, es la principal causa de la deforestación, que ocasionan pérdidas de carbono, como componente mayor del ciclo del carbono y que tiene profundas implicancias para la biodiversidad.

Existe una creciente preocupación mundial por el cambio climático y su impacto en las actividades humanas y la productividad agrícola. Los factores que contribuyen a este problema mundial son, entre otros, los gases generados por la actividad industrial y agrícola; esta última, producto de la deforestación y quema de los bosques que presentan mayor contribución al incremento de Gases Efecto Invernadero (GEI). Una forma de mitigar estos efectos y reducir las emisiones, es capturando o fijando y manteniendo el mayor tiempo posible en la biomasa vegetal y en el suelo. En el primer caso se logra a través de la fotosíntesis y el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica.

El dióxido de carbono (CO_2), es uno de los gases de efecto invernadero más importantes como consecuencia de las actividades humanas, una de las cuales es la deforestación. La detención de la deforestación y su reversión a través de la reforestación y manejo sustentable, implica secuestrar el (CO_2) manteniéndose el mayor tiempo posible en la biomasa vegetal y en el suelo con el fin de disminuir la concentración de gases de efecto invernadero y reducir el calentamiento global. Dentro de este contexto, la estimación adecuada de la biomasa de un sistema agroforestal, constituye un elemento importante, que permite determinar las cantidades de carbono existentes en estos sistemas, y así poder determinar la cantidad potencial de carbono que puede ser fijado en una determinada superficie.

Los sistemas agroforestales mejoran la eficiencia y procuran un mayor bienestar a los agricultores. La consolidación del desarrollo basado en la productividad agrícola y la sostenibilidad ecológica, ha captado el interés de organismos cuyos objetivos primordiales sean la preservación de la biodiversidad, la promoción de sistemas alternativos de producción agrícola (sistemas agroforestales) y de otros usos que lleven a la utilización integral de los recursos naturales.

El Autor

I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema objeto de investigación

El aumento de la concentración del dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera es una preocupación mundial porque es uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI) que contribuye al calentamiento global. Las actividades humanas como la deforestación y la quema de combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón, son las principales fuentes de emisiones de CO₂. Los árboles cumplen un rol importante de regulación de la concentración de CO₂ en la atmósfera, debido a que son capaces de fijar el CO₂ a través de la fotosíntesis y almacenar el carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que son considerados como reservas naturales de carbono. Debido a esto, existe la tendencia de preferir cultivos con presencia de árboles denominados sistemas agroforestales.

Debido a esta problemática mundial y sus posibles efectos sobre las generaciones actuales y futuras y sobre los recursos naturales, es que la mitigación del cambio climático se ha convertido en un reto primordial para la economía y la ciencia dedicada a la conservación del medio ambiente.

Una forma de mitigar el cambio climático es la reducción de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera mediante el establecimiento de sistemas agroforestales (SAF) capaces de capturar el CO₂ de la atmósfera y almacenarlo en la biomasa aérea y subterránea y en el suelo, donde se almacena por largos periodos de tiempo. La capacidad de los ecosistemas agroforestales para almacenar carbono en forma de biomasa es mayor a los cultivos convencionales. Al combinar los cultivos o frutales con especies forestales, estos sistemas incrementan sus niveles de captura de carbono, mejorando además la productividad. La cantidad de carbono almacenada varía en función de la edad, diámetro y altura de los árboles, la densidad de la plantación de cada estrato y la asociación vegetal.

Aunque la importancia de los SAF para mitigar el cambio climático es reconocida, las investigaciones realizadas con respecto a captura de carbono en agroforestería y la cuantificación del contenido de carbono, siguen siendo pocas,

en comparación con otros usos de la tierra como bosques y plantaciones forestales.

En el Perú, los estudios más importantes han sido realizados en los departamentos de San Martín y Ucayali, en sistemas agroforestales de 4 a 40 años, donde se registraron valores por encima de los valores que presentan los sistemas exclusivamente agrícolas de corta duración, lo cual nos demuestra la importancia del establecimiento de sistemas agroforestales para la recuperación del carbono en áreas anteriormente perturbadas por tumba y quema y usados para agricultura. Por lo tanto, los sistemas agroforestales son preferidos para recuperar ambientalmente áreas perturbadas y a la vez contar con producción cíclica a corto y mediano plazo, teniendo así un adecuado manejo de las tierras de aptitud forestal. Si los sistemas agroforestales se aplicarían de manera adecuada y sostenible, pueden contribuir a lograr metas que están asociadas con la prevención de la contaminación del agua y la conservación del suelo contra la erosión tanto eólica como hídrica, siendo una manera de mitigar los efectos del cambio climático en las poblaciones rurales.

1.2. Descripción del problema de investigación

En los últimos años los productores del distrito de Echarati, han experimentado sequías prolongadas que han alterado la producción agropecuaria y la disponibilidad del agua; lluvias intensas que han provocado inundaciones en las partes bajas de las micro cuencas, deterioro de las vías de comunicación y el incremento de precios en los alimentos básicos. En el área donde se realizará la investigación, es deficiente la aplicación de técnicas adecuadas para el manejo de la producción agrícola. Estos eventos climáticos extremos se manifiestan cada vez con más frecuencia, lo que demuestra que el clima ha cambiado. Una de las razones de esta variación es la actividad agrícola, representada por los diferentes monocultivos, que afecta el clima de manera significativa.

La constante amenaza de sequías prolongadas, lluvias intensas y el aumento de la tasa de deforestación, originada fundamentalmente en la agricultura migratoria, han alterado los ciclos del agua. Este desequilibrio ambiental reduce los ingresos económicos de la población, incrementando su nivel de vulnerabilidad y pobreza, lo que exigirá a la población mejorar sus prácticas en cuanto al empleo de

sistemas agroforestales, para lograr cumplir con el fin de esta actividad, sobre todo en el cultivo de cacao, donde se genera una importante fuente de biomasa y se logra capturar el carbono de manera eficiente.

1.3. Formulación del problema objeto de investigación

1.3.1. Problema General

- ¿Cuál es la cantidad de biomasa y el contenido de carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la zonal Echarati – La Convención?

1.3.2. Problemas Específicos

1. ¿Cuál son las características sociales y económicos de los agricultores que conducen las fincas agroforestales en cacao, en la zonal de Echarati?
2. ¿Cuál es la biomasa existente en sistemas agroforestales de cacao, en los diferentes estratos vegetales?
3. ¿Cuánto es el contenido de carbono, existente en la biomasa y suelo en los sistemas agroforestal de cacao?
4. ¿Cuál es el valor económico del contenido de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao?

II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo General

- Determinar la cantidad de biomasa y el contenido de carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la zona Echarati – La Convención.

2.1.2. Objetivos Específicos

1. Cuantificar la biomasa existente en los sistemas agroforestal de cacao, en los diferentes estratos vegetales.
2. Determinar el contenido de carbono, retenido en la biomasa y suelo de los sistemas agroforestales de cacao.
3. Determinar el valor económico del contenido de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao.

2.2. Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

Los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la zona de Echarati - La Convención almacenan una cantidad significativa de biomasa y carbono, lo cual tiene un valor económico importante.

2.2.2 Hipótesis específicas

1. Los diferentes estratos vegetales (arbóreo, arbustivo y herbáceo) de los sistemas agroforestales de cacao acumulan una cantidad de biomasa considerable.
2. Los sistemas agroforestales de cacao retienen una cantidad apreciable de carbono tanto en la biomasa como en el suelo.
3. El valor económico del carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao representa un incentivo importante para los agricultores que implementan este tipo de sistemas.

2.3. Justificación

El trabajo de investigación desarrollado, es importante por lo siguiente:

Al identificar las características sociales y económicas de los agricultores que conducen las fincas agroforestales en cacao, en la zonal de Echarati, se muestra la relación de estos con los recursos naturales y los sistemas productivos, así como también se identifica su relación con la vida actual de las poblaciones humanas. Por lo cual es necesario implementar investigaciones conducentes a identificar el nivel de desarrollo de capacidades y generación de ingresos, mediante la incorporación de nuevas alternativas o enfoques sostenibles, que contribuyan en mejorar no solo el aspecto económico, sino también el ambiental.

Al cuantificar la biomasa existente en los sistemas agroforestal de cacao, en los diferentes estratos vegetales, se genera información científica sobre la cantidad total de biomasa presente en los diferentes estratos vegetales de los sistemas agroforestales de cacao, lo cual es importante para poder determinar el contenido de carbono almacenado en estos sistemas.

Al determinar el contenido de carbono, retenido en la biomasa y suelo de los sistemas agroforestales de cacao, se cuenta con información científica que permite mostrar la contribución de estos sistemas en la conservación de la biodiversidad, por su función como sumideros de carbono; en tal sentido porque se comprueba que los sistemas agroforestales con cacao ofrecen mayores ventajas comparativas en relación a los sistemas de uso de la tierra, ingresos económicos, contribuye a la conservación de la biodiversidad y almacena carbono en mayor proporción que los bosques secundarios.

Al determinar el valor económico del contenido de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao, se comprueba la sustentabilidad económica, donde el manejo de los recursos proporciona niveles de ingresos suficientes y estables para que la continuación de dicho manejo agroforestal resulte atractiva; social, basada en que el sistema agroforestal posee elementos que tienden a una mayor solidaridad y autogestión local, y económica.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

Herrera, (2006), en su trabajo de investigación titulado " Estimación de la biomasa y carbono almacenado en dos sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma*

cacao L.) de diferentes edades en la Provincia de Leoncio Prado" tuvo como objetivo la estimación del carbono almacenado a nivel de los sistemas agroforestales de cacao + guaba y cacao + bolaina; ambos comprendidos por parcelas de tres edades diferentes (2-3, 3-4 y 4-5 años de siembra), determinado por la sumatoria del carbono almacenado en plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*), guaba (*Inga edulis Mart.*), bolaina (*Guazuma crinita Lam.*), suelo, hojarasca y arbustos. La metodología utilizada comprendió técnicas de estimación de carbono almacenado en los sistemas agroforestales que no fueron destructivas, empleando para ello el protocolo de muestreo de estimación del carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales con cacao. El protocolo comprendió ecuaciones alométricas para la estimación de las biomásas de las plantas de cacao determinadas por el diámetro a 30 cm del suelo (D30cm) y de las especies empleadas como sombra guaba y bolaina, evaluando el diámetro a la altura de pecho (DAP). Para la determinación del carbono a nivel de las especies arbustivas y hojarasca se estableció por la biomasa comprendida a nivel de la hectárea; y para el caso del carbono almacenado en el suelo, se estipuló a través del análisis de suelo de los sistemas agroforestales cuyas muestras se tomaron con un tubo muestreador. Posterior a ello, se calculó el carbono almacenado mediante un factor de proporcionalidad entre la biomasa y su contenido de carbono, que fue de 0.5. De acuerdo a los resultados obtenidos, se establece que en los sistemas agroforestales de cacao + guaba, se realiza un mayor almacenamiento de carbono a nivel de las plantaciones con edades de 2-3, 3-4 y 4-5 años, alcanzando medias de 39.00, 43.75 y 62.11 t C/ha respectivamente, frente al sistema agroforestal de cacao + bolaina que alcanzó 33.99, 40.62 y 51.41 t C/ha en plantaciones de las mismas edades, La media del almacenamiento de carbono a nivel de especies en el sistema agroforestal cacao + guaba fue: cacao: 6.78, 8.32 y 9.68 t C/ha en las edades de 2-3, de 3-4 y 4-5 años (total a nivel aéreo del cacao y raíces); y guaba: 17.94, 24.31 y 40.36 t C/ha; mientras que en el sistema agroforestal cacao + bolaina, el cacao alcanzó 5.36, 6.72 y 8.58 t C/ha; y la bolaina 15.22, 20.21 y 29.48 t C/ha respectivamente en las mismas edades.

Jiménez, (2019), en su trabajo de investigación determinó el potencial que tiene un agroecosistema de cacao, ubicado en el sector Shupishiña - Morales, provincia y región San Martín, para el almacenamiento y captura de carbono orgánico,

mediante la estimación de la cantidad de carbono orgánico en todos los componentes del agroecosistema (cultivo de cacao, otras especies arbóreas, hojarasca, herbáceas y el suelo), empleando la metodología propuesta por el ICRAF, y aplicando un Diseño Completamente al Azar; verificando que el contenido de carbono orgánico presente en el suelo es el que destaca con 15.65 t.ha⁻¹ (61.34%), encontrando una mayor acumulación de carbono orgánico a una profundidad de 20-30 cm; en el cultivo de cacao 4.34 t.ha⁻¹ (17.01%), en otras especies arbóreas 3.30 t.ha⁻¹ (12.94 %), en la hojarasca 2.16 t.ha⁻¹ (8.47%) y en la biomasa herbácea se encontró 0.06 t.ha⁻¹ (0.23%) de carbono orgánico, haciendo un total de 25.51 t.ha⁻¹ de carbono orgánico en el agroecosistema evaluado.

Zamora, Solisa, Marín, & Argoted (2018), en su estudio realizaron estimaciones del contenido de carbono almacenado en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*) en el distrito de Yurimaguas, región de Loreto. Se evaluaron plantaciones de tres a seis años de edad y se estimó la biomasa total en tres sistemas agroforestales de cacao asociados con árboles dispersos, para lo cual emplearon un diseño de parcelas anidadas, las cuales fueron de 50 x 50 m para la evaluación de árboles vivos y muertos con diámetro a la altura del pecho (DAP), medido a 1.30 m sobre el suelo mayor o igual a 10 cm. Una sub parcela de 20 x 20 m para la evaluación de árboles con un DAP menor a 10 cm y mayor o igual a 2 cm. En el caso del cacao tomaron el diámetro a la altura de 30 cm sobre el suelo (d30). Cuatro sub parcelas de 1 x 1 m para la evaluación de hojarasca y biomasa menor (hierbas y arbustos) y cuatro transectos de 1 x 50 m para la evaluación de madera muerta sobre el suelo. El carbono total acumulado en la biomasa de los sistemas evaluados fue de 21.88 mg C ha⁻¹, 16.58 mg C.ha⁻¹ y 14.43 mg C ha⁻¹ para para los sistemas agroforestales (SAF) 1, 2 y 3, respectivamente. El contenido de carbono en cada uno de los compartimentos tuvo una relación directamente proporcional con la edad de las plantaciones.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. El carbono

Lapeyre, Alegre, & Arévalo (2004), indica que es un componente esencial de todos los seres vivos. Existe en su mayor parte como dióxido de carbono en la

atmósfera, los océanos y los combustibles fósiles (carbón, petróleo y otros hidrocarburos). El dióxido de en la atmósfera es absorbido por las plantas y convertidas en carbohidratos y tejidos a través del proceso de la fotosíntesis, como parte del ciclo del carbono.

3.2.2. Ciclo del carbono

Ondarse.D., (2021), indica que se conoce como ciclo del carbono a un circuito biogeoquímico de intercambio de materia (específicamente de compuestos que contienen carbono) entre la biosfera, la pedosfera, la geósfera, la hidrósfera y la atmósfera de la Tierra. Fue descubierto por los científicos europeos Joseph Priestley y Antoine Lavoisier, y junto al del agua y del nitrógeno, forma parte de los ciclos que permiten la sostenibilidad de la vida en nuestro planeta.

Dado que el carbono (C) es un elemento clave para la vida y para la mayoría de los compuestos orgánicos conocidos, se encuentra involucrado en numerosas sustancias de origen orgánico (e inorgánico), en una transmisión continua que permite su reutilización y reciclaje, sosteniendo los niveles de dicho elemento en un balance global.

El carbono en el mundo existe en distintas formas y ámbitos: en las reservas minerales de carbono bajo tierra, en forma de carbono inorgánico disuelto en el agua del mar, en el dióxido de carbono en la atmósfera (producto de emisiones volcánicas o de la respiración de los seres vivos), en los procesos de descomposición de la materia orgánica en pantanos y otros terrenos).

A grandes rasgos, las reservas de carbono son: el carbono atmosférico, el contenido en el cuerpo de los seres vivos en la biósfera (incluidos los seres marinos y acuáticos), el carbono disuelto en el agua del mar y depositado en el fondo de los océanos, y los depósitos minerales de la corteza terrestre, incluidos los depósitos de petróleo y otros hidrocarburos .

3.2.3. Captura del carbono

Masera & Ordoñez (2001), indica que una vez que el dióxido de carbono (CO₂) atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse

(follaje, ramas, raíces y tronco). El árbol al crecer va incrementado su follaje, ramas, flores, frutos, yemas de crecimiento (que en su conjunto conforman la copa); así como altura y grosor del tronco.

Simultáneamente los troncos, al ir incrementando su diámetro y altura, alcanzan un tamaño tal que puedan ser aprovechados con fines comerciales. De este aprovechamiento se extraen productos como: tablas, tablones y polines, que darán origen a subproductos elaborados como: muebles y casas. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado después del cual se degradan aportando carbono al suelo y CO₂ producto de su descomposición a la atmósfera.

Isminio, (2006), indica que plantas, animales y humanos, son formas de vida basadas en el carbono que utilizan energía solar para obtener el carbono necesario para la química en las células. Las plantas absorben CO₂ a través de los poros en sus hojas; particularmente por la noche, los árboles emiten más CO₂ del que absorben a través de sus hojas. La planta concentra alrededor de 40% de carbono en los tejidos vegetales, lo que demuestra la capacidad formidable de la fotosíntesis.

Según **Yáñez, (2004)**, la investigación en esquemas de captura de carbono (CC) por sistemas naturales se encuentra relacionada con el estudio del valor de las funciones ecológicas de los ecosistemas naturales. Aunque el concepto de ciclo de carbono en la naturaleza y la capacidad de absorción del suelo y los océanos ha sido conocido durante largo tiempo, no fue sino hasta 1976 que la idea de los bosques como “almacenadores” de las emisiones de combustibles fósiles fue propuesto por primera vez. El renovado interés en esta función ecológica de los ecosistemas terrestres aparece cuando investigadores y administradores públicos empiezan a entender el valor total de la naturaleza (VTN) y se enfocan a desarrollar esquemas para conservar y restaurar dicho valor.

Cuando hablamos de la CC nos referimos a uno de los muchos valores de uso indirecto del ecosistema, también conocidas como funciones ecológicas. Los mecanismos para la CC que son viables actualmente se enfocan sólo en un subproceso del ciclo de carbono en la naturaleza: la captura terrestre, y específicamente en la CC por parte de ecosistemas boscosos.

3.2.4. Concentración de carbono en el suelo

Isminio, (2006), menciona que los suelos pueden secuestrar cerca de 20 Pg/ha de carbono en 25 años, más del 10% de las emisiones antropogénicas. Al mismo tiempo esto proporciona otros beneficios importantes para el suelo, y la calidad del medio ambiente para la prevención de la erosión, la desertificación y para el fortalecimiento de la biodiversidad.

También menciona que los suelos son un excelente medio de reciclaje debido a su habilidad para absorber, intercambiar y oxidar casi cualquier tipo de materia.

FAO, (2002), indica que debido a su actividad catalítica, permiten una rápida reincorporación de los materiales a sus ciclos naturales; al retener compuestos y elementos químicos establecen un balance entre residuos y la disponibilidad de materia, en particular la orgánica para la planta.

Larrea, (2007), indica que la formación de complejos establecidos entre el carbono y la fase mineral del suelo depende del contenido de arcillas en el suelo. Los suelos arenosos carecen de la capacidad de absorción por su estructura atómica y es posible lograr la absorción y estabilización del carbono en ellos, pero los suelos en su mayoría arcillosos tienen una capacidad determinante en la absorción del carbono.

3.2.5. Cambio climático

Naciones Unidas, (2021), señala que el cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, por ejemplo, a través de las variaciones del ciclo solar. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas.

La quema de combustibles fósiles genera emisiones de gases de efecto invernadero que actúan como una manta que envuelve a la Tierra, atrapando el calor del sol y elevando las temperaturas.

Algunos ejemplos de emisiones de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático son el dióxido de carbono y el metano. Estos proceden del uso de la gasolina para conducir un coche o del carbón para calentar un edificio, por

ejemplo. El desmonte de tierras y bosques también puede liberar dióxido de carbono. Los vertederos de basura son una fuente importante de emisiones de metano. La energía, la industria, el transporte, los edificios, la agricultura y el uso del suelo se encuentran entre los principales emisores.

3.2.6. Agroforestería

Combe & Budowski, (1979), indica que es el conjunto de técnicas de uso de la tierra que impliquen la combinación de árboles forestales con cultivos, con ganadería o con ambos. La combinación puede ser simultánea o escalonada en tiempo y espacio. Tiene por objetivo optimizar la producción total por unidad de superficie, respetando el principio de rendimiento sostenido.

LEISA, (2019), menciona que la agroforestería es un nombre nuevo para un conjunto de prácticas antiguas desarrolladas durante siglos en diversas partes del mundo, aunque este sistema sostenible de manejo de la naturaleza se encuentra geográficamente bien distribuido, es en las zonas tropicales del planeta, densamente pobladas y con clima caluroso y húmedo, donde tiene mayor auge gracias a la gestión de comunidades campesinas que desarrollan agroecosistemas complejos al combinar árboles con cultivos agrícolas en pequeñas áreas, utilizando recursos propios, con la finalidad de obtener alimentos destinados al autoconsumo y al mercado local. Desde esta perspectiva, la agroforestería es resultado del proceso de coevolución social de las comunidades campesinas e indígenas con su ambiente, que desde sus conocimientos manejan la biodiversidad para desarrollar un estilo de agricultura que se vincula a la defensa de la tierra, de los recursos naturales y del derecho a vivir de la propia producción, resistiendo desde lo local al modelo agrícola hegemónico.

3.2.6.1. La agroforestería: una estrategia de producción agroecológica

LEISA, (2019), menciona que la agroforestería es un sistema de manejo de los recursos naturales dinámico y sustentado en la ecología que, mediante la integración de árboles en finca y en el paisaje agrícola, diversifica y sostiene la producción para lograr mayores beneficios sociales, económicos y ambientales para los usuarios de la tierra en todos los niveles. Los árboles y los cultivos agrícolas no se excluyen entre sí: son compatibles y, más que ello, se

complementan en beneficio mutuo, ya que los árboles incrementan la biodiversidad de los agroecosistemas y la biomasa que enriquece el suelo. Además, los árboles retienen el agua en el suelo y permiten que se filtre hacia los acuíferos subterráneos.

Fassbender, (1993), refiere que este enfoque subraya claramente la naturaleza integrada que tiene la agroforestería. Es un nombre colectivo que abarca todos los sistemas de uso de la tierra y prácticas que prevén la siembra deliberada de especies perennes maderables y no maderables en la misma unidad de administración agraria junto con cultivos y/o animales. Esto puede darse en función del tiempo y del espacio.

Montagnini, (1992), indican que hablamos de árboles asociados a cultivos agrícolas (sistemas agro silvícolas), árboles asociados a pastos y ganado (sistemas silvopastoriles) y árboles asociados a cultivos, pastos y ganado (sistemas agrosilvopastoriles). Presentan los atributos de cualquier sistema: límites, componentes, ingresos y egresos, interacciones, una relación jerárquica con la organización de la finca y una dinámica.

3.2.7. Sistemas agroforestales

Gonzales, (2010), menciona que, un sistema agroforestal es, un conjunto integrado y ordenado de prácticas agrícolas, pecuarias y forestales organizadas en componentes que interactúan eficientemente con estructura y función definidas según los propósitos planteados, dentro de un ámbito determinado por límites y en un periodo de tiempo determinado. El sistema agroforestal en sentido amplio es un arreglo de componentes físicos, biológicos o tecnológicos, que unidos se relacionan de manera interactiva, actuando como una unidad funcional, que representa al mismo tiempo a una unidad integral, que busca un propósito determinado.

Hart, (1985), indica que un sistema agroforestal es un sistema agropecuario cuyos componentes son árboles, cultivos o animales. Un sistema agroforestal tiene los atributos de cualquier sistema, límites, componentes, interacciones, ingresos, egresos, una relación dinámica con el sistema de finca y una dinámica. El límite define los ingresos del sistema; los componentes son los elementos físicos, biológicos, socioeconómicos; los ingresos o egresos (por ejemplo,

madera, productos animales) son la energía o materia que intercambia entre los componentes de un sistema; la jerarquía indica la posición del sistema con respecto a otros sistemas y las relaciones entre ellos.

Hart, (1985), menciona que un ejemplo de sistema agroforestal es el cultivo de café bajo sombra de árboles podados periódicamente. Los componentes son el café y los árboles, que se encuentran dentro del lindero de la asociación. Las entradas incluyen agua, energía solar, fertilizantes y mano de obra. Las salidas incluyen las cosechas de café, la leña y madera resultantes de la poda de los árboles y de los cafetos. Son interacciones el reciclaje de nutrientes de la hojarasca de los árboles al suelo, y la sombra de los árboles sobre el cafetal, entre otras. La dinámica del sistema podría incluir cambios en la densidad de los árboles, la periodicidad y densidad de la poda, en el tipo de cultivos asociados y en la fertilidad de los suelos, estos cambios influirán en las actividades futuras de manejo del sistema.

Mendieta & Rocha, (2007), menciona que un sistema agroforestal es un sistema agropecuario cuyos componentes son árboles, cultivos o animales. Un sistema agroforestal tiene los atributos de cualquier sistema: límites, componentes, interacciones, ingresos y egresos, una relación jerárquica con el sistema de finca y una dinámica. El límite define los bordes físicos del sistema; los componentes son los elementos físicos, biológicos y socioeconómicos; los ingresos son la energía solar, mano de obra, productos agroquímicos, etc.; y los egresos como madera, productos animales, frutos, cultivos, leña, etc.; los ingresos y los egresos son la energía o materia que se intercambia entre diferentes sistemas; las interacciones son las relaciones, o la energía o materia que se intercambia entre los componentes de un sistema; la jerarquía indica la posición del sistema con respecto a otros sistemas y las relaciones entre ellos.

3.2.7.1. Características principales de los sistemas agroforestales

Gonzales, (2010), menciona que las principales características de un sistema agroforestal son:

El propósito del sistema agroforestal está relacionado con el objetivo de incrementar la disponibilidad de cada componente (personas, insumos, otros) empleando tecnologías pertinentes, para alcanzar mejores rendimientos,

maximización de resultados y metas. No olvidemos que el fin supremo de todo sistema es mejorar la calidad de vida de la población a través del bienestar integral.

La estructura de un sistema es la organización y distribución de elementos.

Esta estructura depende del:

- Número de componentes (1,2,3, etc),
- Tipo de componentes (biológicos, físicos, tecnológicos),
- Arreglo (disposición) entre componentes (cadena cíclica, competencia),
- Interacción entre componentes (autocontrol negativo-retener salidas, autocontrol positivo-permitir salidas, según el espacio y el tiempo.

La función de un sistema, es el flujo o proceso de recibir entradas (insumos) y producir salidas (productos), en otras palabras, es la transformación de materiales en productos (semiterminados o terminados) que sean aptos para su consumo, para la satisfacción de una demanda determinada. Aplica criterios de:

- **Productividad**, capacidad de la producción por unidad de trabajo o superficie (rendimiento).
- **Eficiencia**, lograr las metas con el uso de la menor cantidad de recursos disponibles (convertir materiales, insumos, calorías en utilidad)
- **Variabilidad**, es la condición que tiene el proceso para cumplir con la calidad requerida. Cambio por causas internas (método de proceso, personal) o cambio por causas externas (mercado, pandemia). Probabilidad productiva.

La **entropía de un sistema**, es la medida del desorden que se produce por la pérdida de energía y por tanto de su eficiencia. Está relacionada con la segunda ley de la termodinámica, llamada también la ley del “caos”.

La **homeostasis**, establece el estado de equilibrio dinámico al que un sistema abierto puede llegar, por el correcto intercambio de materiales e insumos, energía e información. Se denomina también entropía negativa.

Según **UNICA, (2011)**, la agroforestería incorpora cuatro características:

1. Estructura: A diferencia de la Agricultura y la ingeniería forestal moderna, la Agroforestería combina árboles, cultivos y animales. En el pasado, los agricultores

rara vez consideraban útiles a los árboles en el terreno para el cultivo, mientras que los agroforestales han tomado como reservas para el crecimiento de árboles.

2. **Sustentabilidad:** Un sistema agroforestal optimiza los efectos beneficiosos de las interacciones entre las especies boscosas y los cultivos y los animales. Al utilizar los ecosistemas naturales como modelos y al aplicar sus características ecológicas al sistema agrícola, se espera que la productividad a largo plazo pueda mantenerse sin degradar la tierra. Esto resulta particularmente importante si se considera la aplicación actual de la agroforestería en zonas de calidad marginal de la tierra y baja disponibilidad de insumos.

3. **Incremento en la productividad:** Al mejorar las relaciones complementarias entre los componentes del predio, con condiciones mejoradas de crecimiento y de uso eficaz de los recursos naturales (espacio, suelo, agua y luz), se espera que la producción sea mayor en los sistemas agroforestales que en los sistemas convencionales.

4. **Adaptabilidad cultural/socioeconómica:** A pesar de que un sistema agroforestal es apropiado para una amplia gama de predios de diversos tamaños y de condiciones socioeconómicas, su potencial ha sido reconocido para los pequeños agricultores en áreas marginales y pobres de las zonas tropicales y subtropicales. Si se considera que los campesinos generalmente no son capaces de adoptar tecnologías muy costosas y modernas, que han sido pasadas por alto por la investigación agrícola y que no tiene poder social o político de discernimiento, la Agroforestería se adapta particularmente a las realidades de los pequeños agricultores.

3.2.7.2. Clasificación de los sistemas agroforestales

3.2.7.2.1. Sistemas agroforestales secuenciales.

a) Agricultura migratoria

Según **MINAM, (2000)**, es el conjunto de técnicas que utilizan los agricultores que sólo disponen de instrumentos de labranza básicos, que no pueden invertir ningún capital en el trabajo y cuya finalidad esencial es producir alimentos para ellos mismos. Se practica en suelos cuya fertilidad disminuye rápidamente y que en consecuencia debe someterse a “barbechos” (periodos de descanso) de

duración relativamente larga. En el Perú, el proceso de la agricultura migratoria no difiere mayormente de otras regiones tropicales húmedas.

El agricultor se introduce en el bosque y primero elimina la vegetación del sotobosque; luego tala los árboles, dejando sólo los más grandes, y apenas el material cortado se seca, origina una combustión que suele ser sólo parcial, pero a veces se extiende por el viento originando incendios forestales. Hace cultivos anuales durante dos a veces tres años, casi sin preparar el suelo. Al disminuir considerablemente el volumen de la cosecha abandona el campo, que se recubre de vegetación herbácea, luego arbustiva y arbórea en una sucesión vegetal que es interrumpida nuevamente por un rozo y quema cuando el mismo u otro agricultor considera que la fertilidad se ha restaurado a un nivel suficiente como para hacer un nuevo periodo de cultivo.

b) Barbecho mejorado

Soto, (2011), define. como un sistema rotacional que combina especies maderables de alto valor con las especies colonizadoras naturales de la sucesión secundaria. Las especies maderables se establecen en la primera fase del barbecho antes de los cinco años y en el largo plazo el acahual se reconvertirá en cultivo, una vez que los árboles alcanzan su primer turno (son cosechados) o bien se reconvertirá en un sistema permanente en el mediano plazo. Este sistema puede además contribuir a mejorar los medios de vida de los productores ofreciendo beneficios económicos, ambientales y sociales.

c) Sistema Taungya

Fassbender, (1993), menciona que este sistema consiste en establecer un bosque con especies forestales de alto valor económico en asocio de un cultivo agrícola durante los primeros años del sistema. Esto se da hasta que la densidad y desarrollo de la especie forestal en combinación con el cultivo agrícola lo permitan. El objetivo principal es producir en este bosque madera de alto valor económico y tener ingresos económicos del mismo, pero al mismo tiempo aprovechar las calles entre el cultivo forestal, con un cultivo agrícola, que ayude al mantenimiento del sistema. El establecimiento se realiza con especies forestales producidas en vivero, con un distanciamiento que depende de las

especies forestales que se utilicen. Las especies más recomendadas para este sistema son la que tengan un alto valor económico.

3.2.7.2.2. Sistemas Agroforestales Simultáneos

CEE, (2017), menciona que Consiste en la integración simultánea y continua de cultivos anuales y perennes, árboles maderables, frutales o de uso múltiple o ganadería. Estos sistemas incluyen asociaciones de árboles con cultivos anuales o perennes, huertos caseros mixtos y sistema complejos de producción. Cuando todos sus componentes se encuentran presentes, es decir al mismo tiempo, es más fácil de identificar. En un sistema simultáneo los árboles y las cosechas agrícolas o los animales crecen juntos, al mismo tiempo en el pedazo de terreno, estos son los sistemas en los cuales los árboles compiten principalmente por luz, agua y minerales, la competencia es minimizada con el espaciamiento y otros medios, los árboles en un sistema simultáneo no deben crecer tan rápido cuando la cosecha está creciendo, para reducir la competencia, los árboles deben tener también raíces que lleguen con mayor profundidad que la de los cultivos y poseer un dosel pequeño para que no les llegue la sombra demasiado.

a) Árboles en Asociación con Cultivos Perennes

Combe & Budowski, (1979), indica que este sistema consiste en el asocio de un cultivo agrícola perenne con una especie forestal, que normalmente beneficia al cultivo agrícola o bien a ambos cultivos. Es un sistema muy utilizado en el país, con cultivos tradicionales como el café y forestales de legumbre. El arreglo en el campo es de forma regular con distanciamientos de 6 a 8 metros, entre especies forestales, al cuadro o a tres bolillos, según la pendiente. Para el cultivo perenne, se recomiendan los distanciamientos que, según la especie, el sitio y condiciones particulares, sean los que técnicamente son los mejores. Las especies a utilizar son las que tengan características de copas extendidas o anchas que proyecten bastante sombra y que tengan buena capacidad de rebrote para responder a las podas apicales que se le realizan en el año. En estas asociaciones se tiende a optimizar el uso de recursos y a aumentar la productividad por unidad de terreno. Las condiciones del mercado constituyen un gran determinante para la selección de especies, porque obviamente debe existir un mercado para canalizar la producción. Estos sistemas representan una

alternativa cuando el uso de monocultivos no es económicamente factible debido al costo de productos agroquímicos; es decir cuando no se puede cubrir el costo del fertilizante para el monocultivo. En muchos casos, la elección de un sistema con árboles para sombra depende de la necesidad de diversificar la producción (es decir, abastecer de madera, leña, frutas, etc.). Entre las interacciones que representa, se menciona el microclima creado por los árboles favorece la incidencia de roya.

3.2.8. Diseño participativo de sistemas agroforestales

Gutierrez & Fierro, (2006), señalan que el diseño es la exploración y definición de las alternativas de solución o innovación tecnológica, que va a ser aplicada por el productor para mejorar el desempeño del sistema agroforestal. Esta búsqueda y definición se puede abordar por el grupo de técnicos que realizan el diagnóstico, o por los productores y técnicos a partir del diagnóstico y la observación de campo.

3.2.9. Las practicas agroforestales en el Perú

Valdivia & Mathez, (2015), indican que la agroforestería, entendida como el uso de los árboles y arbustos en los paisajes agrícolas, es una práctica muy antigua en los Andes y es actualmente vista como una herramienta prometedora para el manejo sostenible de la tierra y la adaptación al cambio climático. Hay una amplia gama de prácticas vigentes hasta hoy en día que necesitan ser evaluadas en el contexto de la adaptación al cambio climático; tanto para facilitar la promoción de opciones adecuadas como para evitar opciones inapropiadas. En particular, es necesario asegurar que las recomendaciones agroforestales se basen fuertemente en la experiencia y las percepciones de los pequeños productores hombres y mujeres sobre los beneficios de las diferentes opciones agroforestales.

3.2.9.1. Las cercas vivas

Mendieta & Rocha, (2007), señala que una cerca viva es una línea de árboles o arbustos que delimitan una propiedad. Además de estos servicios, se produce forraje, leña, madera, flores para miel, frutos, postes, etc. Las cercas vivas son un rasgo característico del paisaje de muchos países de América Tropical, desde el nivel del mar hasta más de 2500 metros, desde ambientes relativamente secos

hasta algunas de las áreas más húmedas (más de 4000 mm de precipitación anual). Las cercas vivas se establecen por medio de la plantación de estacas grandes (generalmente de 2.5 m de largo y entre 8 y 20 cm de diámetro), que enraízan fácilmente y sobre las cuales se atan varios hilos (generalmente 3) de alambre de púas. Para el mantenimiento de estos sistemas es necesaria mucha mano de obra permanente. Estos sistemas proporcionan un hábitat favorable para animales silvestres que pueden ser plagas del cultivo, aunque también pueden favorecer a animales útiles como las aves que participan en el control de plagas. En las cercas vivas se utilizan numerosas especies de acuerdo con las condiciones climáticas y culturales.

En el caso de las cercas vivas y las cortinas rompevientos, la interacción con cultivos o animales no es tan obvia ni tan intensa como en otros sistemas. Por ello, las técnicas de manejo se concentran en el establecimiento y el mantenimiento de los componentes arbóreos, no obstante, su uso como fuente de forraje es atractivo y debe ser tomado en consideración. En el manejo de cercas vivas la selección de las especies adecuadas es un aspecto crítico.

Las características deseables incluyen: rapidez de crecimiento, facilidad de reproducción vegetativa, rapidez en el rebrote después de la poda, capacidad para la formación de una cerca densa, ausencia de problemas graves de plagas y enfermedades y provisión de beneficios tales como madera, leña o forraje. Para el establecimiento de las cercas es preferible que la especie pueda ser reproducida por estacas; de esa manera se obtiene una cerca más rápidamente que si se siembra la semilla del árbol. Además, es importante que se pueda amarrar bien el alambre de púas y que el árbol no se "trague" el alambre, lo que se logra con podas frecuentes, para que crezca lentamente. Es importante destacar que, por medio de podas sincronizadas, debe evitarse que las cercas vivas florezcan y fructifiquen, ya que es más conveniente concentrar la energía en producción de follaje y madera. El control de malezas no es muy crítico para el mantenimiento de las cercas de madero negro, pues con las estacas largas que sobrepasan a la vegetación y su sistema radicular profundo, la especie puede competir con ventaja y no da lugar al establecimiento de malezas; los problemas de plagas no son muy comunes.

PRONAMACHCS, (1998), indica que esta es una práctica ampliamente difundida no sólo en la sierra, sino también en la región de la costa de Perú. Consiste en la instalación de vegetación leñosa, árboles, arbustos y otras plantas, que delimitan un predio o la chacra y cumplen la función de protección y/o producción de diversos bienes que son importantes para el campesino.

Existen diversos diseños y asociación de plantas que están en función a las necesidades. Entre ellas se tienen:

- Cercos de uso múltiple: Si el propósito es la delimitación del terreno e impedir la interferencia del ganado en las chacras. Frecuentemente el campesino planta árboles que produzcan bienes materiales.
- Cercos con especies nitrificantes: Algunas especies tienen la característica de fijar nitrógeno en el suelo, su presencia es muy beneficiosa particularmente en suelos degradados para el enriquecimiento del mismo y permitir un incremento en la producción agrícola o pecuaria.
- Cercos con especies espinosas: Tiene la función de evitar el ingreso de personas y animales que pueden dañar o destruir los cultivos, paralelamente se puede obtener leña, frutos y otros derivados, además convenientemente distribuidos puede ser una protección para evitar la erosión. Estos cercos pueden ser asociados con material inerte o con pircas.

3.2.9.2. Las silvopasturas

Mendieta & Rocha, (2007), mencionan que los sistemas silvopastoriles son la combinación de especies forestales o frutales y animales, sin la presencia de cultivos. Se practican a diferentes niveles, desde las grandes plantaciones arbóreas comerciales con inclusión de ganado, hasta el pastoreo de animales como complementos a la agricultura de subsistencia

Algunas de las especies leguminosas de valor forrajero de posible uso en este tipo de sistemas son: *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, con la desventaja que la productividad de esta especie es baja en suelos ácidos (pH menor que 5), y muchos suelos tropicales son ácidos; se están investigando *Erythrina poeppigiana*, *E. cocleata* y *E. berteroana*, evaluándose su productividad en cuanto a leña, forraje, frutos, madera, y la productividad de las pasturas asociadas.

Según **IICA, (2006)**, los sistemas silvopastoriles son una combinación de árboles, arbustos forrajeros y pastos con la producción ganadera en la finca. En este sistema se quiere una administración de estos recursos de manera que perduren en el tiempo los árboles y arbustos, así como su aprovechamiento en la alimentación animal. La importancia de los mismos es que pueden aportar mucho en mantener una cobertura vegetal continua sobre el suelo, posiblemente haciéndolo más fértil a mediano plazo, y, además, trae beneficios verificables en la producción animal.

La diferencia con el sistema tradicional, es que antes se pensaba que tener una sola variedad de pasto establecido era suficiente para la alimentación animal. A eso se le llama monocultivo. Hoy en día se entiende, que los animales usualmente necesitan una dieta más elevada, la cual puede obtenerse con una diversidad de forrajes. Pero un factor decisivo fue el reconocimiento de que el pasto monocultivo tiende a ser muy afectado por la sequía, lo que puede llevar a degradación de los suelos. Si usted quiere que su finca sea productiva por mucho tiempo, y que los suelos se mantengan fértiles para la próxima generación, le recomiendo considerar cuidadosamente la importancia de esta estrategia para su finca.

PRONAMACHCS, (1998), menciona que es la combinación de vegetación arbórea con pastos, lo que permite una producción simultánea pecuaria y forestal. Las silvopasturas en valles y laderas tiene como objetivo mejorar la dieta del ganado y mejorar las condiciones del sitio para permitir una mejor producción de pastos, la vegetación arbórea además posibilita la obtención de diversos productos necesarios en la comunidad. Los árboles se pueden instalar alrededor del potrero o dentro de este además de un cerco vivo.

3.2.9.3. Las prácticas de cobertura de suelos

FAO, (2022), indica que mantener cubierta la superficie del suelo es un principio fundamental en la agricultura de conservación. Los residuos de los cultivos se dejan sobre la superficie del suelo, pero puede ser necesario recurrir a cultivos de cobertura si el intervalo de tiempo entre la cosecha de un cultivo y el establecimiento del siguiente es demasiado largo. Los cultivos de cobertura mejoran la estabilidad del sistema de agricultura de conservación, no solo por el

mejoramiento de las propiedades del suelo, sino también por su capacidad para favorecer una mayor biodiversidad en el ecosistema agrícola.

Los cultivos de cobertura se utilizan durante los períodos de barbecho, entre la cosecha y la plantación de los cultivos comerciales, aprovechando la humedad residual del suelo. Su crecimiento se interrumpe antes de la siembra del siguiente cultivo o bien después de la siembra de este, pero antes de que comience la competencia entre los dos cultivos. Los cultivos de cobertura dinamizan la producción agrícola, pero a su vez presentan algunos desafíos.

Las diferentes plantas, con sus diversos sistemas de raíces, exploran las diferentes profundidades del perfil edáfico y pueden tener la capacidad de absorber distintas cantidades de nutrientes y producir varios exudados de raíces (ácidos orgánicos) con un resultado beneficioso tanto para el suelo como para los organismos.

La presencia de una capa de recubrimiento orgánico (de vegetación muerta) en la agricultura de conservación inhibe la evaporación de la humedad del suelo y al mismo tiempo proporciona una mayor infiltración de agua en el perfil edáfico. El porcentaje de agua de lluvia que se infiltra en el suelo depende de la cantidad de cobertura proporcionada.

Puesto que los distintos cultivos de cobertura producen diferentes cantidades de biomasa, la densidad de los residuos varía con diferentes cultivos y, por ende, varía la capacidad de incrementar la infiltración de agua.

La cubierta vegetal es importante en la agricultura de conservación para proteger el suelo del impacto de las gotas de lluvia, así como para mantener el suelo bajo sombra y con el más alto porcentaje de humedad posible. Hemos visto su importancia para el reciclaje de nutrientes, pero también tienen un efecto físico y, probablemente, aleopático sobre las malezas, rebajando su incidencia y conduciendo a la reducción del uso de agroquímicos y, con ello, de los costos de producción.

Los residuos de rastrojo actúan como una capa protectora que amortigua la presión ejercida sobre el suelo por las ruedas de la maquinaria y las pisadas de

los animales, y por lo tanto desempeñan un papel importante en la reducción de la compactación del suelo.

3.10. Marco legal

3.2.10.1. Protocolo de Kyoto

El protocolo de Kyoto fue firmado en 1997, tiene como objetivo que los países desarrollados se reduzcan en promedio 5.2% de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) con respecto a las emitidas en el año 1990, el primer periodo de compromiso está fijado entre los años 2008 y 2012. Dentro de las herramientas propuestas en el protocolo de Kyoto se encuentra el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MOL), este les permite a los países desarrollados invertir en proyectos en países en vías de desarrollo, que mitiguen o capturen gases invernaderos, esto se logrará a través de la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CER's). Se estableció que el compromiso sería de obligatorio cumplimiento cuando lo ratificasen los países industrializados responsables del al menos un 55% de las emisiones de CO₂.

El protocolo entraría recién en vigor con la ratificación de Rusia en noviembre del 2004, después de conseguir que la Unión Europea (EU), pague la reconversión industrial, así como la modernización de las instalaciones, en especial las petroleras. Además del cumplimiento que estos países deben conseguir con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, se promovió también la generación de un desarrollo sostenible, de tal forma que se utilice también energías no convencionales y así disminuya el calentamiento global.

3.2.10.2. Ley N° 29763, Ley Forestal y de la Fauna Silvestre

MINAGRI, (2015), señala que según el artículo 109 de la Ley N° 29763, los beneficios provenientes del aprovechamiento económico de los servicios de los ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre forman parte de los títulos habilitantes. Los titulares de predios privados y las comunidades campesinas y nativas que no tengan título habilitante para tal aprovechamiento acceden a los beneficios de estos servicios a través de un permiso aprobado por la autoridad regional forestal y de fauna silvestre. Para el acceso a los beneficios

de los servicios de los ecosistemas provenientes de plantaciones forestales en predios privados o comunales, no se requiere permiso.

De acuerdo al artículo 119, La gestión de sistemas agroforestales en tierras forestales o de protección transformadas tiene por objeto mantener o recuperar la provisión de bienes y servicios de los ecosistemas ubicados en las zonas de tratamiento especial para producción agroforestal o silvopastoril, en el marco de la zonificación forestal. La suscripción de un contrato de cesión en uso conlleva el compromiso del titular de cumplir las condiciones establecidas, respetar los bosques remanentes, instalar especies forestales maderables o no maderables en el sistema productivo y llevar a cabo prácticas de conservación de suelos y de fuentes y cursos de agua.

3.2.11. Creación del mercado del carbono

Larrea, (2007), indica que en el protocolo de Kyoto también se establecieron los mecanismos que facilitarían el cumplimiento de las reducciones de emisiones de GEI en los países industrializados de un modo costo-efectivo. Estos mecanismos son: 1) Comercio de Emisiones (CE), 2) Implementación Conjunta (IC) Y 3) Mecanismos de Desarrollo Limpio (MOL).

3.2.12. El cultivo de cacao

3.2.12.1. Morfología y taxonomía de cacao

A. Taxonomía

Cámara y Beauregard (2024), mencionan que esta planta fue descrita por Carlos Linneo en su obra *Species plantarum*, que propone la clasificación taxonómica del cacao (*Theobroma cacao*) de la siguiente manera:

Reino	: Plantae
Subreino	: Tracheobionta
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida

Subclase	: Dilleniidae
Familia	: Malvaceae
Subfamilia	: Byttnerioideae
Tribu	: Theobromeae
Género	: Theobroma
Especie	: T. cacao L.

Rimache, (2008), menciona que el cacao es una planta perenne, posee 20 cromosomas y su polinización es cruzada (alógama), su reproducción puede ser de forma sexual (semillas) o asexual (ramas).

B). Tallo:

Rimache, (2008), indica que la planta proviene de semilla que produce un tallo erecto el cual puede llegar a medir de 1m a 1,50m de altura, de este emergen las ramas en número de 3 a 5 con un crecimiento horizontal formando el llamado abanico o horqueta. Una vez formado la horqueta la yema terminal se elimina, y el siguiente crecimiento vertical ocurre por un chupón que sale de la parte inferior de la horqueta y asciende para luego repetir de la misma manera la ramificación del tallo principal y forma un segundo estrato.

INTA, (2009), señala que el tallo del cacao es ortotrópico y alcanza una altura de 1.20 a 1.50 mt. Entre los 10 y 18 meses el tallo completa una fase de su desarrollo, pierde su yema terminal y forma una horqueta o verticilo que contiene de 3 a 5 ramas de crecimiento.

Batista, (2009), Señala que las plantas de cacao, reproducidas por semillas, desarrollan un tallo principal de crecimiento vertical que puede alcanzar 1 a 2 metros de altura a la edad de 12 a 18 meses. A partir de ese momento la yema apical detiene su crecimiento y del mismo nivel emergen de 3 a 5 ramas laterales. A este conjunto de ramas se le llama comúnmente verticilio u horqueta

C). Ramas:

Rimache, (2008), menciona que el cacao tiene dos tipos de ramas:

- a. El tipo vertical (o chupón), incluyendo el eje principal de las plantas producidas por las semillas, tiene hojas alternas en espiral de $\frac{3}{8}$ y es limitado en su crecimiento ya que tarde o temprano siempre da origen a un abanico terminal.
- b. El tipo de abanico que tiene hojas alternas en $\frac{1}{2}$ creciendo indefinidamente y dando origen a ramas laterales de su mismo tipo.

D). Raíz:

INTA, (2009), menciona que su sistema radicular es pivotante y de rápido crecimiento, seis series de raíces secundarias laterales de desarrollo horizontal. En los primeros 20-25 cm de tierra desde el cuello de la raíz.

La forma y desarrollo de las raíces del cacao dependen principalmente de la textura, estructura y consistencia del suelo, así como del modo de reproducción. En suelos profundos bien aireados su crecimiento puede alcanzar hasta 2 metros de profundidad; en suelos pedregosos su crecimiento es tortuoso. Cuando el suelo es de una estructura granular uniforme y de textura arcillosa, la raíz crece erecta o derecha.

E). Hojas:

INTA, (2009), señala que las hojas jóvenes son pigmentadas y de color que puede variar según los cultivares o clones del verde pálido a rosado y violeta. Son péndulas de consistencia blanda, acompañadas en su base por dos estípulas que se desprenden y caen rápidamente

Batista, (2009), señaló que el tamaño de las hojas es variable; lo cual depende de caracteres genéticos y de su posición en el árbol. Las hojas de la periferia que están muy expuestas a la luz solar son más pequeñas que las que están ubicadas en el interior del árbol. Las hojas adultas del cacao Criollo son más grandes que las del cacao Forastero.

F). Flores:

INTA, (2009), señala que el cacao es cauliflor, es decir que las flores y frutos se forman en el tallo y las ramas maduras. El árbol produce las inflorescencias en pequeños salientes denominadas cojinetes florales. La flor es hermafrodita, pequeña (1-2 cm de diámetro), pentámera y sostenida por un pedicelo de 1 a 3

cm., con una constricción en su base. Posee cinco sépalos unidos en su base, de color blanco o rosado, con pétalos alternos fusionados a los sépalos. Cada pétalo está formado de un capuchón, cogulla o concha, que cubre las anteras del estambre.

Rimache, (2008), menciona que las flores del cacao son hermafroditas es decir posee ambos sexos, “su fórmula es S5, P5, E5 + 5, G (5); lo que significa cinco sépalos, cinco pétalos, diez estambres en dos grupos o verticilos de los cuales solo uno es fértil y un ovario súpero de cinco carpelos fundidos.

INTA, (2009), indica que la forma y disposición de las diferentes partes de la flor del cacao ayuda a que la polinización sea entomófila o efectuada por insectos muy pequeños. Sin embargo, se puede hacer manualmente para producir semilla y en un proceso de mejoramiento genético hacer cruces entre plantas. La flor de cacao que no es polinizada se cae a las 48 horas, lo que disminuye la capacidad productiva de la planta. Esta situación se debe a problemas de compatibilidad, deficiencia nutricional y mal manejo del cacaotal

Batista, (2009), señala que la polinización del cacao es estrictamente entomófila, para lo cual la flor inicia su proceso de apertura con el agrietamiento del botón floral en horas de la tarde. El día siguiente, en horas de la mañana, la flor está completamente abierta. Las anteras cargadas de polen abren y están viables (disponibles; funcionales) casi inmediatamente por un período aproximado de 48 horas. Esta es la única etapa disponible para la polinización.

G). Fruto:

INTA, (2009), señala que es una mazorca que tiene módulos visibles por los surcos. En su interior presenta cinco hileras de semillas o almendras cubiertas de pulpa o mucílago, de sabor dulce y aroma agradable. El número de semillas por fruto varía en promedio de 20 a 40, en casos excepcionales, alcanzan 50 dependiendo del tamaño de mazorca,

INTA, (2009), indica que el fruto es sostenido por un pedúnculo, el mismo de la flor original. La mazorca está compuesta de tres partes: el exocarpio o la sección exterior, la capa de en medio o mesocarpio y la capa interior o endocarpio. El mesocarpio es una capa de células semi-leñosas bastante duras. Este carácter es

variable, en dependencia del tipo de cacao, usualmente los criollos son muy suaves y los forasteros son muy duros.

Rimache, (2008), menciona que las mazorcas maduras no se abren solas para esparcir así las semillas, ni se desprenden del árbol por lo cual muchas veces se pueden en el mismo árbol dificultando así la diseminación natural, solo puede realizarse la diseminación por medio de animales.

Batista, (2009), indica Dentro de su clasificación botánica el fruto de cacao es una drupa normalmente conocida como mazorca. Tanto el tamaño como la forma de los frutos varían ampliamente dependiendo de sus características genéticas, el medio ambiente donde crece y se desarrolla el árbol, así como el manejo en la plantación. Las mazorcas de cacao por sus formas están clasificadas como: Amelonado, Calabacillo, Angoleta y Cundeamor, variando según el tipo o la especie.

H). Semilla:

Rimache, (2008), indica que estas se encuentran dentro del fruto. El número, tamaño y forma de las semillas dependerá de la variedad. Las semillas son de forma aplanada o redonda de 2 cm a 4 cm de tamaño, están ubicadas en cinco hileras dentro del fruto.

La semilla está rodeada de una envoltura arilar blancuzca y azucarada. El arilo está compuesto por parénquima. La testa es gruesa y coriácea con la cutícula dura. El embrión se forma de dos grandes cotiledones que encierra una pluma pequeña. Las sustancias que se encuentran en los cotiledones son las que constituyen el producto comercial. Las más abundantes son las grasas, que forman el 20 al 50% de la semilla. Entre ella se hallan granos de aleurona y almidón. En los tejidos del parénquima de los cotiledones se hallan los principios estimulantes, teobromina y cafeína en porcentajes de 1 a 0,5% respectivamente. Las semillas contienen también apreciables cantidades de proteínas 10 a 12% del peso, fibras, agua y otras sustancias.

INTA, (2009), señala que la semilla o almendra de cacao tiene forma de haba, con una longitud de 2 a 3 cm, cubierta de una pulpa mucilaginoso de sabor agridulce. El proceso de germinación inicia cuando la mazorca alcanza su madurez fisiológica. El peso varía de 2 a 3.7 gr según la genética del clon. La longitud de

las semillas varía de 20 a 30 mm y de ancho entre 10 a 17 mm. La forma de la semilla también varía mucho desde triangulares, ovoides, alargadas o redondeadas, chatas o aplastadas.

Batista, (2009), indica que el fruto del cacao puede contener entre 20 a 60 semillas o almendras, cuyo tamaño y forma varían según el tipo genético. La semilla del cacao es más bien un óvulo del interior del ovario de la flor fecundado y desarrollado, que luego de su desarrollo y maduración constituye la mazorca.

3.2.12.2. Condiciones edafoclimáticas del cultivo de cacao

Paredes, (2003). Indica que el crecimiento, desarrollo y la buena producción del cacao están estrechamente relacionados con las condiciones medioambientales de la zona donde se cultiva. Es por ello que los factores climáticos influyen en la producción de una plantación; por lo tanto, las condiciones térmicas y de humedad deben ser satisfactorias para el cultivo por ser una planta perenne y que su periodo vegetativo como: la época de floración, brotamiento y cosecha está regulado por el clima, cuya relación del transcurso climático y el periodo vegetativo nos permite establecer los calendarios agroclimáticos.

a). Precipitación:

INTA, (2009), indica que la cantidad de lluvia adecuada para el cacao está entre los 1,500 y 3,500 mm/año, con una distribución no menos de 150 mm/mes. Se considera como un límite seco para el cacao la isoyeta de 1,220 mm/año, con período seco no mayor de tres meses.

(Paredes, 2003). Indica que el cacao es una planta que necesita un adecuado suministro de agua para efectuar sus procesos metabólicos. En términos generales, la lluvia es el factor climático que más variaciones presenta durante el año. Su distribución varía notablemente de una a otra región y es el factor que determina las diferencias en el manejo del cultivo. La precipitación óptima para el cacao es de 1,600 a 2,500 mm. distribuidos durante todo el año.

b). Temperatura:

INTA, (2009), indica que la temperatura que requiere el cacao, está en un rango de 22 a 27° C. por debajo de este rango, la floración se inhibe y los frutos tardan en madurar.

Rimache, (2008), menciona que las bajas temperaturas en el cultivo de cacao inciden en la velocidad del crecimiento vegetativo, el desarrollo del fruto y el grado de intensidad de la floración; cuando la temperatura es menor a los 21 grados centígrados la floración es menor, pero cuando alcanza los 25 grados centígrados la floración es abundante. Así mismo las bajas temperaturas influyen en la actividad radicular, temperaturas menores a 15 grados centígrados la absorción de agua y nutrientes disminuyendo la producción.

Paredes, (2003), indica que La temperatura es un factor de mucha importancia debido a su relación con el desarrollo, floración y fructificación del cultivo de cacao. La temperatura media anual debe ser alrededor de los 25°C. El efecto de temperaturas bajas se manifiesta en la velocidad de crecimiento vegetativo, desarrollo de fruto y en grado en la intensidad de floración (menor intensidad). Así mismo, controla la actividad de las raíces y de los brotes de la planta.

c). Viento

Paredes, (2003), indica que es el factor que determina la velocidad de evapotranspiración del agua en la superficie del suelo y de la planta. En las plantaciones expuestas continuamente a vientos fuertes se produce la defoliación o caída prematura de hojas. En plantaciones donde la velocidad del viento es del orden de 4 m/seg., y con muy poca sombra, es frecuente observar defoliaciones fuertes.

(INTA, 2009) indica que las plantaciones expuestas a vientos fuertes causan defoliación o caída prematura de hojas, debido al efecto secante en el microclima de la plantación, ya que las hojas pierden humedad. En plantaciones donde la velocidad del viento es un poco fuerte y con muy poca sombra, es frecuente observar defoliaciones fuertes. Las cortinas rompevientos de frutales o maderas se deben incluir en el manejo del cacao para reducir estos efectos.

d). Altitud:

Paredes, (2003), indica que el cacao crece mejor en las zonas tropicales cultivándose desde el nivel del mar hasta los 800 metros de altitud. Sin embargo, en latitudes cercanas al ecuador las plantaciones desarrollan normalmente en mayores altitudes que van del orden de los 1,000 a 1,400 msnm. La altitud no es un factor determinante como lo son los factores climáticos y edafológicos en una

plantación de cacao. Observándose valores normales de fertilidad, temperatura, humedad, precipitación, viento y energía solar, la altitud constituye un factor secundario.

e). Luminosidad:

Rimache, (2008), menciona que la intensidad de la luz es otro factor determinante en el cultivo del cacao, especialmente porque influye en la fotosíntesis. En etapas de establecimiento del cultivo se recomienda la siembra de otras plantas para proporcionar sombra ya que las plantas de cacao en estas etapas son muy susceptibles a la acción directa de los rayos solares. Se considera que una intensidad lumínica menor al 50% del total de la luz, limita los rendimientos, mientras cuando es mayor al 50% los aumenta.

INTA, (2009), señala que es otro de los factores ambientales de importancia en el crecimiento, desarrollo y fructificación de la planta. Se conoce que el grado de luz que debe recibir una plantación de cacao está en relación a la disponibilidad de agua y nutrientes presentes en el suelo. Alta intensidad de luz en suelos pobres sin fertilización agota y matan los árboles de cacao. Se requiere de más sombra en suelo pobres y más luz en suelos fértiles. Zonas nubosas pueden reducir brillo solar de 3 a 4 horas, exigiendo mantener pocos árboles de sombra. El cacao responde bien con cinco horas de brillo solar.

Paredes, (2003), señala que la luz es otro de los factores ambientales de importancia para el desarrollo del cacao especialmente para la fotosíntesis, la cual ocurre a baja intensidad aun cuando la planta este a plena exposición solar. En la etapa de establecimiento del cultivo de cacao es recomendable la siembra de otras plantas para hacer sombra, debido a que las plantaciones jóvenes de cacao son afectadas por la acción directa de los rayos solares. Para plantaciones ya establecidas, se considera que una intensidad lumínica menor del 50% del total de luz limita los rendimientos, mientras que una intensidad superior al 50% del total de luz los aumenta.

3.2.12.3. Requerimientos de suelo para el cultivo de cacao

INTA, (2009), señala que Los suelos deben ser profundos para un buen desarrollo radicular, con capacidad para retener agua, porosidad suficiente para permitir la

penetración de raíces, la circulación del aire y la adecuada infiltración y percolación del agua. Los suelos aptos son desde arcillosos hasta los francos arenosos. Las arcillas tienen la facilidad de absorber agua dentro de su estructura cristalina. Los suelos arenosos, aunque poseen buen espacio poroso para la penetración de raíces, carecen de buena retención de agua, razón por la cual no son recomendados para la siembra de cacao en lugares con períodos secos.

a). Drenaje:

INTA, (2009), señala que en general prefiere, los suelos con un horizonte húmico de color oscuro uniforme, con profundidad de un metro o mayor, son suelos bien drenados, con buena capacidad de retención de humedad y con buena aireación. Si la aireación es buena habrá oxígeno para la respiración de las raíces para los microorganismos que descomponen la materia vegetal disponible para la planta de cacao. Los suelos que debajo del horizonte húmico tienen color rojo o pardo rojizo, son considerados aptos para el cacao. Los colores rojo, pardo y amarillo denotan una oxidación completa del óxido de hierro, por lo cual son indicativos de buena aireación y buen drenaje.

Paredes, (2003), indica que está determinado por las condiciones climáticas del lugar, la topografía, la susceptibilidad del área a sufrir inundación y la capacidad intrínseca del suelo para mantener una adecuada retención de humedad y disponer de una adecuada aireación. Existen problemas de drenaje interno por disposición de texturas en el perfil del suelo. Cuando hay texturas arcillosas en el subsuelo, estas no permiten el rápido movimiento del agua originando procesos de óxido reducción que ocasionan la aparición de moteaduras.

b). pH del suelo:

Rimache, (2008), menciona que el pH en el suelo es una de las características más importantes ya que este es un factor que determina la velocidad de descomposición de la materia orgánica, así como la disponibilidad de los elementos nutritivos.

INTA, (2009). Señala que el cacao tiene una gran capacidad para adaptarse a diferentes condiciones de acidez. Puede desarrollarse sobre suelos desde muy ácidos con PH inferior a 5, hasta en suelos muy alcalinos con PH superior a 8. Las mejores condiciones se encuentran en suelos con PH de acidez intermedia.

c). Materia orgánica:

Paredes, (2003), indica que la materia orgánica es uno de los elementos que favorece la nutrición del suelo y a través de ésta a la planta. Su contenido en el suelo influye en las condiciones físicas y biológicas de la plantación. Así mismo, favorece la estructura del suelo posibilitando que éste se desmenuce con facilidad. Al mismo tiempo, evita la desintegración de los gránulos del suelo por efecto de las lluvias. Otro factor importante de la materia orgánica es que constituye el alimento de los micro elementos del suelo que participan en forma activa en la formación y desarrollo del suelo. Producto de la descomposición de la materia orgánica en el suelo se obtiene el humus que constituye un depósito de calcio, magnesio y potasio.

d). Topografía:

Rimache, (2008), menciona que se puede observar que la incidencia de la moniliasis es menor en terrenos con pendientes menores al 15%.

Paredes, (2003), indica que es otro elemento importante para el establecimiento de plantaciones de cacao, ya que una topografía accidentada impide la mecanización y la aplicación de técnicas modernas, además que estas zonas están sujetas a la erosión constante por efecto de las lluvias lo cual constituye un problema muy serio que ocasiona la pérdida de la capa arable del suelo. Con la finalidad de evitar que esto ocurra se deben realizar prácticas de conservación de suelos, como barreras vivas, barreras muertas, siembra a curvas a nivel, coberturas vegetales, etc.

IV. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo de investigación

Descriptivo.

4.2. Ubicación espacial

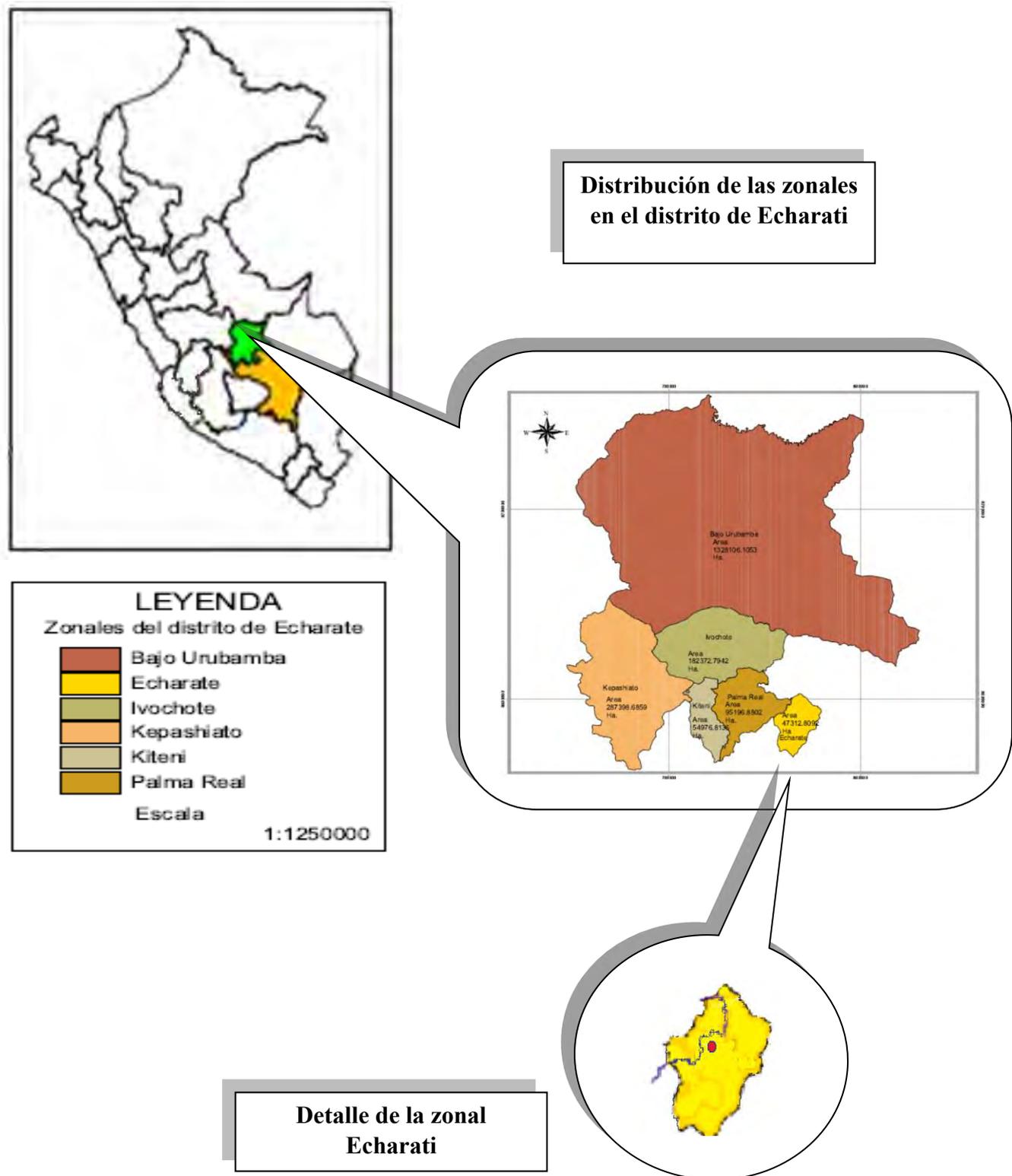
4.2.1. Ubicación Política

Región : Cusco
Provincia : La Convención
Distrito : Echarati
Zonal : Echarati

4.2.2. Ubicación Geográfica

Latitud sur : 12° 37' 12"
Longitud oeste : 72° 39' 36"
Altitud máxima : 3500 m.s.n.m.
Altitud mínima : 1000 m.s.n.m.
Altitud media : 1700 m.s.n.m.

Mapa 01: Ubicación de la Investigación



Fuente: Área Gestión de la Información GDE, MDE, 2009.

4.2.3. Ubicación Hidrográfica

Vertiente : Atlántico
Cuenca principal : Vilcanota
Micro cuencas : Huacayoc
Pan de azúcar
Sajiruyoc
Sahuayaco

4.2.4. Ubicación Ecológica

Clima:

El distrito de Echarati, presenta un clima cálido lluvioso en los meses de diciembre a marzo, y cálido seco de abril a noviembre; sin embargo, este clima característico de estas cuencas, por situarse en selva alta, presenta al mismo tiempo una serie de variaciones según la topografía, altitud, periodo de lluvias, estíos, estaciones del año, etc., éstas variaciones originan diferentes microclimas, muy propicios para diferentes cultivos y crianzas.

Según la clasificación propuesta por (**Holdridge, 1947**) la ubicación ecológica de la zonal de Echarati, corresponde a:

- Bosque húmedo subtropical (Bh – st)

Temperatura:

El régimen térmico en general se califica de cálido a semi cálido, cuyo comportamiento está influenciado principalmente por el relieve y la altitud. La temperatura media anual varía de 15°C a 24°C, la humedad relativa es de 80% considerada como alta. La temperatura media anual calculada es de 24.03°C, variando entre los 23.50°C en el mes de junio y 24.80°C en el mes de octubre. Las máximas extremas se presentan en octubre a noviembre con 30.63°C y mínimas extremas en junio con 16.5°C.

Precipitación:

La precipitación promedio en el ámbito de la investigación es de 989.5 mm. Las más fuertes precipitaciones se registran en los meses de enero, febrero y marzo, y en los meses que disminuye la precipitación son: julio, agosto y setiembre; por

otra parte, la precipitación se incrementa con mayor fuerza de los pisos altitudinales menores de Selva y Ceja de Selva hacia los niveles mayores.

Humedad Relativa:

La variación de la humedad relativa registra los siguientes datos:

- Máxima promedio mensual : Agosto, 82.40 %
- Mínima promedio mensual : Enero, 76.30 %
- Promedio anual : 80.30 %.

Las altas precipitaciones acompañadas de las elevadas temperaturas predominantes en esta zona, más la densa vegetación existente determina una humedad relativa alta de 82 %.

4.3. Ubicación temporal

La investigación ha sido desarrollada durante los meses de mayo – diciembre del 2018. Los datos recolectados corresponden a los estudios y evaluaciones realizadas en campo durante el periodo de la investigación señalado.

4.4. Materiales y métodos

4.4.1. Materiales

4.4.1.1. *Materiales de campo*

- Wincha de 100m
- Wincha de 10 m
- Planos topográficos y parcelarios
- Libreta de campo
- Tablero para encuesta
- Ficha de encuestas
- Fichas de registro
- Cámara fotográfica
- Cinta métrica
- Estacas
- Balanza de precisión
- Envases

- Cilindro de volumen
- Bolsas de polietileno
- Pico
- Pala
- GPS
- Estufa
- Nylon
- Serrucho de podar
- Sobre

4.4.1.2. Materiales de gabinete

- Regla milimetrada
- Equipo de cómputo tablas de interpretación y lectura
- Impresora
- Textos

4.4.2. Metodología

4.4.2.1. Características socioeconómicas de los agricultores que conducen las fincas agroforestales

Para lograr este objetivo, se han efectuado encuestas debidamente estructuradas a la población de agricultores existente en la zonal de Echarati; la población objetivo estuvo compuesta por las parcelas de la totalidad de agricultores cacaoteros, asentados en los diferentes sectores de la zonal de Echarati, correspondiente a 1352 familias de agricultores.

a). Muestra

Para obtener la muestra final de las parcelas a ser evaluadas y donde se aplicarían las encuestas, se tomó en cuenta el cálculo de la muestra para una población finita (CRADFORW, 1997):

$$n = \frac{\frac{4PQ}{d^2}}{\left(\frac{\left(\frac{4PQ}{d^2}\right) - 1}{N}\right) + 1}$$

Donde:

- n : Tamaño de muestra
N : Población objetivo
P : Probabilidad de acierto (0.5)
Q : Probabilidad de error (0.5)
d : Porcentaje de error (0.12)

$$n = \frac{\frac{4(0.5)(0.5)}{(0.12)^2}}{\left(\frac{\left(\frac{4(0.5)(0.5)}{(0.12)^2}\right) - 1}{1352}\right) + 1}$$
$$n = \frac{69.4}{1.05} = 66.1 \text{ parcelas}$$

Se eligió el tamaño de la muestra correspondiente al nivel de confianza de 95% y error de muestreo de 12%, lo cual dio un total de 66.1 parcelas a ser evaluadas por lo tanto la unidad de estudio está compuesta por 66 unidades de producción agrícola.

4.4.2.2. Determinación de los sistemas agroforestales

En la zonal Echarati, se implementaron tres sistemas agroforestales. A continuación, se detallan la ubicación de cada uno de estos sistemas:

a) Sistema agroforestal 1

El primer sistema agroforestal está compuesto por el sector Miraflores de la zonal Echarati, cuyas coordenadas se detallan a continuación:

- Latitud sur** : 12° 44' 00"
Longitud oeste : 72° 34' 22"
Altitud : 1019 m.s.n.m.

Mapa 02. Ubicación del sistema Agroforestal 1



b) Sistema agroforestal 2

El segundo sistema agroforestal está compuesto por el sector Cocabambillas de la zonal Echarati, cuyas coordenadas se detallan a continuación:

Latitud sur : 12° 45' 13"

Longitud oeste : 72° 34' 19"

Altitud : 916 m.s.n.m.

Mapa 03. Ubicación del sistema Agroforestal 2



b) Sistema agroforestal 3

El tercer sistema agroforestal está compuesto por el sector alto Echarate de la zonal Echarati, cuyas coordenadas se detallan a continuación:

Latitud sur : 12° 46' 20"

Longitud oeste : 72° 35' 04"

Altitud : 975 m.s.n.m.

Mapa 04. Ubicación del sistema Agroforestal 3



4.4.2.3 Identificación de las especies cultivadas por sistemas agroforestales

El sistema productivo en la zona de Echarati se caracteriza por el uso diverso de los suelos por parte de los agricultores. Predomina el cultivo, siendo la forma principal de uso la agricultura permanente.

a) Sistema agroforestal 1

En el sector Miraflores de la zonal Echarati, se identificó los siguientes tipos de cultivo:

- Cacao (*Theobroma cacao*)
- Mango (*Mangifera indica*)
- Ajo (*Gallesia integrifoli*)
- Palto (*Persea americana*)

b) Sistema agroforestal 2

El sector Cocabambillas de la zonal Echarati, se identificó los siguientes tipos de cultivo:

- Cacao (*Theobroma cacao*)
- Cedro (*Cedrela odorata*)
- Chamba (*Campomanesia lineatifolia*)
- Albizia (*Albizia carbonaria*)
- Limón (*Citrus limon*)
- Pacay mono (*Inga edulis*).

b) Sistema agroforestal 3

El sector Cocabambillas de la zonal Echarati, se identificó los siguientes tipos de cultivo:

- Cacao (*Theobroma cacao*)
- Pisonay (*Erythrina edulis*)
- Mango (*Mangifera indica*)
- Cítricos
- Huillca (*Anadenanthera colubrina*)
- Cedro (*Cedrela odorata*).

4.4.2.4. Metodología para cuantificar la biomasa existente en los diferentes estratos vegetales

Para cuantificar la biomasa existente en los diferentes estratos vegetales de cacao de la zonal de Echarati, se realizó transectos distribuidos al azar en las parcelas seleccionadas para cada sistema agroforestal; el área de muestreo fue de 100 m² (4 x 25 m). En estos transectos se realizó la evaluación de la biomasa en los diferentes depósitos: hojarasca, hierbas, arbustos (incluyendo árboles menores a 2.5 cm de diámetro), mediante la ubicación sistemática de submuestras de 1 m² cada uno para las hierbas y arbustos, dentro de ellos un cuadro de 0.25 m² (0.5 x 0.5 m) para medir la hojarasca. La metodología de evaluación que se utilizó en la investigación, es la desarrollada por el ICRAF (Centro Mundial de agroforestería)

siguiendo los procedimientos del Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra (**Arévalo et al., 2003**).

a) Biomasa arbórea viva

Para la estimación de la biomasa arbórea de las especies encontradas en el transecto, la cual fue determinada por las medidas del diámetro se consideró el promedio de la sumatoria del diámetro de la altura de pecho de las diferentes especies que integran los Sistemas Agroforestales (DAP=0.130 m). Se calculó la biomasa de cada uno de los árboles vivos en pie, utilizando el siguiente modelo de ecuación recomendado el ICRAF, es decir el cálculo de la biomasa arbórea viva, se define por:

$$BA = (0.1184)(DAP)^{2.53}$$

Donde:

BA = Biomasa de árboles vivos y muertos en pie (kg/árbol)
DAP = Diámetro a la altura del pecho (0.130 m)

b) Biomasa arbustiva herbácea

Para cuantificar la biomasa de la vegetación arbustiva herbácea, se consideraron las plantas con tallos que tengan diámetros menores a 2.5 cm, la estimación se realizó con un muestreo directo en tres cuadrantes de 1 m x 1 m, estos cuadrantes fueron distribuidos aleatoriamente dentro de parcelas, la vegetación se cortó a nivel del suelo y se recolectó en bolsas plásticas identificadas.

En laboratorio se inició con el registro del peso fresco total por metro cuadrado, posteriormente se extrajo una submuestra determinando el peso de la submuestra obtenida de las bolsas finalmente se procedió a deshidratar la submuestra obtenida en una estufa controlando la temperatura a 75°C, hasta alcanzar un peso seco constante, el cálculo se ha realizado considerando la siguiente fórmula:

$$BAH (t ha^{-1}) = \left[\left(\frac{PSM}{PFM} \right) x PFT \right] x 0.01$$

Donde:

BHA	=	Biomasa arbustiva / herbácea, materia seca (t ha ⁻¹)
PSM	=	Peso seco de la muestra colectada (g)
PFM	=	Peso fresco de la muestra colectada (g)
PFT	=	Peso total por metro cuadrado (g)
0.01	=	Factor de conversión cuando es de 1 m x 1 m

c). Biomasa de la hojarasca

Para cuantificar la biomasa de hojarasca y otros materiales muertos, se usaron cuadrantes en el terreno de 0.5m x 0.5m colocados dentro de cada uno de los cuadrantes de 1m x 1m. Toda la hojarasca recolectada en estos subcuadrantes se colocó en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas.

En el laboratorio, se registró el peso fresco total de la hojarasca por cada 0.25 m², posteriormente se procedió a extraer una muestra y se registró su peso fresco, finalmente, la muestra se secó en estufa a una temperatura constante de 75°C, hasta alcanzar un peso seco constante, el cálculo se ha realizado considerando la siguiente fórmula:

$$Bh (t ha^{-1}) = \left[\left(\frac{PSM}{PFM} \right) x PFT \right] x 0.04$$

Donde:

Bh	=	Biomasa de la hojarasca, materia seca (t ha ⁻¹)
PSM	=	Peso seco de la muestra colectada (g)
PFM	=	Peso fresco de la muestra colectada (g)
PFT	=	Peso total por metro cuadrado (g)
0.04	=	Factor de conversión cuando es de 0.5 m x 0.5 m

d). Biomasa vegetal total

Para efectuar el cálculo de la biomasa vegetal total existente en los sistemas agroforestales, se consideró los valores obtenidos para la biomasa en cada uno de los diferentes estratos evaluados como son el estrato arbóreo, arbustivo y hojarasca; el cálculo se ha realizado considerando la siguiente fórmula:

$$BVT (t ha^{-1}) = (BAVT + BAH + Bh)$$

Donde:

BVT	=	Biomasa Vegetal Total (t ha ⁻¹)
BAVT	=	Biomasa total de árboles vivos
BAH	=	Biomasa arbustiva y herbácea
Bh	=	Biomasa de la hojarasca

4.4.2.5. Metodología para determinar el contenido de carbono, retenido en los sistemas agroforestales de cacao

a). Carbono en la biomasa vegetal

Para efectuar la estimación del contenido de carbono existente en la biomasa vegetal total, se consideró el peso de la biomasa vegetal total calculado, así como la proporción o constante de carbono, mediante la siguiente fórmula:

$$CBV (t ha^{-1}) = BVT \times 0.45$$

Donde:

CBT	=	Carbono en la biomasa vegetal
BVT	=	Biomasa vegetal total
0.45	=	Constante (proporción de carbono)

b). Carbono en los suelos

Para calcular la cantidad de carbono existente en los suelos, se establecieron horizontes de suelo, donde se utilizó cilindros de volumen conocido, esto con el fin de estimar la densidad aparente del suelo, que es el peso seco de un volumen determinado de suelo expresado en gramos por centímetro cúbico (g/cc). Para ello, se calculó el peso del volumen del suelo por hectárea, evaluando previamente la densidad aparente del suelo en cada uno de los diferentes horizontes establecidos para los diversos sistemas agroforestales seleccionados.

b.1). Densidad aparente del suelo

Para poder determinar la densidad aparente en el suelo, se procedió a registrar el peso seco del suelo en relación al volumen del recipiente. Esta actividad fue repetida en los diferentes puntos de muestreo de los diversos sistemas agroforestales, y dichos valores fueron remplazados en la siguiente ecuación con la finalidad de calcular la densidad aparente.

$$DA (g\ cc^{-1}) = PS/V$$

Donde:

DA	=	Densidad aparente (g/cc)
PS	=	Peso de suelo seco
V	=	Volumen

b.2). Peso del volumen del suelo

Se efectuó el cálculo del peso del volumen del suelo por cada uno de los horizontes de muestreo, en cada uno de los sistemas agroforestales identificados; para ello se utilizó el valor de la densidad aparente calculado anteriormente y remplazado en la siguiente fórmula:

$$PVs (t\ ha^{-1}) = DA \times h \times 10000$$

Donde:

PVs	=	Peso del volumen de suelo (t/ha)
DA	=	Densidad aparente
h	=	Profundidad de corte
10000	=	Constante (valor de 1 ha en m ²)

b.3). Cantidad de carbono total en los suelos

Para calcular la cantidad de carbono total presente en el suelo de los diferentes sistemas agroforestales establecidos, se ha realizado previamente el análisis de suelo respectivo para cada sistema agroforestal establecido, en base a una muestra de 1.0 kg, extraídas de los suelos identificados y llevado a evaluar al laboratorio de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco; esto con

la finalidad de poder determinar en laboratorio el porcentaje de carbono presente en los suelos analizados. Así mismo se consideró el valor anterior obtenido del peso del volumen de suelo, y se remplazaron en la siguiente fórmula:

$$CS (t ha^{-1}) = (PVS \times \%C) / 100$$

Donde:

CS	=	Carbono en el suelo (t/ha)
Pvs	=	Peso del volumen de suelo
% C	=	Porcentaje de carbono analizado en laboratorio
100	=	Factor de conversión

c). Carbono total en el sistema agroforestal

Para determinar el contenido de carbono total, presente en los sistemas agroforestales, se consideró la cantidad de carbono presente tanto en la biomasa vegetal como en el suelo. Estos valores remplazados en la siguiente ecuación:

$$CT (t ha^{-1}) = CBV + CS$$

Donde:

CT	=	Carbono total del sistema agroforestal (t/ha)
CBV	=	Carbono en la biomasa vegetal total
CS	=	Carbono en el suelo

4.4.2.6. Metodología para determinar el valor económico del contenido de carbono almacenado en la biomasa y suelo en los sistemas agroforestales de cacao.

Para la valoración económica del contenido de carbono retenido en la biomasa en los suelos de los sistemas agroforestales, se tomó como referencia el valor por tonelada de carbono utilizado en proyectos internacionales (\$ US 10,000), bajo dos escenarios de valoración: a) Valor del servicio brindado por los componentes arbustivos y arbóreo, es decir el carbono almacenado a nivel de la biomasa arbórea; y b) Valor del servicio brindado por los sistemas agroforestales (carbono en el suelo y en la biomasa arbórea).

4.5. Procesamiento de la información

El procesamiento de la información de todas las evaluaciones efectuadas en la investigación fue realizado en el programa Microsoft Excel 2016. Para ello se organizó mediante cuadros ordenados para cada variable evaluada. Para las encuestas desarrolladas, se construyó la sabana de respuestas, las cuales fueron expresadas mediante gráficas de frecuencia. De igual forma para los demás objetivos de la investigación se organizaron cuadros y gráficas de comparaciones mediante barras.

La determinación de sistemas agroforestales se realizó fundamentalmente bajo criterios de razón socio productivas y ambientales con el contexto histórico del desarrollo de los cultivos conducidos por familias campesinas, habiendo desarrollado técnicas y metodologías en cada uno de los grupos de cultivos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

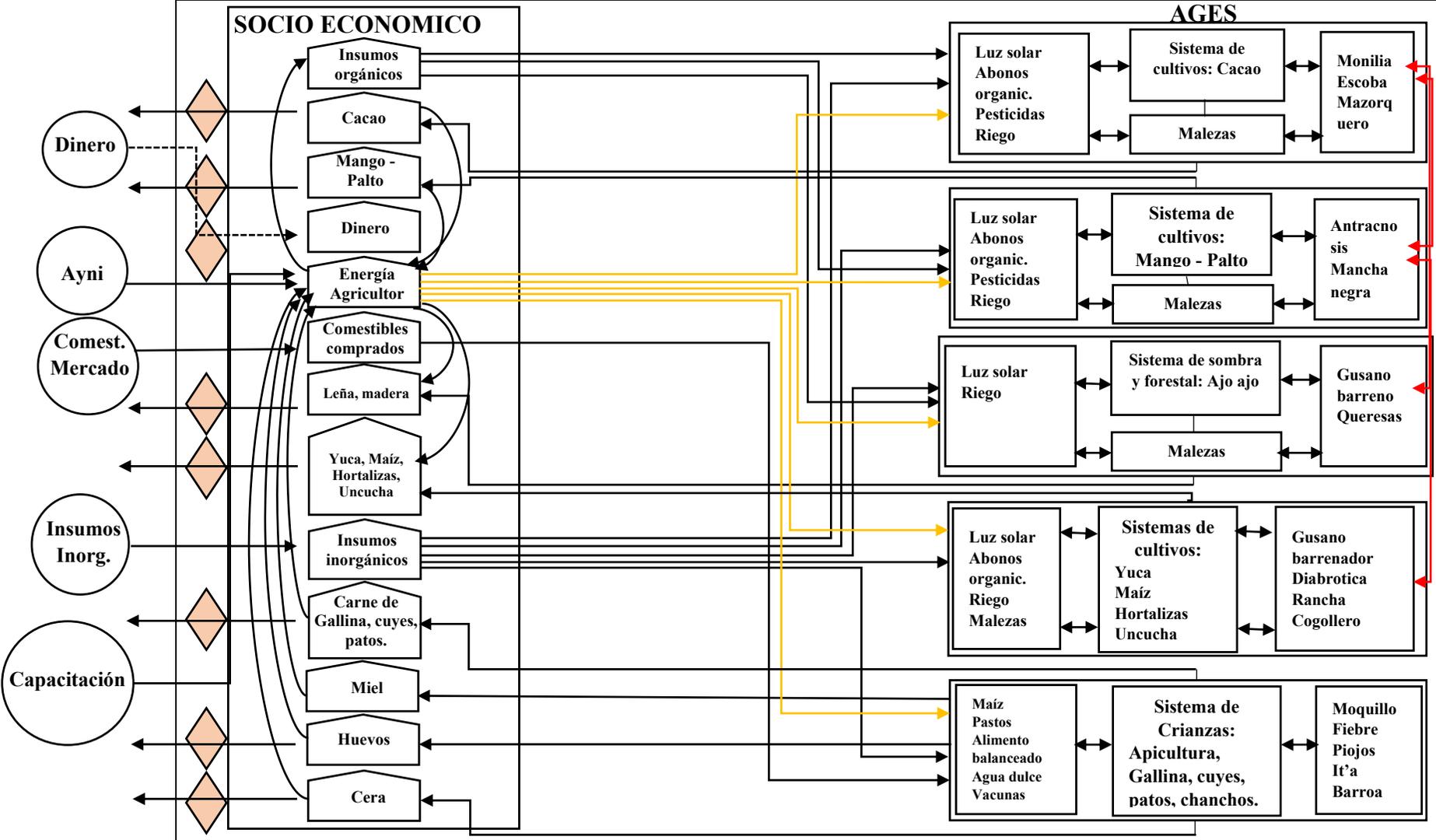
5.1. Biomasa existente en los sistemas agroforestales

Para desarrollar el cálculo de la biomasa existente en los sistemas agroforestales, se ha realizado previamente la caracterización, con el objetivo de identificar los 03 sistemas agroforestales; para ello se ha tomado en cuenta las principales especies existentes en cada una de las parcelas muestreadas, habiéndose identificado:

- Sistema agroforestal 01 compuesto por: Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Allium sativum*) – Palto (*Persea americana*)
- Sistema agroforestal 02 compuesto por: Cacao (*Theobroma cacao*) – Cedro (*Cedrela odorata*)– Chamba (*Campomanesia lineatifolia*) – Albizia (*Albizia carbonaria*)– Limón (*Citrus limon*)– Pacay mono (*Inga edulis*).
- Sistema agroforestal 03 compuesto por: Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huilca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*).

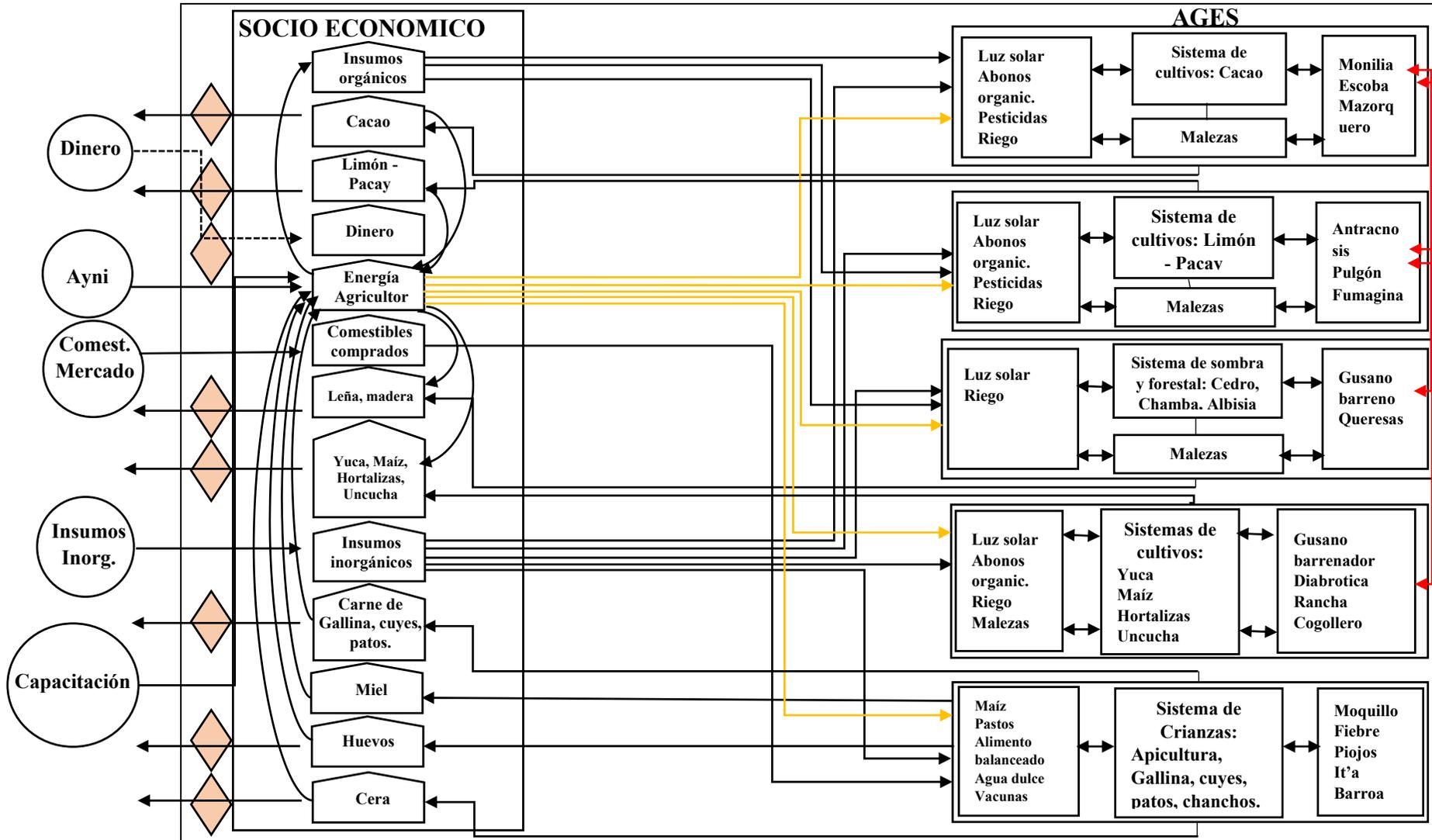
Para ello, se realizó la construcción del diagrama que representa la estructura de estos 3 sistemas agroforestales de cacao identificados, los cuales se muestran a continuación:

Gráfico 20: Diagrama cualitativo de Sistema agroforestal de Cacao – Mango - Ajo Ajo – Palto



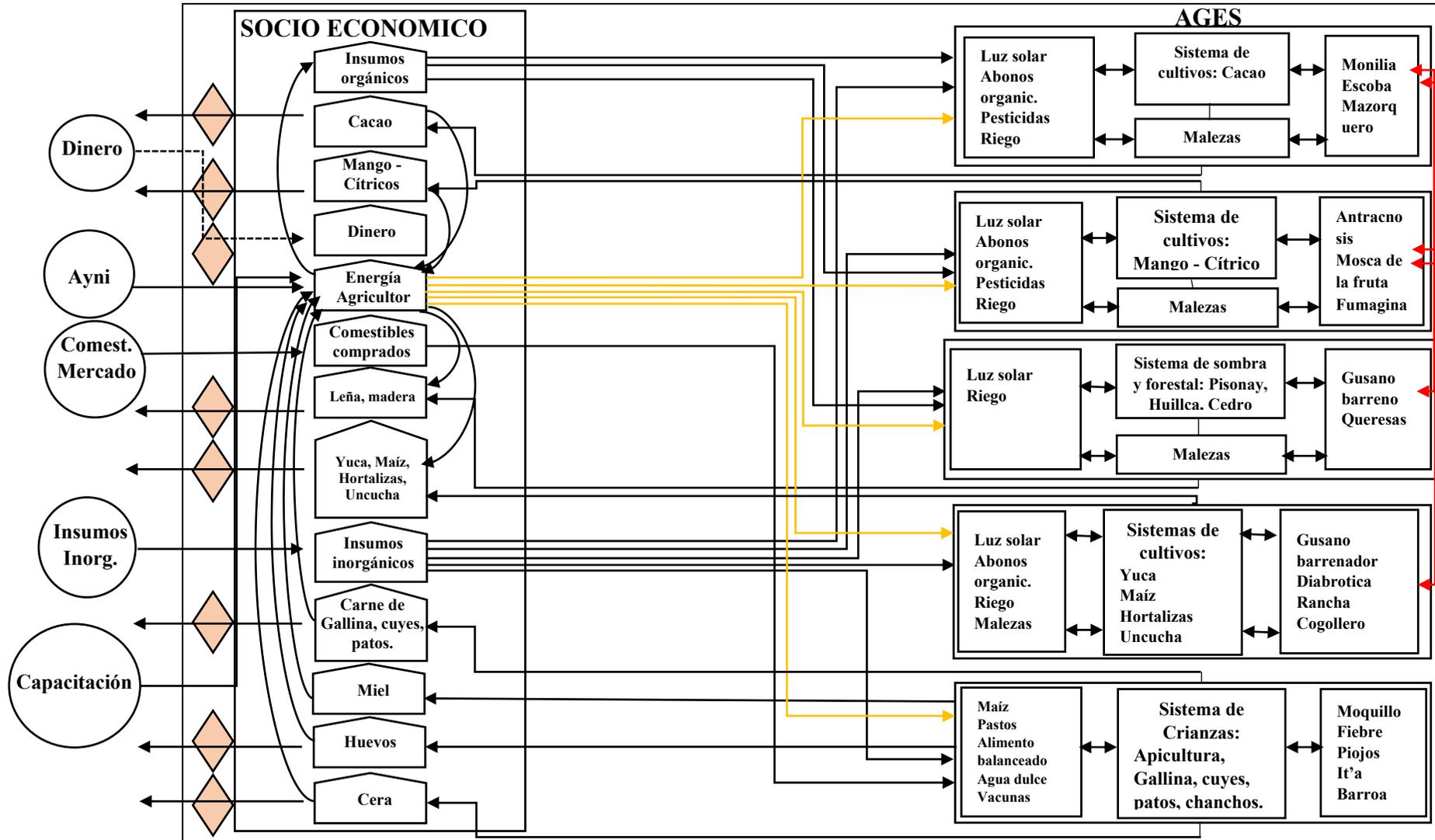
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 21: Diagrama cualitativo de Sistema agroforestal de Cacao – Cedro – Chamba – Albisia – Limón – Pacay mono



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 22: Diagrama cualitativo de Sistema agroforestal de Cacao - Pisonay - Mango - Cítricos - Huilca – Cedro



Fuente: Elaboración propia

5.1.1. Biomasa arbórea viva

Para la estimación de la biomasa arbórea viva, se ha considerado el diámetro principal de tallo a la altura del pecho (DAP) de las diferentes especies que componen los sistemas agroforestales identificados.

Respecto al sistema agroforestal 01, de un total de 55 plantas evaluadas, se ha identificado que la sumatoria del diámetro de pecho total para este sistema es de 1023.75 cm, lo que es resumido en el cuadro 01.

Cuadro 01: Diámetro de altura de pecho de especies existentes en un Sistema Agroforestal de cacao (Theobroma cacao) – Mango (Mangifera indica) - Ajo (Allium sativum) – Palto (Persea americana)

N°	Especie Agroforestal	N° de plantas evaluadas	\sum DAP (cm)	\bar{X} DAP (cm)
01	Cacao	38	468.62	12.33
02	Mango	04	182.07	45.52
03	Ajo ajo	05	121.91	24.38
04	Palto	08	251.15	31.39
\sum Sistema Agroforestal		55	1023.75	

Referente al sistema agroforestal 02, compuesto por Cacao (Theobroma cacao) – Cedro (Cedrela odorata)– Chamba (Campomanesia lineatifolia) – Albizia (Albizia carbonaria)– Limón (Citrus limon)– Pacay mono (Inga edulis), de un total de 68 plantas evaluadas, se ha identificado que la sumatoria del diámetro de pecho total para este sistema es de 957.35 cm, lo que es resumido en el cuadro 02.

Cuadro 02: Diámetro de altura de pecho de especies existentes en un Sistema Agroforestal de Cacao (Theobroma cacao) – Cedro (Cedrela odorata)– Chamba (Campomanesia lineatifolia) – Albizia (Albizia carbonaria)– Limón (Citrus limon)– Pacay mono (Inga edulis)

N°	Especie Agroforestal	N° de plantas evaluadas	\sum DAP (cm.)	\bar{X} DAP (cm.)
01	Cacao	37	480.01	12.97
02	Cedro	03	39.22	13.07
03	Chamba	09	117.68	13.08
04	Albisia	04	105.87	26.47
05	Limón Limón	10	120.48	12.05
06	Pacay mono	05	94.09	18.82
\sum Sistema Agroforestal		68	957.35	

Para determinar el diámetro de pecho total del sistema agroforestal 03, compuesto por cacao, pisonay, mango, cítricos, huillca y cedro, se ha contabilizado y evaluado un total de 68 plantas, cuya sumatoria da un total de 887.07 cm. Estos valores calculados son observados en el cuadro 03

Cuadro 03: Diámetro de altura de pecho de especies existentes en un Sistema Agroforestal de por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huillca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*).

N°	Especie Agroforestal	N° de plantas evaluadas	∑ DAP (cm.)	\bar{X} DAP (cm.)
01	Cacao	37	481.44	12.67
02	Pisonay	03	79.42	19.85
03	Mango	09	138.08	46.03
04	Cítricos	04	79.96	11.42
05	Huillca	10	56.18	18.73
06	Cedro	05	51.98	13.00
∑ Sistema Agroforestal		68	887.07	

Para el cálculo de la Biomasa arbórea viva, se consideró el promedio de la sumatoria del diámetro de la altura de pecho de las diferentes especies que integran los Sistemas Agroforestales identificados, considerando las fórmulas propuestas por el ICRAF, es decir el cálculo de la biomasa arbórea viva, está definido por:

$$BA = (0.1184)(DAP)^{2.53}$$

Donde:

BA = Biomasa de árboles vivos y muertos en pie (kg)

0.1184 = Constante

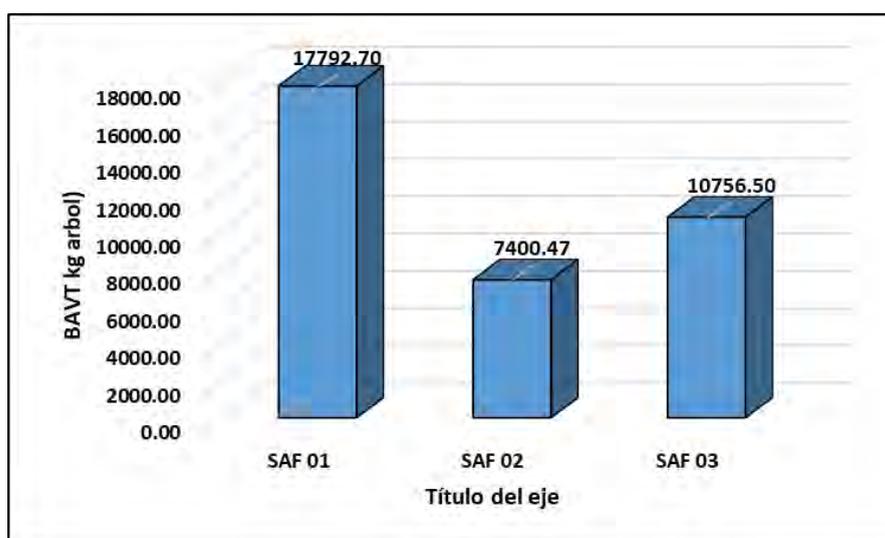
DAP = Diámetro a la altura del pecho (1.30 cm)

Remplazando la ecuación en cada uno de los DAP, se reporta el cuadro 04 sobre la Biomasa existente en los tres Sistemas Agroforestales.

Cuadro 04: Biomasa arbórea viva de tres Sistemas Agroforestales de Cacao (kg/árbol)

N°	Especie Agroforestal	N° de plantas evaluadas	∑ DAP (cm.)	BAVT (Kg árbol)
01	Sistema agroforestal 01	55	1023.75	17792.70
02	Sistema agroforestal 02	68	957.35	7400.47
03	Sistema agroforestal 03	68	887.07	10756.50

Gráfico 23: Biomasa arbórea viva de tres Sistemas Agroforestales de Cacao (kg/árbol)



Como se identifica en el gráfico 23, existe un predominio respecto de la biomasa arbórea del sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Allium sativum*) – Palto (*Persea americana*) donde la biomasa tiene un valor de 17,792.70 kg/ha, seguido por el sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huillca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*) con una biomasa de 10,756.50 kg/ha, y el sistema agroforestal 02 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Cedro (*Cedrela odorata*)– Chamba (*Campomanesia lineatifolia*) – Albizia (*Albizia carbonaria*)– Limón (*Citrus limon*)– Pacay mono (*Inga edulis*) con una biomasa de 7,400.47 Kg/ha.

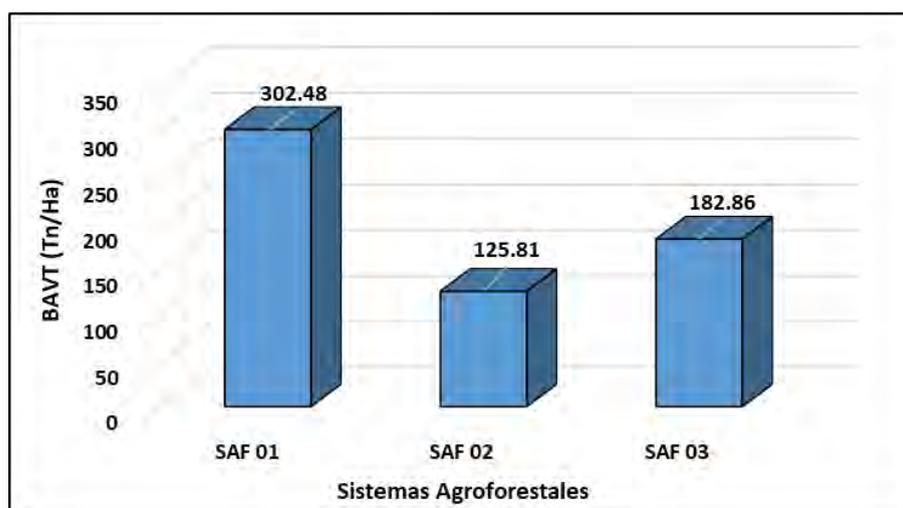
Para el cálculo de la Biomasa arbórea en toneladas, se tomó en consideración las biomásas de todos los árboles medidos y registrados en las diferentes parcelas de sistemas agroforestales, considerando el factor de conversión de la parcela, en

este caso que toma un valor de 0.017 al ser parcelas de 600 m², tal como se expresa a continuación:

Cuadro 05: Biomasa arbórea viva en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (tn/ha)

N°	Especie Agroforestal	N° de plantas evaluadas	BAVT (Kg/árbol)	BA (Tn/ha)
01	Sistema agroforestal 01	55	17792.70	302.48
02	Sistema agroforestal 02	68	7400.47	125.81
03	Sistema agroforestal 03	68	10756.50	182.86

Gráfico 24: Biomasa arbórea viva en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (Tn/ha)



Tal como se observa en el gráfico 24, en el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), se puede apreciar que la biomasa arbórea viva obtuvo el mayor valor con 302.48 tn/ha, en comparación al sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huilca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*) donde obtiene un valor de biomasa arbórea viva de 182.86 tn/ha, y finalmente, se aprecia que el sistema agroforestal 02 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) -

Cítricos – Huillca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*) obtiene un valor de biomasa de 125.81 tn/ha.

5.1.2. Biomasa arbustiva herbácea (t ha⁻¹)

Para el cálculo de la biomasa arbustiva herbácea, se consideró el peso seco y peso fresco de las muestras registradas, así mismo el peso total por la superficie del transecto establecido; el cálculo se ha realizado considerando la siguiente fórmula:

$$BAH (t ha^{-1}) = \left[\left(\frac{PSM}{PFM} \right) \times PFT \right] \times 0.01$$

Donde:

BHA = Biomasa arbustiva / herbácea, materia seca (t ha⁻¹)

PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)

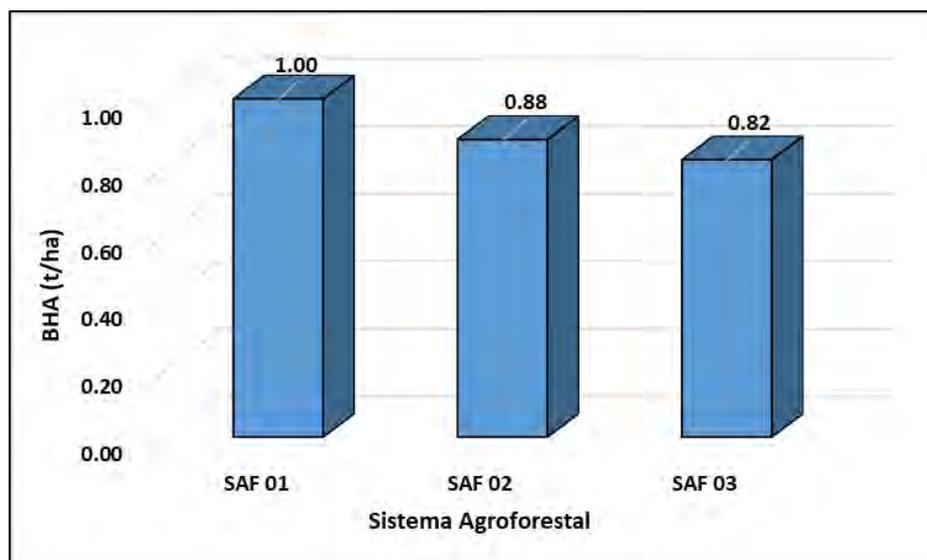
PFT = Peso total por metro cuadrado (g)

Remplazando la ecuación en cada uno de los valores registrados obtenidos tras las evaluaciones respectivas, se reporta el cuadro 06 sobre la biomasa arbustiva/herbácea, existente en los tres Sistemas Agroforestales.

Cuadro 06: Biomasa arbustiva herbácea en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (tn/ha)

N°	Sistema Agroforestal	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (Tn/ha)
Muestra 1	Sistema agroforestal 01	486.5	42.97	8.61	0.97
Muestra 2		502.00	41.77	8.53	1.03
Muestra 3		495.47	41.77	8.42	1.00
Promedio		494.43	42.17	8.52	1.00
Muestra 1	Sistema agroforestal 02	393.10	36.10	8.08	0.88
Muestra 2		389.13	35.93	8.09	0.88
Muestra 3		401.53	37.40	8.13	0.87
Promedio		394.59	36.48	8.10	0.88
Muestra 1	Sistema agroforestal 03	385.90	33.07	7.34	0.86
Muestra 2		395.13	38.93	7.83	0.79
Muestra 3		391.33	36.68	7.68	0.82
Promedio		390.79	36.23	7.62	0.82

Gráfico 25: Biomasa arbustiva herbácea en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (tn/ha)



Como se visualiza en el gráfico 25, respecto a la biomasa arbustiva herbácea, en el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), se puede apreciar que la biomasa arbustiva herbácea obtuvo el mayor valor con 1.0 Tn/ha, en comparación al sistema agroforestal 02 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Cedro (*Cedrela odorata*)– Chamba (*Campomanesia lineatifolia*) – Albizia (*Albizia carbonaria*)– Limón (*Citrus limon*)– Pacay mono (*Inga edulis*), donde obtiene un valor de biomasa arbustiva herbácea de 0.88 tn/ha, y finalmente, se aprecia que el sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huilca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), obtiene un valor de biomasa de 0.82 tn/ha.

5.1.3. Biomasa de la hojarasca

Para la estimación de la biomasa existente en la hojarasca, se ha realizado previamente la colecta de muestras de hojarasca en los diferentes transectos establecidos (0.5 m x 0.5 m), a nivel de los diferentes sistemas agroforestales establecidos. Posterior a ello se realizó el registro del peso seco y peso fresco de las muestras colectadas en los transectos establecidos.

Para efectuar el cálculo de la biomasa de la hojarasca, se consideró el peso seco y peso fresco de las muestras registradas, así mismo el peso total por la superficie del transecto establecido; el cálculo se ha realizado considerando la siguiente fórmula:

$$Bh (t ha^{-1}) = \left[\left(\frac{PSM}{PFM} \right) \times PFT \right] \times 0.04$$

Donde:

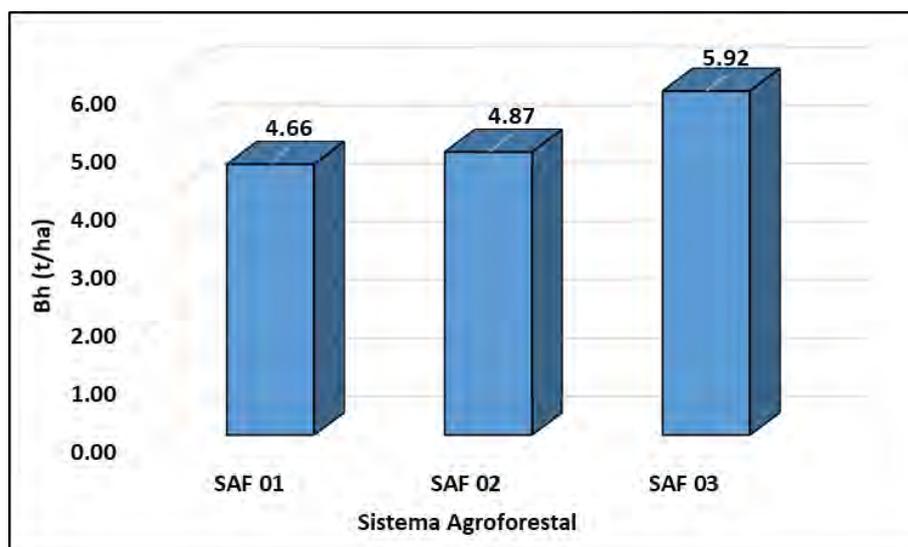
- Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca (t ha⁻¹)
 PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)
 PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)
 PFT = Peso total por metro cuadrado (g)
 0.04 = Factor de conversión cuando es de 0.5 m x 0.5 m

Remplazando la ecuación en cada uno de los valores registrados obtenidos tras las evaluaciones respectivas, se reporta el cuadro 07 sobre la biomasa de la hojarasca, existente en los tres Sistemas Agroforestales.

Cuadro 07: Biomasa de la hojarasca en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (tn/ha)

N°	Sistema Agroforestal	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (Tn/ha)
A	Sistema agroforestal 01	282.03	14.57	5.91	4.59
B		295.47	15.09	6.19	4.85
C		286.93	14.75	5.85	4.55
Promedio		288.14	14.81	5.99	4.66
A	Sistema agroforestal 02	305.83	15.00	6.04	4.92
B		296.13	15.16	6.14	4.80
C		303.93	14.50	5.83	4.89
Promedio		301.97	14.89	6.00	4.87
A	Sistema agroforestal 03	301.17	15.30	7.51	5.91
B		302.62	15.25	7.48	5.93
C		304.39	15.28	7.42	5.91
Promedio		301.97	14.89	6.00	5.92

Gráfico 26: Biomasa de la hojarasca en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (tn/ha)



Tal como se puede apreciar en el gráfico 26, respecto a la biomasa existente en la hojarasca, en el sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huilca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), se puede apreciar que la biomasa de la hojarasca obtuvo el mayor valor con 5.92 tn/ha, en comparación al sistema agroforestal 02 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Cedro (*Cedrela odorata*)– Chamba (*Campomanesia lineatifolia*) – Albizia (*Albizia carbonaria*)– Limón (*Citrus limon*)– Pacay mono (*Inga edulis*), donde obtiene un valor de biomasa de hojarasca de 4.87 tn/ha, y finalmente, se aprecia que el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), obtiene un valor en la hojarasca de 4.66 tn/ha.

5.1.4. Biomasa vegetal total

Para efectuar el cálculo de la biomasa vegetal total existente en los sistemas agroforestales, se consideró los valores obtenidos para la biomasa en cada uno de los diferentes estratos evaluados como son el estrato arbóreo, arbustivo y hojarasca; el cálculo se ha realizado considerando la siguiente fórmula:

$$BVT (t ha^{-1}) = (BAVT + BAH + Bh)$$

Donde:

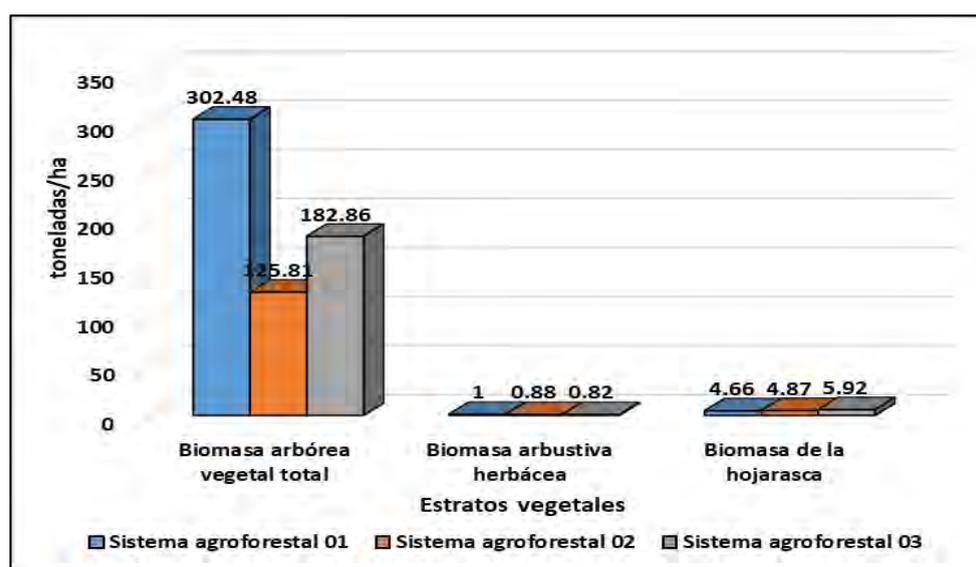
- BVT = Biomasa Vegetal Total (t ha⁻¹)
 BAVT = Biomasa total de árboles vivos
 BAH = Biomasa arbustiva y herbácea
 Bh = Biomasa de la hojarasca

Considerando los valores registrados y obtenidos anteriormente en las diferentes evaluaciones respectivas, se reporta el cuadro 08 sobre la biomasa de la hojarasca, existente en los tres Sistemas Agroforestales.

Cuadro 08: Biomasa en componentes de tres Sistemas Agroforestales de Cacao (tn/ha)

N°	Sistema Agroforestal	BAVT Ø > 2.5 (Tn/ha)	BAH (Tn/ha)	Bh (Tn/ha)	BVT (Tn/ha)
01	Sistema agroforestal 01	302.48	1.00	4.66	308.14
02	Sistema agroforestal 02	125.81	0.88	4.87	131.56
03	Sistema agroforestal 03	182.86	0.82	5.92	189.60

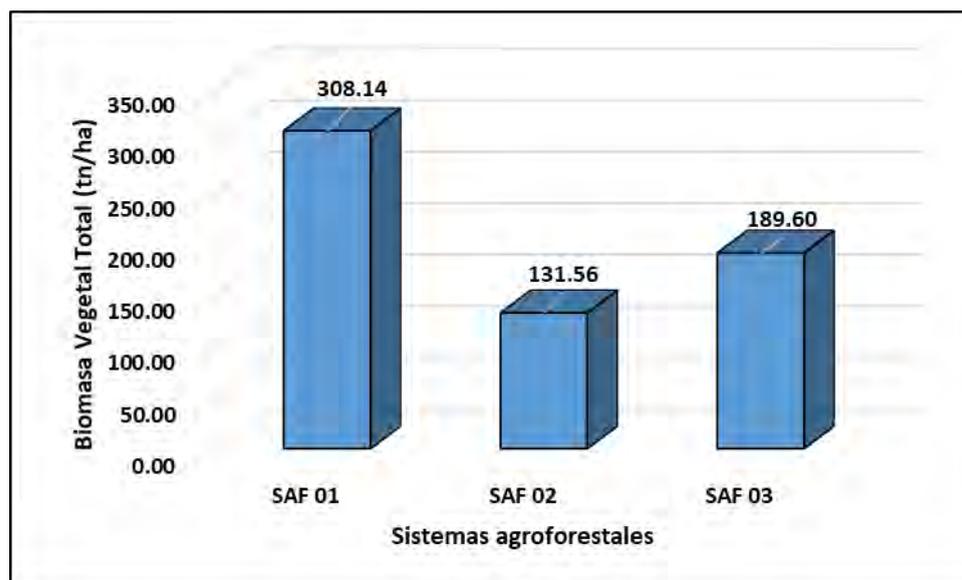
Gráfico 27: Biomasa en componentes de tres Sistemas Agroforestales de Cacao (Tn/ha)



Respecto a la biomasa existente en los diferentes estratos evaluados, se puede apreciar en el gráfico 27, que para el estrato vegetal arbóreo, la biomasa en el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), obtiene el mayor valor en comparación a los demás sistemas con una biomasa de 302.48 tn/ha; en el estrato vegetal arbustivo herbáceo el mismo sistema agroforestal obtiene también el mayor valor con una biomasa de 1.0 tn/ha; sin embargo respecto al estrato vegetal de hojarasca el sistema agroforestal 03, compuesto por

Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huillca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), obtiene el mayor valor con una biomasa de 5.92 tn/ha. Este último valor se debe por la composición de las diferentes especies que la integran.

Gráfico 28: Biomasa vegetal total en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (Tn/ha)



Respecto a la biomasa vegetal total existente en los sistemas agroforestales evaluados de la zonal de Echarati, se identifica que, el sistema agroforestal que presentó el mayor valor de biomasa vegetal total fue el sistema 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), en el cual se puede apreciar que la biomasa obtuvo un valor de 308.14 tn/ha, seguido del sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huillca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), que obtiene un valor de biomasa vegetal total de 189.60 tn/ha; y finalmente, se aprecia que el sistema agroforestal 02 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Cedro (*Cedrela odorata*)– Chamba (*Campomanesia lineatifolia*) – Albizia (*Albizia carbonaria*)– Limón (*Citrus limon*)– Pacay mono (*Inga edulis*), la biomasa obtuvo un valor de 131.56 tn/ha.

5.2. Contenido de carbono contenido en los sistemas agroforestales

5.2.1. Carbono existente en la biomasa vegetal total

Para efectuar la estimación del contenido de carbono existente en la biomasa vegetal total, se considera el peso de la biomasa vegetal total calculado, así como la proporción o constante de carbono, mediante la siguiente fórmula:

$$CBV (t\ ha^{-1}) = BVT \times 0.45$$

Donde:

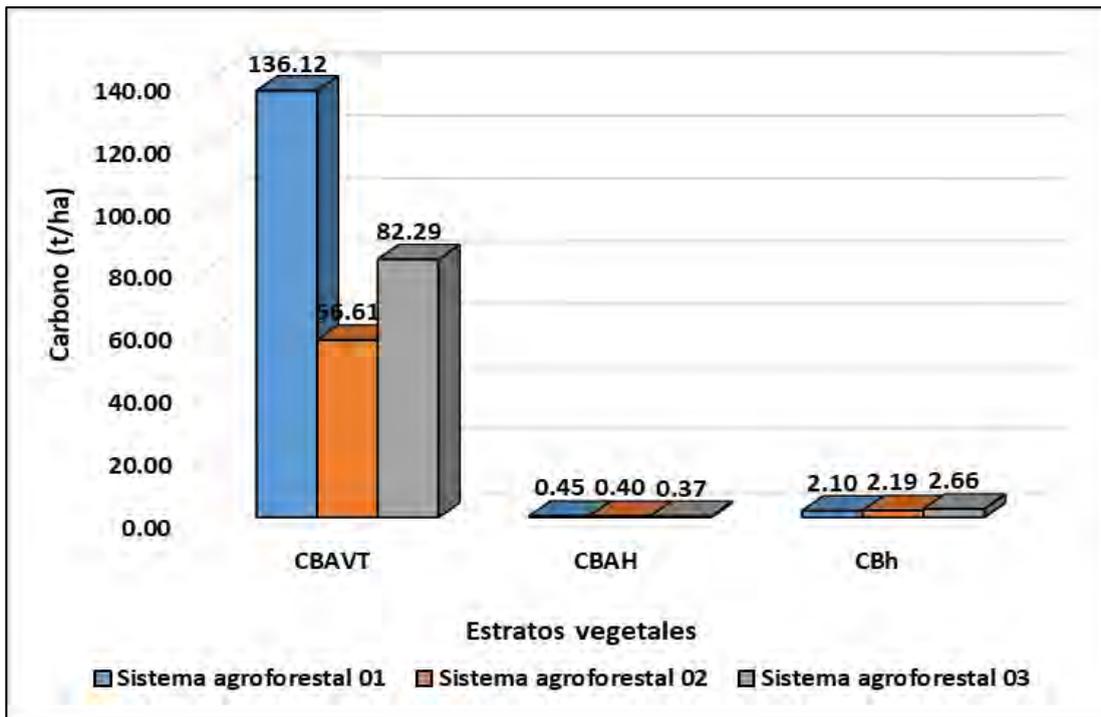
- CBT = Carbono en la biomasa vegetal
BVT = Biomasa vegetal total
0.45 = Constante (proporción de carbono)

En cada uno de los estratos vegetales, se ha identificado el contenido de carbono:

Cuadro 09: Estimación del contenido de carbono en los componentes de los tres Sistemas Agroforestales de Cacao (tn/ha)

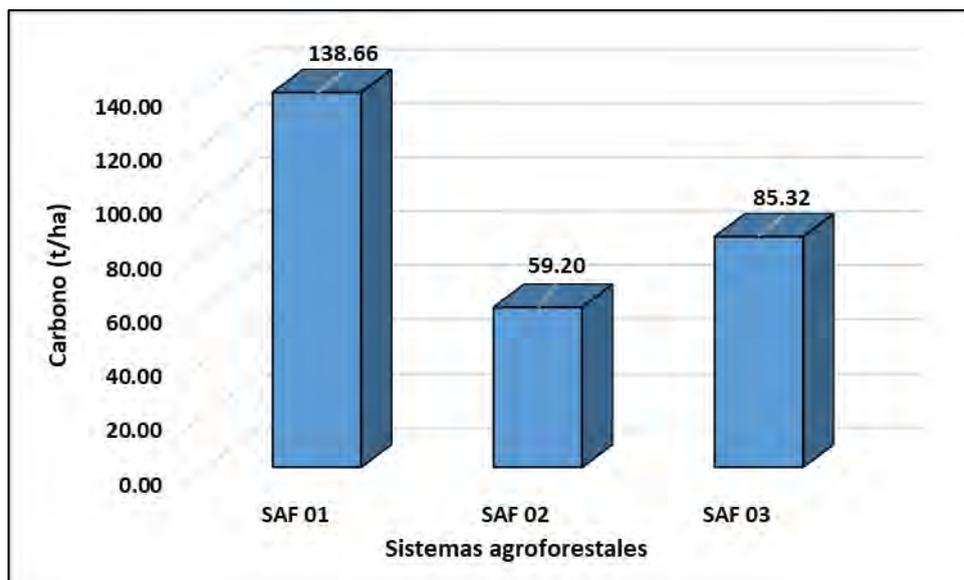
N°	Sistema Agroforestal	CBAVT Ø > 2.5 (t/ha)	CBAH (t/ha)	CBh (t/ha)	CBVT (t/ha)
01	Sistema agroforestal 01	136.12	0.45	2.10	138.66
02	Sistema agroforestal 02	56.61	0.40	2.19	59.20
03	Sistema agroforestal 03	82.29	0.37	2.66	85.32

Gráfico 29: Contenido de carbono en los componentes de los tres Sistemas Agroforestales de Cacao (Tn/ha)



En cuanto al contenido de carbono, existente en los diferentes estratos evaluados, se puede apreciar en el gráfico 29, que para el estrato vegetal arbóreo, la cantidad de carbono existente en la biomasa del sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), obtiene el mayor valor en comparación a los demás sistemas con una cantidad de 136.12 tn/ha; en el estrato vegetal arbustivo herbáceo el mismo sistema agroforestal obtiene también el mayor valor con una cantidad de carbono en la biomasa de 0.45 tn/ha; sin embargo respecto al estrato vegetal de hojarasca el sistema agroforestal 03, compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huillca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), obtiene el mayor valor con una cantidad de carbono en la biomasa de 2.66 tn/ha.

Gráfico 30: Contenido de carbono almacenado en la biomasa vegetal total de los tres Sistemas Agroforestales de Cacao (Tn/ha)



Respecto al contenido de carbono existente en la biomasa vegetal total de los sistemas agroforestales evaluados, se identifica en la investigación realizada, que la mayor cantidad de carbono almacenado en la biomasa ha sido en el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*) con un valor de 138.66 tn/ha, seguido por el sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huilca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), donde el contenido de carbono almacenado es de 85.32 tn/ha; y por último se aprecia que en el sistema agroforestal 02 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Cedro (*Cedrela odorata*)– Chamba (*Campomanesia lineatifolia*) – Albizia (*Albizia carbonaria*)– Limón (*Citrus limon*)– Pacay mono (*Inga edulis*), el contenido de carbono almacenado es de 59.20 tn/ha.

5.2.2. Carbono existente en los suelos

5.2.2.1. Cálculo del peso de volumen del suelo (t/ha)

Para ello, se calculó el peso del volumen del suelo por hectárea, evaluando previamente la densidad aparente del suelo en cada uno de los diferentes horizontes establecidos para los diversos sistemas agroforestales seleccionados.

a). Densidad aparente del suelo

Para poder determinar la densidad aparente en el suelo, se procedió a registrar el peso seco del suelo en relación al volumen del recipiente. Esta actividad fue repetida en los diferentes puntos de muestreo de los diversos sistemas agroforestales, los valores obtenidos en cada unidad agroforestal se ordenaron en el cuadro 10, la densidad aparente se calculó dividiendo el peso del suelo seco entre el volumen excavado, se utilizó la siguiente relación para el cálculo de la densidad aparente:

$$DA (g\ cc^{-1}) = PS/V$$

Donde:

DA = Densidad aparente (g/cc)
PS = Peso de suelo seco
V = Volumen

Cuadro 10: Densidad aparente del suelo en tres Sistemas Agroforestales de Cacao

Sistema agroforestal	Muestra	Volumen (cc)	Peso del suelo seco (g)	DA (g/cc)
Sistema agroforestal 01	1	92.5	105.45	1.14
	2	92.5	104.25	1.13
Sistema agroforestal 02	1	92.5	105.20	1.14
	2	92.5	104.10	1.13
Sistema agroforestal 03	1	92.5	105.60	1.14
	2	92.5	104.85	1.13

Observando los resultados de la densidad aparente del suelo, existen mínimas diferencias entre las propiedades físicas del suelo entre los diferentes sistemas agroforestales estudiadas, esto implica que las características físicas del suelo son similares indicando que las prácticas de manejo del suelo son similares entre las diferentes unidades agroforestales.

b). Peso del volumen de suelo por horizonte de muestreo

Se efectuó el cálculo del peso del volumen del suelo por cada uno de los horizontes de muestreo, en cada uno de los sistemas agroforestales identificados;

para ello se utilizó el valor de la densidad aparente calculado anteriormente y remplazado en la siguiente fórmula:

$$PVs (t ha^{-1}) = DA \times h \times 10000$$

Donde:

PVs = Peso del volumen de suelo (t/ha)
 DA = Densidad aparente
 h = Profundidad de corte

Realizando los cálculos respectivos, se tiene los siguientes valores del peso del volumen del suelo para cada sistema agroforestal.

Cuadro 11: Peso del volumen del suelo en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (t/ha)

Sistema agroforestal	Muestra	DA (g/cc)	h	PVs (t/ha)
Sistema agroforestal 01	1	1.14	0.32	3648.00
	2	1.13	0.35	3944.59
Sistema agroforestal 02	1	1.14	0.34	3866.81
	2	1.13	0.31	3488.76
Sistema agroforestal 03	1	1.14	0.30	3424.86
	2	1.13	0.36	4080.65

5.2.2.2. Carbono total del suelo

Para calcular la cantidad de carbono total presente en el suelo de los diferentes sistemas agroforestales establecidos, se ha realizado previamente el análisis de suelo respectivo para cada sistema agroforestal establecido; esto con la finalidad de poder determinar en laboratorio el porcentaje de carbono presente en los suelos analizados. Para el cálculo del carbono total del suelo se multiplicará el peso del volumen del suelo por el índice de carbono obtenido en laboratorio, la fórmula se describe a continuación:

$$CS (t ha^{-1}) = (PVs \times \%C) / 100$$

Donde:

CS = Carbono en el suelo (t/ha)

Pvs = Peso del volumen de suelo
 % C = Porcentaje de carbono analizado en laboratorio

Considerando los valores obtenidos anteriormente, aplicados en la ecuación mencionada, se tiene el cuadro 12 sobre el contenido de carbono en el suelo de 03 sistemas agroforestales.

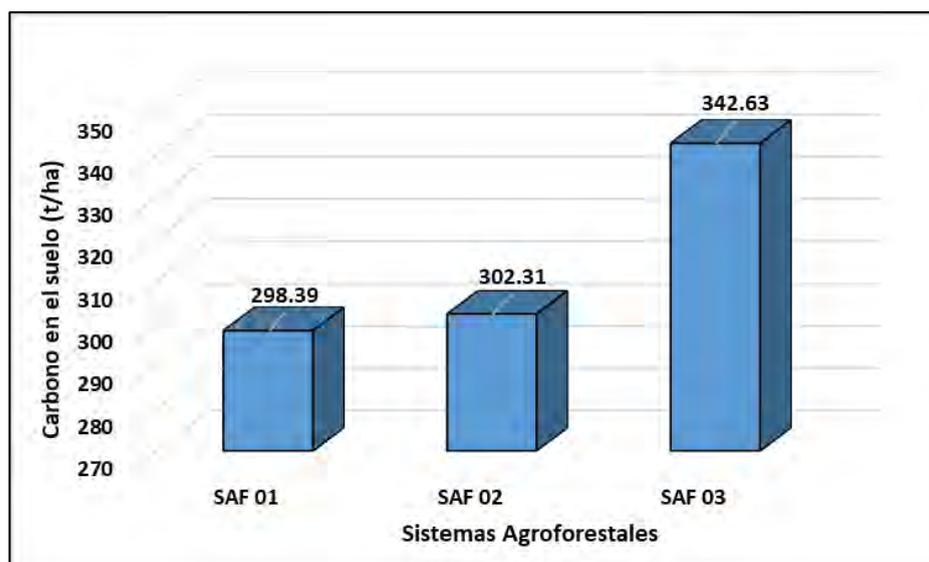
Cuadro 12: Contenido de carbono en el suelo en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (t/ha)

Sistema agroforestal	Muestra	PVs (t/ha)	%C (%)	CS (t/ha)	Promedio de Carbono en suelo (t/ha)
Sistema agroforestal 01	1	3648.00	7.86	286.73	298.39
	2	3944.59	7.86	310.05	
Sistema agroforestal 02	1	3866.81	8.22	317.85	302.31
	2	3488.76	8.22	286.78	
Sistema agroforestal 03	1	3424.86	9.13	312.69	342.63
	2	4080.65	9.13	372.56	

El Sistema Agroforestal 03 muestra los mayores valores de Producción de Biomasa Vegetal Seca (PVs), Porcentaje de Carbono (%C) y Carbono Secuestrado (CS), así como el mayor Promedio de Carbono en el Suelo. Esto sugiere que este sistema podría tener un suelo con menor grado de compactación en comparación con los otros dos sistemas agroforestales, debido a que suelos con un alto grado de porosidad favorecen la penetración de las raíces, aumentando la actividad biológica y por consiguiente aumenta el contenido de carbono en los suelos.

Gráfico 31: Contenido de carbono en el suelo en tres Sistemas

Agroforestales de Cacao (t/ha)



Respecto al contenido de carbono existente en los suelos de los 03 sistemas agroforestales evaluados, se identifica en la investigación realizada, que la mayor cantidad de carbono almacenado en los suelos ha sido identificado en el sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huilca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*) con un valor de 342.63 tn/ha, seguido por el sistema agroforestal 02 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Cedro (*Cedrela odorata*)– Chamba (*Campomanesia lineatifolia*) – Albizia (*Albizia carbonaria*)– Limón (*Citrus limon*)– Pacay mono (*Inga edulis*), donde el contenido de carbono almacenado en el suelo es de 302.31 tn/ha; y por último se aprecia que en el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), el contenido de carbono almacenado en el suelo es 298.39 tn/ha.

5.2.3. Carbono total del sistema agroforestal

Para determinar el contenido de carbono total, presente en los 3 sistemas agroforestales identificados, se consideró la cantidad de carbono presente tanto en la biomasa vegetal como en el suelo. Estos valores son remplazados en la siguiente ecuación:

$$CT (t ha^{-1}) = CBV + CS$$

Donde:

CT = Carbono total del sistema agroforestal (t/ha)

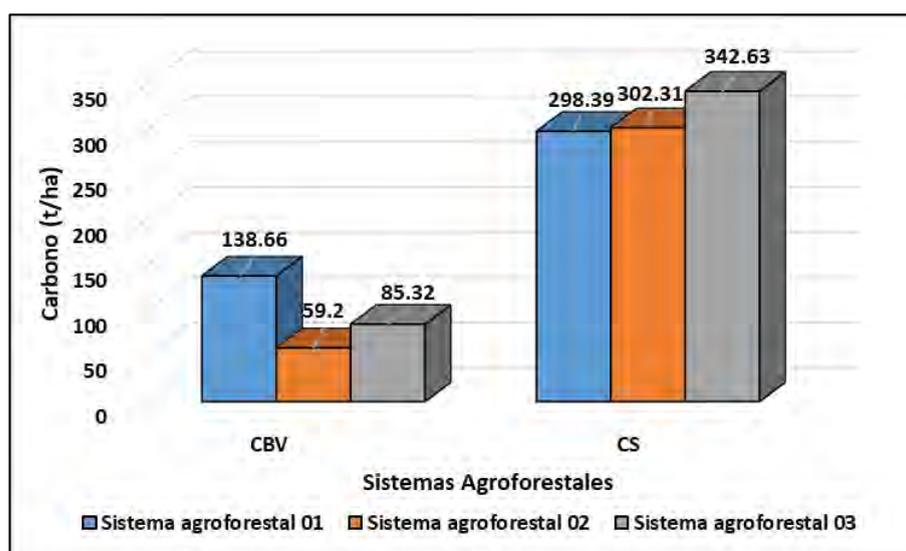
CBV = Carbono en la biomasa vegetal total

CS = Carbono en el suelo

Cuadro 13: Contenido de carbono en biomasa y suelo de tres Sistemas Agroforestales de Cacao (t/ha)

Sistema agroforestal	CBV (t/ha)	CS (t/ha)	CT (t/ha)
Sistema agroforestal 01	138.66	298.39	437.05
Sistema agroforestal 02	59.20	302.31	361.51
Sistema agroforestal 03	85.32	342.63	427.95

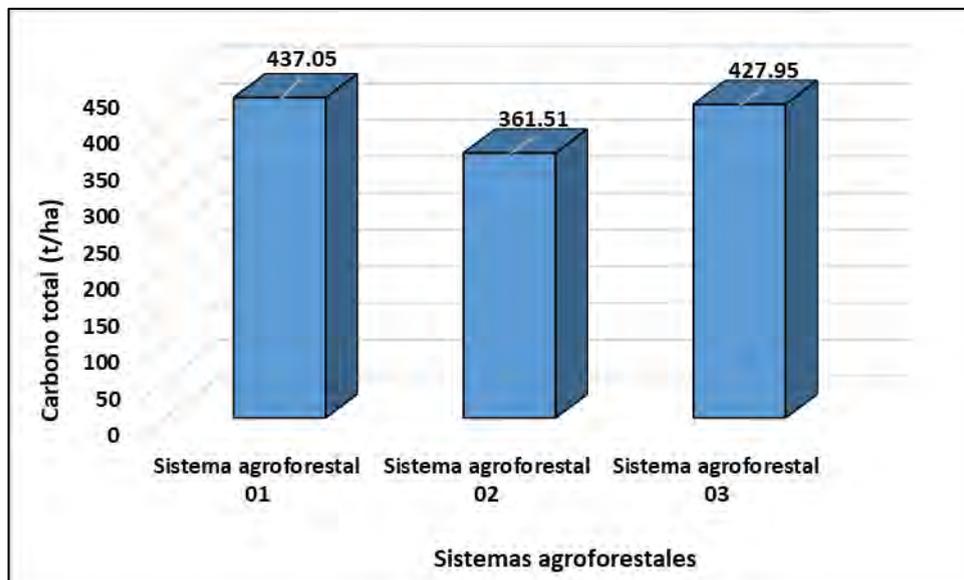
Gráfico 32: Contenido de carbono en biomasa y suelo de tres Sistemas Agroforestales de Cacao (t/ha)



Respecto al contenido de carbono existente en los componentes de los sistemas agroforestales, se aprecia en el gráfico 32, que para el componente biomasa vegetal total, el contenido de carbono ha sido mayor en el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Galesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), con un valor de 138.66 tn/ha en comparación a los demás sistemas evaluados; sin embargo, para el componente suelo, el contenido de carbono almacenado es mayor en el sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango

(Mangifera indica) - Cítricos – Huillca (Anadenanthera colubrina) – Cedro (Cedrela odorata) con un valor de 342.63 tn/ha.

Gráfico 33: Contenido de carbono total en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (t/ha)



En cuanto al contenido de carbono total existente en los tres sistemas agroforestales evaluados en la zonal de Echarati, se identifica en la investigación realizada, que la mayor cantidad de carbono almacenado, se encuentra en el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*) con un valor de 437.05 tn/ha, casi similar a la cantidad de carbono almacenado por el sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huillca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), donde el contenido de carbono almacenado es de 427.95 tn/ha; en tanto en el sistema agroforestal 02 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Cedro (*Cedrela odorata*)– Chamba (*Campomanesia lineatifolia*) – Albizia (*Albizia carbonaria*)– Limón (*Citrus limon*)– Pacay mono (*Inga edulis*), se identifica la menor cantidad de contenido de carbono almacenado en comparación a los demás sistemas evaluados, con un valor de 361.51 tn/ha.

5.3. Valor económico del contenido de carbono

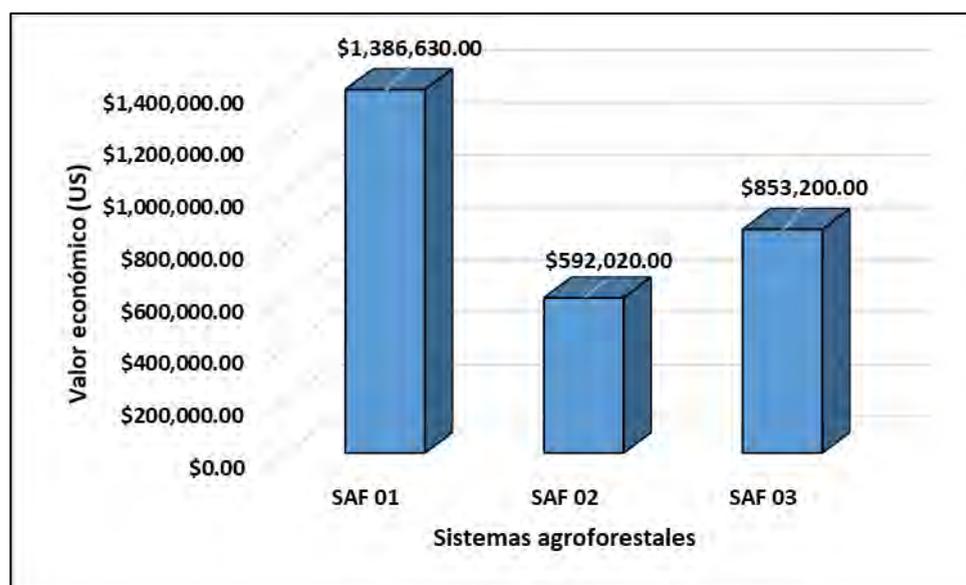
Para cuantificar el valor económico del contenido de carbono existente en los sistemas agroforestales, se toma en consideración el costo unitario por tonelada

de carbono, que se considera en proyectos internacionales (\$ US 10,000), bajo dos escenarios de valoración: a) Valor del servicio brindado por los componentes arbustivos y arbóreo, es decir el carbono almacenado a nivel de la biomasa arbórea; y b) Valor del servicio brindado por los sistemas agroforestales (carbono en el suelo y en la biomasa arbórea).

Cuadro 14: Valor económico del contenido de carbono en biomasa de tres Sistemas Agroforestales de Cacao (US)

SAF	CBVT (t/ha)	C.U (\$.)	C.T (\$.)
SAF 01	138.66	\$10,000.00	\$1,386,630.00
SAF 02	59.20	\$10,000.00	\$592,020.00
SAF 03	85.32	\$10,000.00	\$853,200.00

Gráfico 34: Valor económico del contenido de carbono en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (US)



Respecto al valor económico del contenido de carbono, se aprecia que el valor en la biomasa vegetal total es mayor para el sistema agroforestal 01 con un valor de \$1,386,630.00, seguido del valor económico del contenido de carbono para el sistema agroforestal 03 con \$853,200.00, y por último se aprecia que en el sistema agroforestal 02, el contenido de carbono almacenado representa \$592,020.00.

Cuadro 15: Valor económico del contenido de carbono en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (US)

SAF	CBVT (t/ha)	CS (t/ha)	C (t/ha)	C.U (\$.)	C.T (\$.)
-----	-------------	-----------	----------	-----------	-----------

SAF 01	138.66	298.39	437.05	\$10,000.00	\$4,370,530.00
SAF 02	59.20	302.31	361.51	\$10,000.00	\$3,615,120.00
SAF 03	85.32	342.63	427.95	\$10,000.00	\$4,279,500.00

Gráfico 35: Valor económico del contenido de carbono en tres Sistemas Agroforestales de Cacao (US)



Respecto a la valoración económica del contenido de carbono a nivel del sistema agroforestal, se aprecia que el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), representa el mayor valor económico con \$4,370,530.00; así mismo en el sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huillca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), se aprecia un valor casi similar al anterior con un monto de \$4,279,500.00. En el sistema agroforestal en el cual se identificó el menor valor económico para el contenido de carbono fue en el sistema agroforestal 02 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Cedro (*Cedrela odorata*)– Chamba (*Campomanesia lineatifolia*) – Albizia (*Albizia carbonaria*)– Limón (*Citrus limon*)– Pacay mono (*Inga edulis*) donde el valor de carbono representa un monto total de \$3,615,120.00.

5.3.1 Beneficio directo

Los sistemas agroforestales evaluados, integran árboles, cultivos y/o ganado, se han vuelto cada vez más relevantes debido a su capacidad para secuestrar y

almacenar carbono, mitigando así los efectos del cambio climático. Según el análisis realizado, la cuantificación del valor económico de este servicio ambiental podría traer importantes beneficios para los agricultores que implementan estos sistemas.

En primer lugar, la valorización del carbono podría dar lugar a la implementación de programas de pagos por servicios ambientales. Los agricultores recibirían compensaciones económicas por mantener y manejar sus sistemas agroforestales de manera que maximicen el secuestro y almacenamiento de carbono. Esto representa un incentivo directo para adoptar y expandir estos sistemas.

Además, contar con esta información sobre el valor económico del carbono les permitiría a los agricultores acceder a fuentes de financiamiento, como préstamos o subvenciones, destinados específicamente a la implementación y mejora de los sistemas agroforestales. Esto facilitaría las inversiones necesarias para incrementar aún más el secuestro de carbono.

Por otra parte, al reconocer el valor económico del carbono, los sistemas agroforestales se volverían más rentables para los agricultores. Esto puede motivar la adopción y expansión de estos sistemas, ya que generarían ingresos adicionales por los servicios de mitigación climática que proporcionan. Incluso, la certificación de estos sistemas podría mejorar la competitividad de los productos agrícolas en ciertos mercados.

En resumen, la valorización económica del carbono en los sistemas agroforestales representa una oportunidad para que los agricultores obtengan beneficios tangibles, lo cual puede servir como un importante incentivo para la adopción y expansión de estos sistemas sostenibles.

5.4. Discusión

En el trabajo de investigación, se identificó que, la mayor parte de agricultores en el ámbito de estudio que conducen sistemas agroforestales, es representado por el género masculino con el 68.2%, siendo 36.36%, que tienen una edad entre 46 – 55 años. En cuanto al nivel de estudio de los agricultores la mayoría de los agricultores compuesto por el 57.58% de los encuestados cuentan con estudios

primarios. Referido al sistema de trabajo que es empleado en las fincas agroforestales de la zonal de Echarati, se identificó como principal el sistema de trabajo mediante ayni y familiar, manifestado por el 60.61% de los agricultores encuestados; respecto al tamaño o superficie de las fincas, la mayoría de agricultores compuesto por el 36.36% de los encuestados indicaron tener una finca con una extensión de 1.1 – 3.0 Ha, la cual es utilizada principalmente para uso agrícola y bosques. Estos resultados son similares a lo encontrado por **Contreras, (2017)** en su investigación realizada en sistemas agroforestales, identifica que, respecto a las características socioeconómicas existentes en estos tipos de manejo, la mayoría de los agricultores encuestados (31.11%) tienen edades comprendidas entre 56 – 60 años. La principal actividad desarrollada por los agricultores es la agrícola y también el comercio; respecto al tipo de trabajo realizado, la mayoría realiza trabajo familiar (87.78%). La superficie de las fincas es en su mayoría entre 3.1 – 5 ha, siendo el principal uso que se le da al suelo para la actividad agrícola.

Se identifica en la investigación que, a nivel de la biomasa vegetal total existente el sistema agroforestal que presentó el mayor valor de biomasa vegetal total fue el sistema 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), que obtuvo un valor de 308.14 tn/ha, seguido del sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huilca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), que obtuvo un valor de biomasa vegetal total de 189.60 tn/ha. Estos valores identificados son mayores a lo encontrado por **Herrera, (2006)**, quien, en su investigación realizada en sistemas agroforestales, identifica que la mayor biomasa acumulada a nivel de los sistemas agroforestales se encontró en la asociación cacao + guaba con 58.00, 75.40 y 111.14 tn/ha en plantaciones de 2-3, 3-4 y 4-5 años de edad; frente a la asociación cacao + bolaina con 56.74, 66.90 y 87.69 tn/ha en plantaciones de las mismas edades al primer sistema. Estos resultados muestran, la importancia que cumple la diversificación de especies para la acumulación de biomasa.

Respecto al contenido de carbono total, se identificó, que la mayor cantidad de carbono almacenado, se encontró en el sistema agroforestal 01 compuesto por

Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*) con un valor de 437.05 tn/ha, casi similar a la cantidad de carbono almacenado por el sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huillca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), donde el contenido de carbono almacenado fue de 427.95 tn/ha. Estos resultados encontrados, son mayores a lo encontrado por **Herrera, (2006)** quien, en su investigación realizada, identificó que, el mayor almacenaje de carbono en los sistemas agroforestales de

cacao + guaba y cacao + bolaina de 4 a 5 años alcanzaron una media de 62.11 y 51.41 t C/ha respectivamente; mientras que en los sistemas agroforestales de 2 - 3 y 3 - 4 años de edad, la asociación cacao + guaba supero al otro sistema con 39.00 y 43.75 t C/ha frente a 33.99 y 40.62 t C/ha respectivamente.

En cuanto al valor económico por el servicio ambiental de fijación de carbono, se identificó que la valoración económica del contenido de carbono a nivel del sistema agroforestal, es mayor en el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), con un valor económico con \$4,370,530.00. Estos resultados muestran la importancia que cumplen las especies dentro de un sistema agroforestal, no solo con fines de explotación agropecuaria, sino también con fines de brindar servicios ecosistémicos que sean valorables y una alternativa económica.

VI. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

6.1. Conclusiones

1. Las características sociales y económicas de los agricultores que conducen las fincas agroforestales, son importantes para el establecimiento y manejo de un sistema agroforestal a nivel de finca; en torno a ello, se identificó que, la mayoría es representado por el género masculino con el 68.2%, el 36.36%, tienen una edad entre 46 – 55 años. En cuanto al nivel de estudio de los agricultores la mayoría de los agricultores compuesto por el 57.58% de los encuestados cuentan con estudios primarios. Referido al sistema de trabajo empleado en las fincas agroforestales de la zonal de Echarati, se identificó como principal el sistema de trabajo mediante ayni y familiar, manifestado por el 60.61% de los agricultores encuestados. Respecto al tamaño o superficie de las fincas, la mayoría de agricultores compuesto por el 36.36% de los encuestados indicaron tener una finca con una extensión de 1.1 – 3.0 Ha, la cual es utilizada principalmente para uso agrícola y bosques. En cuanto a los ingresos económicos en las fincas de los agricultores de la zonal de Echarati, el 28.79% de agricultores tiene ingresos entre S/. 4,000.0 – S/. 6,000.0 e inferior a S/. 2,000.0 respectivamente.
2. En cuanto a la biomasa existente en los diferentes estratos evaluados, se identifica que en el estrato vegetal arbóreo, la biomasa en el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), obtiene el mayor valor en comparación a los demás sistemas con una biomasa de 302.48 tn/ha; en el estrato vegetal arbustivo herbáceo el sistema agroforestal 01 obtiene una biomasa de 1.0 tn/ha, y en el estrato vegetal de hojarasca el sistema agroforestal 03, compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huilca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), obtuvo el mayor valor con una biomasa de 5.92 tn/ha. A nivel de la biomasa vegetal total existente el sistema agroforestal que presentó el mayor valor de biomasa vegetal total fue el sistema 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea*

americana), que obtuvo un valor de 308.14 tn/ha, siendo aquel que presenta especies vegetales de mayor edad y tamaño de planta.

3. Respecto al contenido de carbono existente en los componentes de los sistemas agroforestales, para el componente biomasa vegetal total, el mayor contenido de carbono fue identificado en el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), con un valor de 138.66 tn/ha; sin embargo, para el componente suelo, el contenido de carbono almacenado fue mayor en el sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huillca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*) con un valor de 342.63 tn/ha. En cuanto al contenido de carbono total, se identificó, que la mayor cantidad de carbono almacenado, se encontró en el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*) con un valor de 437.05 tn/ha, casi similar a la cantidad de carbono almacenado por el sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huillca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), donde el contenido de carbono almacenado fue de 427.95 tn/ha. Para el contenido de carbono, un aspecto importante es la biomasa vegetal total en el sistema, siendo en este caso los que presentaron los mejores resultados donde se establecieron especies con mayor edad y mayor hábito de crecimiento.
4. Respecto al valor económico del contenido de carbono, se identificó que el valor en la biomasa vegetal total es mayor para el sistema agroforestal 01 con un valor de \$1,386,630.00; respecto a la valoración económica del contenido de carbono a nivel del sistema agroforestal, se identificó que el sistema agroforestal 01 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) – Mango (*Mangifera indica*) - Ajo (*Gallesia integrifoli*) – Palto (*Persea americana*), representó el mayor valor económico con \$4,370,530.00, seguido por el sistema agroforestal 03 compuesto por Cacao (*Theobroma cacao*) - Pisonay (*Erythrina edulis*) - Mango (*Mangifera indica*) - Cítricos – Huillca (*Anadenanthera colubrina*) – Cedro (*Cedrela odorata*), con un monto de \$4,279,500.00.

6.2. Sugerencias

Utilizar los resultados obtenidos en la presente investigación por parte de la municipalidad distrital de Echarati, con la finalidad de contar con información real y científica del potencial en cuanto al contenido de carbono existente en los diferentes tipos de sistemas agroforestales empleados en cacao, y de esta forma poder orientar a los agricultores sobre los beneficios y ventajas que tiene el establecimiento de plantaciones agroforestales en cacao.

Se sugiere, realizar investigaciones similares, a nivel de las otras zonales del distrito de Echarati, de esta forma poder contar con un estudio completo de la biomasa y contenido de carbono existente en otros tipos de sistemas agroforestales en cacao existente.

Se deben de realizar estudios de investigación como el efectuado a nivel de otras variedades que integran los sistemas agroforestales de cacao, diferenciando el sistema agroforestal de cacao chuncho e híbrido.

Efectuar estudios de caracterización y tipificación de sistemas agroforestales a fin de poder estructura el diagrama de finca por tipo de sistema identificado.

Efectuar inventarios de las plantaciones agroforestales en cacao existentes por tipos de sistemas identificados con la finalidad de analizar independientemente el potencial de cada plantación que la integra.

Efectuar estudios sobre caracterización de suelos a nivel de sistemas agroforestales en cacao, en otras zonas del distrito de Echarati; esto con la finalidad de poder identificar el potencial de los suelos en cuanto al contenido de carbono, donde se establecen las plantaciones de cacao.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- o, L., Alegre, J., & Palm, C. (2003). *Manual determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú*. Perú: INIA. Recuperado el 19 de Agosto de 2022, de <https://www.worldcat.org>
- Batista, L. (2009). *El cultivo del Cacao*. Santo Domingo, República Dominicana: Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal. Recuperado el 11 de Agosto de 2022, de <http://www.cedaf.org.do>
- Cámara-Córdova, J., & Beauregard Solís, G. (2024). Historia natural del cacaotero *Theobroma cacao* L. En Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, *El cacao tabasqueño: de los olmecas a nuestro tiempo* (ISBN versión digital: 978-607-606-665-2,
- CEE. (2017). *Producción en sistemas agroforestales (PRO - SAF) y sistemas agroforestales simultáneos (SAS)*. La Paz-Bolivia: CEE. Recuperado el 17 de Setiembre de 2022, de <https://formaciontecnicabolivia.org>
- Combe, J., & Budowski, G. (1979). *Clasificación de las técnicas Agroforestales; una revisión de la literatura*. Costa Rica: CATIE. Recuperado el 11 de Setiembre de 2022, de <https://repositorio.catie.ac.cr>
- Contreras, W. (2017). Caracterización y tipificación preliminar de sistemas agroforestales en las microcuencas Quebrada Honda - Ruffuyoc Pachac y entorno de Quillabamba - Santa Ana La Convención - Cusco . Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.
- Coste, R. 1970. El cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L). Turrialba, Costa Rica. 297p.
- FAO. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Roma: FAO. Recuperado el 11 de Setiembre de 2022, de <https://www.fao.org>
- FAO. (2022). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado el 3 de Setiembre de 2022, de Agricultura de la Conservación: <https://www.fao.org>

- Fassbender, H. (1993). *Modelos Edafológicos de sistemas agroforestales*. Turrialba-Costa Rica: CATIE. Recuperado el 12 de Setiembre de 2022, de <https://repositorio.catie.ac.cr>
- Gonzales, R. (2010). Proyecto Creación del centro de Investigación en Sistema Agroforestales CISAF. IIFCA, UNSAAC.
- Gutierrez, B., & Fierro G., L. (2006). *Diagnóstico y diseño participativo en sistemas agroforestales*. Colombia: Corpoica. Recuperado el 11 de Setiembre de 2022, de <https://repository.agrosavia.co>
- Hart, R. (1985). *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*. Turrialba-Costa Rica: CATIE. Recuperado el 11 de Setiembre de 2022, de <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr>
- Herrera, J. (2006). " *Estimación de la biomasa y carbono almacenado en dos sistemas agroforestales de cacao (Theobroma cacao L.) de diferentes edades en la Provincia de Leoncio Prado*". Tingo María-Perú: Universidad Nacional Agraria de La Selva. Recuperado el 2 de Setiembre de 2022, de <http://repositorio.unas.edu.pe>
- Holdridge, L. 1947. Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data. *Science* Vol 105 No. 2727: 367-368.
- IICA. (2006). *Establecimiento y uso de sistemas silvopastoriles en República Dominicana*. República Dominicana: IICA. Recuperado el 1 de Setiembre de 2022, de <https://www.biopasos.com>
- INTA. (2009). *Guía Tecnológica del Cultivo del Cacao*. Nicaragua: INTA. Recuperado el 27 de Agosto de 2022, de <http://infocafes.com>
- Isminio, M. (2006). *Estimación del Carbono en la Biomasa Aérea del Café bajo sombra de guaba en la Provincia de Lamas - Perú*. Lamas-Perú: Universidad Nacional de San Martín. Recuperado el 2 de Setiembre de 2022, de <https://repositorio.unsm.edu.pe>
- Jiménez, E. (2019). *Estimación de la cantidad de carbono almacenado en un agroecosistema de cacao (Theobroma cacao L.) en el sector Shupishiña - San Martín*. Tarapoto-Perú: Universidad Nacional de San Martín –

- Tarapoto. Recuperado el 2 de Setiembre de 2022, de <https://repositorio.unsm.edu.pe>
- Lapeyre, T., Alegre, J., & Arévalo, L. (2004). *Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Peru*. San Martín-Perú: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Recuperado el 12 de Setiembre de 2022, de <https://www.researchgate.net>
- Larrea Aguinaga, G. (2007). *Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de Theobroma cacao L. & Determinación de la ecuación alométrica para el cacao*. Lima-Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado el 11 de Setiembre de 2022, de <https://fddocuments.ec>
- LEISA. (2019). Agroforestería y agroecología: experiencias. *LEISA: Revista de Agroecología*, 4-8. Recuperado el 11 de Setiembre de 2022, de <https://www.leisa-al.org>
- Masera, O., & Ordoñez, J. (2001). *Captura de carbono ante el cambio climático*. México: Madera y Bosques. Recuperado el 2 de Setiembre de 2022, de <https://www.redalyc.org>
- Mendieta, M., & Rocha, L. (2007). *Sistemas Agroforestales*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Recuperado el 14 de Setiembre de 2022, de <https://repositorio.una.edu.ni>
- MINAM. (2000). *Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana*. Perú: MINAM. Recuperado el 15 de Setiembre de 2022, de <https://sinia.minam.gob.pe>
- MINAGRI. (2015). *Ley forestal y de fauna silvestre N° 29763 y sus reglamentos. Bosques Productivos para la vida*. Segunda edición oficial, Lima - Perú.
- Montagnini, F. (1992). *Sistemas agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos. 2a. Edición*. San José: Organización para Estudios Tropicales. Recuperado el 13 de Setiembre de 2022, de <https://bibliotecadigital.infor.cl>
- Naciones Unidas. (2021). *Naciones Unidas-Acción por el clima*. Recuperado el 15 de Agosto de 2022, de Cambio Climático: <https://www.un.org>

- Ondarse, D. (2021). *El ciclo del carbono*. Recuperado el 17 de Agosto de 2022, de Ciclo del Carbono: <https://concepto.de/ciclo-del-carbono/>
- Paredes, M. (2003). *Manual del cultivo del Cacao*. Perú: MINISTERIO DE AGRICULTURA. Recuperado el 18 de Agosto de 2022, de <https://repositorio.midagri.gob.pe>
- PRONAMACHCS. (1998). *Manual de plantaciones forestales para la sierra peruana*. Perú: Programa Nacional de Conservacion de Suelos y Aguas en Cuencas Hidrograficas. Recuperado el 30 de Agosto de 2022, de <https://agris.fao.org>
- Rimache, M. (2008). *Cultivo de Cacao*. Perú: Editorial MACRO. Recuperado el 15 de Setiembre de 2022, de <https://editorialmacro.com>
- Soto, L. (2011). *Acahual (barbecho) mejorado*. Chiapas-México: El Colegio de la Frontera Sur. Recuperado el 15 de Setiembre de 2022, de <https://www.researchgate.net>
- UNICA. (2011). *Sistemas Agroforestales*. Caldas - Colombia: Universidad en el Campo. Recuperado el 14 de Setiembre de 2022, de <https://www.uaeh.edu.mx>
- Valdivia, M., & Mathez, S. (2015). *Prácticas Agroforestales, Modos de Vida y Cambio Climático*. Apurimac-Perú: Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF). Recuperado el 2 de Setiembre de 2022, de <https://www.bosquesandinos.org>
- Yáñez, A. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Gaceta Ecológica*, 5-18. Recuperado el 18 de Setiembre de 2022, de <https://www.redalyc.org>
- Zamora, A., Solisa, R., Marín, J., & Argoted, K. (2018). *Estimación de contenido de carbono en plantaciones de cacao (Theobroma cacao) en Yurimaguas, Loreto*. Perú: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Recuperado el 30 de Agosto de 2022, de <https://www.researchgate.net>

ANEXOS

Anexo 01: Formato de encuestas y evaluaciones



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL: AGRONOMÍA TROPICAL



Tesis: "Estimación de la biomasa y el contenido de carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la zonal Echarati – La Convención"

Tesista: Br. Kenny Roger Cutipa Usca

CODIGO:

--

FECHA:

--

 /

--

 /

--

I DATOS GENERALES DE LOS ENCUESTADOS			
1.1 ¿Cuál es su nombre? _____	Sexo <table border="1" style="display: inline-table; width: 20px; height: 15px;"><tr><td>M</td></tr></table> <table border="1" style="display: inline-table; width: 20px; height: 15px;"><tr><td>F</td></tr></table>	M	F
M			
F			
1.2 ¿Cuántos años tiene? _____ años			
1.3 ¿Qué idiomas Ud. _____			
1.4 ¿Cuál es su estado civil?	Soltero(a) () Conviviente () Casado(a) () Separado(a)/divorclado(a)/viudo(a) ()		
1.5 ¿Qué nivel de estudio tiene?	Primaria () Secundaria () Superior () Sin estudio ()		
II ASPECTO SOCIOECONÓMICO			
2A FAMILIA			
2A.1 Cuántos hijos tienes en total (vivos): _____	(varones: _____, mujeres: _____)		
2A.2 Atención médica de la familia:	Hospital () ESSALUD () Puesto de salud () Médico particular () Medicina natural () Otros () Especificar: _____		
2A.2.1 ¿Usted y su familia cuenta con algún tipo de seguro de salud?	Sí () No () Especificar: _____ ESSALUD SIS		
2B TRABAJO			
2B.1 Indique las actividades que realiza la familia:	Agrícola () Agrícola y comercio () Agrícola y pecuario () Agrícola, pecuario y comercio () Otros () Especificar: _____		
2B.2 Indique el tipo de trabajo que aplica en su fundo:	Tipo de trabajo: familiar () ayri y familiar () jornal y ayri () jornal y familiar () familiar, ayri y jornal () otro ()		
2B.3 Indique otras actividades que realizas No Agropecuarias para fines de ingreso familiar:	Municipalidad () Comercio Comercio () Otros () Especificar: _____		
2C FINCA			
2C.1 ¿Cuál es la condición Jurídica de su finca?	En posesión () En litigio () Otras () Especificar: _____		
2C.2 Que área tiene actualmente (extensión): _____ has.			
2C.3 Cual es la distribución del fundo:	Área actividad agrícola: _____ has Área actividad pecuaria: _____ has Área de bosques: _____ has, Otros: _____ has Observaciones: _____		
2D DISPOSICIÓN ECONÓMICA			
2D.1 ¿Al año en promedio cuanto de INGRESO económico tiene?: _____	Nuevos Soles		
2D.2 ¿Al año en promedio cuanto de EGRESO económico tiene?: _____	Nuevos Soles		
2D.2 ¿En cuanto valoriza todo lo que tiene?, incluida la parcela de su propiedad: _____	Nuevos Soles		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL: AGRONOMÍA TROPICAL



III. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES AGROFORESTALES

III.1. Biomasa arbórea viva

Especie	Edad de planta	Diámetro Basal		Diámetro altura de pecho	
		Cacao (> 30 cm suelo)	Otra especie (> 1.30 cm suelo)	Cacao (Altura del pecho)	Otra especie (Altura del pecho)
Cacao					

III.2. Biomasa arbustiva y herbácea - 1m²

Muestras	Peso fresco de biomasa arbustiva y herbácea (1 m ²)			Peso seco a la estufa de biomasa arbustiva y herbácea		
	Peso 1	Peso 2	Promedio	Peso 1	Peso 2	Promedio
Muestra 01						
Muestra 02						
Muestra 03						

III.3. Biomasa seca (mantillo y hojarasca) - 0.25m²

Muestras	Peso fresco de biomasa seca (0.25 m ²)			Peso seco de biomasa seca		
	Peso 1	Peso 2	Promedio	Peso 1	Peso 2	Promedio
Muestra 01						
Muestra 02						
Muestra 03						

III.3. Biomasa árboles muertos en pie - 1m²

Muestras	Peso fresco de biomasa árboles muertos en pie (1 m ²)			Peso seco de biomasa árboles muertos en pie		
	Peso 1	Peso 2	Promedio	Peso 1	Peso 2	Promedio
Muestra 01						
Muestra 02						
Muestra 03						

IV. CARACTERÍSTICAS DE SUELOS

Densidad aparente:

Contenido de carbono en 500 gr de suelo:

Anexo 02: Evaluaciones realizadas

Cuadro 01: Biomasa arbórea en el Sistema Agroforestal 01 en las especies Cacao – Mango – Ajo ajo - Palto

N°	Nombre Común	Nombre Científico	DAP (cm)	BA (Kg árbol)	Nombre Común	Nombre Científico	DAP (cm)	BA (Kg árbol)	BA (t ha)
1	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.21	81.14	Mango	<i>Manguifera indica</i>	43.61	1665.20	
2	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.61	36.31	Mango	<i>Manguifera indica</i>	45.20	1823.27	
3	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.25	67.11	Mango	<i>Manguifera indica</i>	47.11	2024.53	
4	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.80	74.86	Mango	<i>Manguifera indica</i>	46.15	1922.31	
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.78	90.34	Ajo Ajo	<i>Gallesia integrifolia</i>	24.19	374.99	
6	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.99	40.07	Ajo Ajo	<i>Gallesia integrifoli</i>	22.60	315.68	
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.67	72.99	Ajo Ajo	<i>Gallesia integrifoli</i>	26.10	454.48	
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.53	86.18	Ajo Ajo	<i>Gallesia integrifoli</i>	25.15	413.58	
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.99	77.72	Ajo Ajo	<i>Gallesia integrifoli</i>	23.87	362.63	
10	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.99	40.07	Palto	<i>Persea americana</i>	31.83	750.87	
11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.40	84.14	Palto	<i>Persea americana</i>	32.47	789.44	
12	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.29	67.55	Palto	<i>Persea americana</i>	31.19	713.45	
13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.18	80.64	Palto	<i>Persea americana</i>	30.88	695.18	
14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.48	70.24	Palto	<i>Persea americana</i>	30.24	659.48	
15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.30	54.66	Palto	<i>Persea americana</i>	32.15	770.01	
16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	9.93	39.43	Palto	<i>Persea americana</i>	31.83	750.87	
17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.57	71.61	Palto	<i>Persea americana</i>	30.56	677.19	
18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.80	74.86					
19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.03	64.06					
20	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.67	72.99					
21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.70	47.56					
22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.64	72.53					
23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.11	79.66					
24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.61	72.07					
25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.97	63.21					
26	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.21	81.14					
27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.97	93.54					
28	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.97	63.21					
29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.67	72.99					
30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.18	80.64					
31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.62	87.72					
32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.54	71.15					
33	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.96	77.24					
34	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.61	72.07					
35	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.89	49.73					
36	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.32	67.99					
37	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.68	59.45					
38	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.51	70.69					
SUB TOTAL				2629.55				15163.16	
TOTAL								17792.70	302.476

Cuadro 02: Biomasa arbórea en el Sistema Agroforestal 02 en las especies Cacao – Cedro – Chamba – Albisia – Limón limón – Pacay mono

N°	Nombre Común	Nombre Científico	DAP (cm)	BA (Kg árbol)	Nombre Común	Nombre Científico	DAP (cm)	BA (Kg árbol)	BA (t ha)
1	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.29	67.55	Cedro	<i>Cedrella odorata</i>	16.65	145.67	
2	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.76	74.39	Cedro	<i>Cedrella odorata</i>	12.25	67.11	
3	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.54	71.15	Cedro	<i>Cedrella odorata</i>	10.31	43.38	
4	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.18	80.64	Chamba	<i>Leucaena leucocephala</i>	14.39	100.71	
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.57	71.61	Chamba	<i>Leucaena leucocephala</i>	12.76	74.39	
6	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.53	86.18	Chamba	<i>Leucaena leucocephala</i>	12.61	72.07	
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.59	58.23	Chamba	<i>Leucaena leucocephala</i>	13.50	85.66	
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.07	95.17	Chamba	<i>Leucaena leucocephala</i>	13.15	80.15	
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.61	72.07	Chamba	<i>Leucaena leucocephala</i>	12.67	72.99	
10	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.31	82.63	Chamba	<i>Leucaena leucocephala</i>	12.86	75.81	
11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.64	72.53	Chamba	<i>Leucaena leucocephala</i>	12.64	72.53	
12	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.89	76.28	Chamba	<i>Leucaena leucocephala</i>	13.11	79.66	
13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.15	80.15	Albisia	<i>Albizia julibrissin</i>	28.39	562.32	
14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.50	85.66	Albisia	<i>Albizia julibrissin</i>	25.24	417.56	
15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.67	72.99	Albisia	<i>Albizia julibrissin</i>	26.55	474.36	
16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.89	76.28	Albisia	<i>Albizia julibrissin</i>	25.69	436.47	
17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.50	85.66	Limon	Citrus limon	12.19	66.23	
18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.20	97.36	Limon	Citrus limon	11.27	54.27	
19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.32	67.99	Limon	Citrus limon	12.64	72.53	
20	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.54	71.15	Limon	Citrus limon	11.75	60.28	
21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.80	74.86	Limon	Citrus limon	11.90	62.36	
22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.24	81.63	Limon	Citrus limon	12.57	71.61	
23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.50	85.66	Limon	Citrus limon	12.13	65.36	
24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.78	90.34	Limon	Citrus limon	11.97	63.21	
25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	14.80	108.20	Limon	Citrus limon	12.16	65.79	
26	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.67	72.99	Limon	Citrus limon	11.90	62.36	
27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.76	74.39	Pacay mono	<i>Inga feuilleei</i>	21.14	266.47	
28	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.16	65.79	Pacay mono	<i>Inga feuilleei</i>	20.79	255.44	
29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.57	71.61	Pacay mono	<i>Inga feuilleei</i>	17.48	164.70	
30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.80	74.86	Pacay mono	<i>Inga feuilleei</i>	18.91	201.02	
31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.50	85.66	Pacay mono	<i>Inga feuilleei</i>	15.79	127.39	
32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.06	64.49					
33	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.76	74.39					
34	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.15	80.15					
35	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.67	72.99					
36	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.15	80.15					
37	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.92	76.76					
SUB TOTAL				2880.62				4519.86	
TOTAL								7400.47	125.81

Cuadro 03: Biomasa arbórea en el Sistema Agroforestal 02 en las especies Cacao – Pisonay – Mango – Cítricos – Huillca – Cedro

N°	Nombre Común	Nombre Científico	DAP (cm)	BA (Kg árbol)	Nombre Común	Nombre Científico	DAP (cm)	BA (Kg árbol)	BA (t ha)
1	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.11	79.66	Pisonay	<i>Erythrina edulis</i>	19.19	208.82	
2	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.50	85.66	Pisonay	<i>Erythrina edulis</i>	18.91	201.02	
3	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.67	72.99	Pisonay	<i>Erythrina edulis</i>	19.89	228.63	
4	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.52	57.42	Pisonay	<i>Erythrina edulis</i>	21.42	275.70	
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.80	74.86	Mango	<i>Manguífera indica</i>	43.80	1683.71	
6	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.11	79.66	Mango	<i>Manguífera indica</i>	47.30	2045.36	
7	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.67	72.99	Mango	<i>Manguífera indica</i>	46.98	2010.72	
8	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.80	74.86	Cítricos	<i>Citrus común</i>	11.97	63.21	
9	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.72	89.29	Cítricos	<i>Citrus común</i>	9.36	33.92	
10	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.22	66.67	Cítricos	<i>Citrus común</i>	9.04	31.08	
11	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.48	70.24	Cítricos	<i>Citrus común</i>	11.20	53.50	
12	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.11	79.66	Cítricos	<i>Citrus común</i>	12.32	67.99	
13	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.50	85.66	Cítricos	<i>Citrus común</i>	13.59	87.21	
14	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.67	72.99	Cítricos	<i>Citrus común</i>	12.48	70.24	
15	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.86	75.81	Huillca	<i>Anadenanthera colubrina</i>	18.33	185.97	
16	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.40	84.14	Huillca	<i>Anadenanthera colubrina</i>	17.25	159.43	
17	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.25	67.11	Huillca	<i>Anadenanthera colubrina</i>	20.59	249.55	
18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.61	72.07	Cedro	<i>Cedrella odorata</i>	12.61	72.07	
19	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.92	76.76	Cedro	<i>Cedrella odorata</i>	13.81	90.87	
20	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.11	79.66	Cedro	<i>Cedrella odorata</i>	12.32	67.99	
21	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.99	77.72	Cedro	<i>Cedrella odorata</i>	13.24	81.63	
22	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.29	67.55					
23	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.76	74.39					
24	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.56	86.69					
25	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.31	82.63					
26	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.30	54.66					
27	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	10.89	49.73					
28	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.99	77.72					
29	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.61	72.07					
30	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.68	59.45					
31	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.29	67.55					
32	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.48	70.24					
33	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.18	80.64					
34	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.62	58.64					
35	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.99	77.72					
36	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	11.94	62.79					
37	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	13.18	80.64					
38	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	12.38	68.89					
SUB TOTAL				2787.88				7968.61	
TOTAL								10756.50	182.86

**Cuadro 04: Biomasa arbustiva herbácea en el Sistema Agroforestal 01
(Cacao – Mango – Ajo ajo – Palto)**

TRANSECTO	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha)	Promedio SAF
A	1	486.5	43.5	8.65	0.97	0.97
	2	468.4	40.6	8.24	0.95	
	3	502.6	44.8	8.94	1.00	
B	1	524.6	45.6	9.2	1.06	1.03
	2	495.8	39.5	8.17	1.03	
	3	485.6	40.2	8.21	0.99	
C	1	487.5	40.6	8.24	0.99	1.00
	2	496.4	41.3	8.35	1.00	
	3	502.5	43.4	8.68	1.01	

**Cuadro 05: Biomasa arbustiva herbácea en el Sistema Agroforestal 02
(Cacao – Cedro – Chamba – Albisia – Limón limón – Pacay mono)**

TRANSECTO	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha)	Promedio SAF
A	1	396.5	32.3	7.84	0.96	0.88
	2	380.4	38.4	8.26	0.82	
	3	402.4	37.6	8.15	0.87	
B	1	395.8	39.5	8.43	0.84	0.88
	2	384.7	34.5	7.95	0.89	
	3	386.9	33.8	7.89	0.90	
C	1	401.3	37.5	8.12	0.87	0.87
	2	402.5	36.6	8.06	0.89	
	3	400.8	38.1	8.22	0.86	

**Cuadro 06: Biomasa arbustiva herbácea en el Sistema Agroforestal 02
(Cacao – Pisonay – Mango – Cítricos – Huilca – Cedro)**

TRANSECTO	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha)	Promedio SAF
A	1	384.6	30.2	6.95	0.89	0.86
	2	378.6	35.4	7.65	0.82	
	3	394.5	33.6	7.42	0.87	
B	1	402.4	38.7	7.9	0.82	0.79
	2	387.6	39.6	8.02	0.78	
	3	395.4	38.5	7.56	0.78	
C	1	388.9	34.75	7.45	0.83	0.82
	2	395.4	36.4	7.84	0.85	
	3	389.7	38.9	7.76	0.78	

Cuadro 07: Biomasa de la hojarasca en el Sistema Agroforestal 01 (Cacao – Mango – Ajo ajo – Palto)

TRANSECTO	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha)	Promedio SAF
A	1	285.4	15.65	6.24	4.55	4.59
	2	265.4	14.82	5.90	4.23	
	3	295.3	13.25	5.60	4.99	
B	1	302.7	14.65	5.95	4.92	4.85
	2	296.3	15.20	6.20	4.83	
	3	287.4	15.42	6.42	4.79	
C	1	298.6	14.36	5.60	4.66	4.55
	2	286.8	14.85	5.92	4.57	
	3	275.4	15.05	6.04	4.42	

Cuadro 08: Biomasa de la hojarasca en el Sistema Agroforestal 02 (Cacao – Cedro – Chamba – Albisia – Limón limón – Pacay mono)

TRANSECTO	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha)	Promedio SAF
A	1	302.4	15.25	6.15	4.88	4.92
	2	304.6	14.85	5.94	4.87	
	3	310.5	14.90	6.02	5.02	
B	1	294.3	15.30	6.20	4.77	4.80
	2	289.5	15.20	6.18	4.71	
	3	304.6	14.98	6.05	4.92	
C	1	295.8	13.70	5.40	4.66	4.89
	2	307.6	15.60	6.25	4.93	
	3	308.4	14.20	5.84	5.07	

Cuadro 09: Biomasa de la hojarasca en el Sistema Agroforestal 02 (Cacao – Pisonay – Mango – Cítricos – Huilca – Cedro)

TRANSECTO	Muestra	PFT (g)	PFM (g)	PSM (g)	Biomasa (t ha)	Promedio SAF
A	1	300.25	15.80	7.85	5.97	5.91
	2	298.65	14.90	7.22	5.79	
	3	304.62	15.20	7.45	5.97	
B	1	297.85	14.80	7.15	5.76	5.93
	2	301.6	16.10	8.10	6.07	
	3	308.4	14.84	7.18	5.97	
C	1	306.45	15.25	7.50	6.03	5.91
	2	304.25	15.74	7.62	5.89	
	3	302.48	14.86	7.14	5.81	

Cuadro 10: Carbono existente en la biomasa vegetal en el sistema agroforestal 01 (Cacao – Mango – Ajo ajo – Palto)

SAF 01	Arbórea DAP > 2.5	Arbustiva Herbácea	Hojarasca	BVTA (t/ha)
A	302.48	0.97	4.59	308.04
B	302.48	1.03	4.85	308.36
C	302.48	1	4.55	308.03
Promedio	302.48	1.00	4.66	308.14
C (t/ha)	136.12	0.45	2.10	138.66

Cuadro 11: Carbono existente en la biomasa vegetal sistema agroforestal 02 (Cacao – Cedro – Chamba – Albisia – Limón limón – Pacay mono)

SAF 02	Arbórea DAP > 2.5	Arbustiva Herbácea	Hojarasca	BVTA (t/ha)
A	125.81	0.88	4.92	131.61
B	125.81	0.88	4.8	131.49
C	125.81	0.87	4.89	131.57
Promedio	125.81	0.88	4.87	131.56
C (t/ha)	56.61	0.39	2.19	59.20

Cuadro 12: Carbono existente en la biomasa vegetal sistema agroforestal 03 (Cacao – Pisonay – Mango – Cítricos – Huilca - Cedro)

SAF	Arbórea DAP > 2.5	Arbustiva Herbácea	Hojarasca	BVTA (t/ha)
A	182.86	0.86	5.91	189.63
B	182.86	0.79	5.93	189.58
C	182.86	0.82	5.91	189.59
Promedio	182.86	0.82	5.92	189.60
C (t/ha)	82.29	0.37	2.66	85.32

Cuadro 13: Carbono existente en el suelo en tres sistemas agroforestales de cacao

SAF	Muestra	Ps	VCH	PSN	DA (g/cc)	PVs (t/ha)	C (%)	CS (t/ha)	Promedio
1	1	0.32	92.5	105.45	1.14	3648.00	7.86	286.73	298.39
	2	0.35	92.5	104.25	1.13	3944.59	7.86	310.05	
2	1	0.34	92.5	105.2	1.14	3866.81	8.22	317.85	302.31
	2	0.31	92.5	104.1	1.13	3488.76	8.22	286.78	
3	1	0.3	92.5	105.6	1.14	3424.86	9.13	312.69	342.63
	2	0.36	92.5	104.85	1.13	4080.65	9.13	372.56	

Anexo N° 03: Análisis de suelos

Análisis de suelo en el sistema agroforestal 01 (Cacao – Mango – Ajo ajo – Palto)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

TIPO ANALISIS : FERTILIDAD Y FISICO MECANICO.

PROCEDENCIA MUESTRA : SECTOR : MIRAFLORES, ECHARATI, LA CONVENCION – CUSCO.

INSTITUCION SOLICITANTE : LUIS ALBERTO ELORRIETA ESPINOZA.

ANALISIS DE FERTILIDAD:

N°	CLAVE	mmhos/cm. C.E.	pH	% CaCO ₃	% M.ORG.	% N.TOTAL	ppm P ₂ O ₅	ppm K ₂ O
01	M-01	0.40	5.40	--	7.86	0.39	13.6	25

ANALISIS FISICO MECANICO:

N°	CLAVE	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE-TEXTURAL
01	M-01	52	33	15	FRANCO

CUSCO, 25 DE ENERO DEL 2,019.



**Análisis de suelo en el sistema agroforestal 02 (Cacao – Cedro – Chamba
– Albisia – Limón limón – Pacay mono)**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS**

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

TIPO ANALISIS : FERTILIDAD Y FISICO MECANICO.

PROCEDENCIA MUESTRA : SECTOR : COCABAMBILLAS, ECHARATI, LA CONVENCION – CUSCO.

INSTITUCION SOLICITANTE : FELICITAS ALARCON MENA.

ANÁLISIS DE FERTILIDAD:

N°	CLAVE	mmhos/cm. C.E.	pH	% CaCO ₃	% M.ORG.	% N.TOTAL	ppm P ₂ O ₅	ppm K ₂ O
01	M-01	0.44	5.50	--	8.22	0.41	112.4	118

ANÁLISIS FISICO MECANICO:

N°	CLAVE	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE-TEXTURAL
01	M-01	61	32	7	FRANCO-ARENOSO

CUSCO, 25 DE ENERO DEL 2,019.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios de Análisis
Melquiades Herrera Arzuaga
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO
 DE ANÁLISIS QUÍMICO

**Análisis de suelo en el sistema agroforestal 03 (Cacao – Pisonay – Mango
– Cítricos – Huilca - Cedro)**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS**

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

TIPO ANALISIS : FERTILIDAD Y FISICO MECANICO.

PROCEDENCIA MUESTRA : SECTOR : ALTO, ECHARATI, LA CONVENCION – CUSCO.

INSTITUCION SOLICITANTE : FRANCISCO DIAZ MEZA.

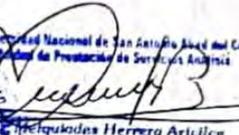
ANALISIS DE FERTILIDAD:

N°	CLAVE	mmhos/cm. C.E.	pH	% CaCO ₃	% M.ORG.	% N.TOTAL	ppm P ₂ O ₅	ppm K ₂ O
01	M-01	0.28	5.40	--	9.13	0.46	8.0	84

ANALISIS FISICO MECANICO:

N°	CLAVE	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE-TEXTURAL
01	M-01	41	45	14	FRANCO

CUSCO, 25 DE ENERO DEL 2,019.


Metquiles Herrera Arcoles
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO
 DE ANALISIS QUIMICOS

Anexo N° 04: Análisis Socioeconómico

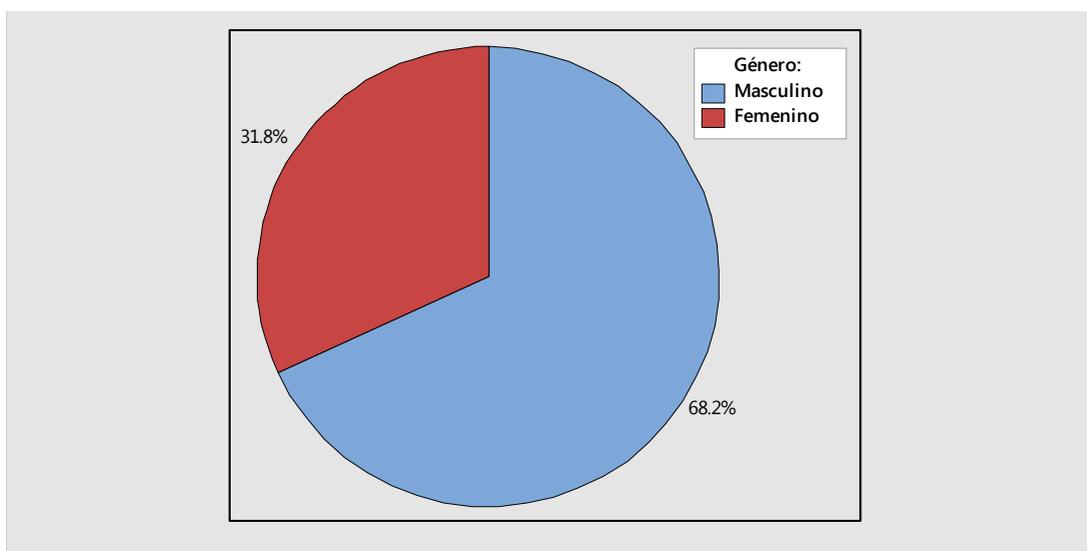
1.1. Características socioeconómicas de los agricultores que conducen las fincas agroforestales

1.1.1. Características sociales

1.1.1.1. Género

En la investigación desarrollada en la zonal de Echarati, se ha identificado que, en las fincas manejadas bajo un enfoque de sistemas agroforestales, la mayoría de los agricultores que las conducen son del género masculino representando el 68.2%, mientras que el 31.8% son mujeres. De estos resultados se aprecia una mayoría en cuanto al género masculino, en vista de que la conducción de una finca bajo un sistema agroforestal requiere de mucho esfuerzo y trabajo.

Gráfico 01: Género de los agricultores que conducen la finca

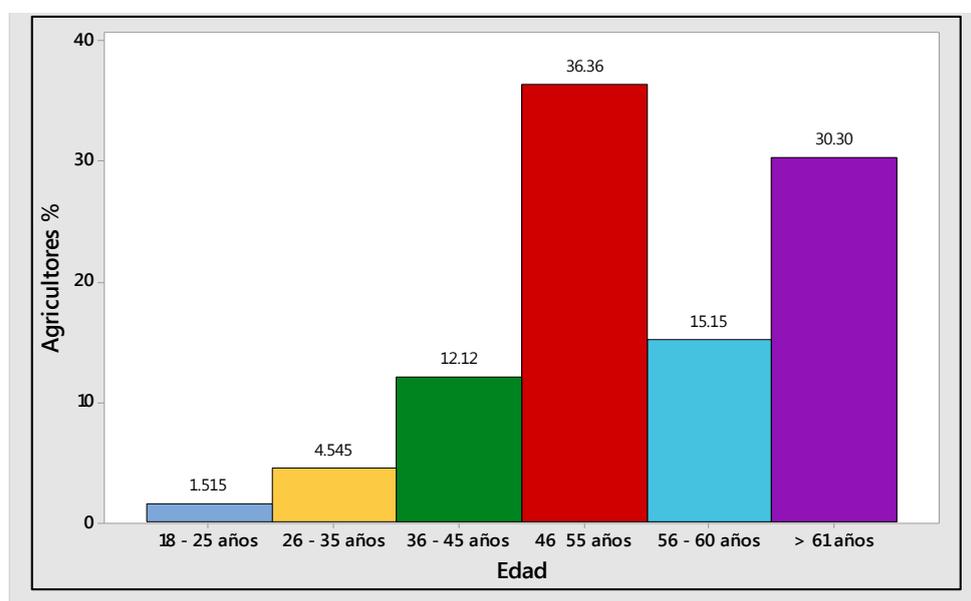


1.1.1.2. Edad

En el trabajo de investigación desarrollado en las diversas fincas agroforestales del distrito de Echarati, se identifica que, respecto a los agricultores que las conducen la mayoría de ellos compuesto por el 36.36%, tienen una edad entre 46 – 55 años, en tanto, que el 30.30% de agricultores tienen una edad superior a los 61 años, 15.15% de agricultores tienen una edad entre 56 – 60 años, el 12.12% cuentan con una edad entre 36 – 45 años, 4.545 tienen una edad entre 26 – 35 años, y finalmente se identifica que tan solo el 1.515% de agricultores estudiados tienen una edad entre 18 – 25 años. Estos resultados mostrados son indicadores que las principales personas que se dedican a la actividad

agropecuaria, son mayores, lo cual es una situación preocupante en vista de que se requiere de un cambio generacional para que la situación en el sector agrario pueda mejorar.

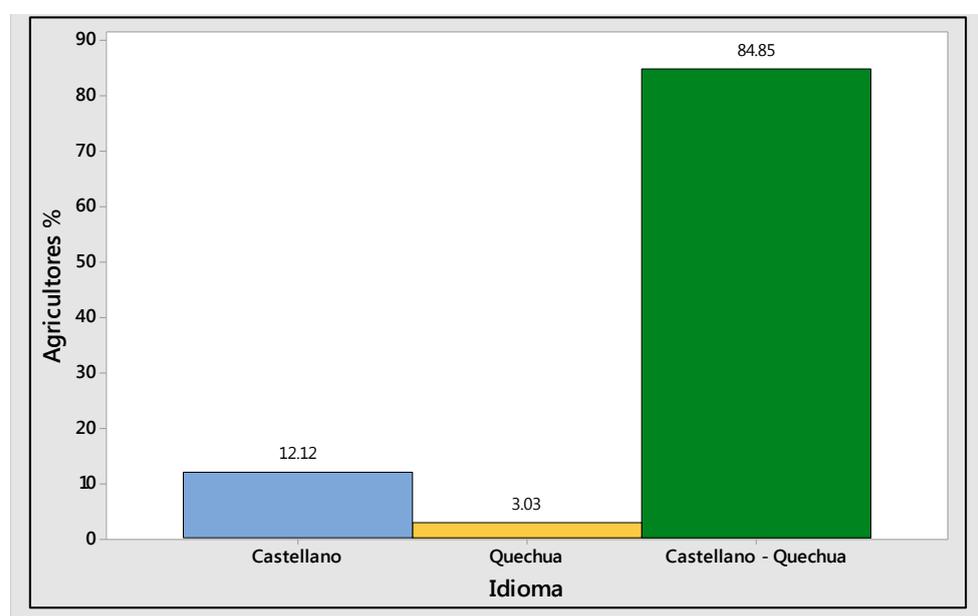
Gráfico 02: Edad de los agricultores que conducen la finca



1.1.1.3. Idioma

Respecto a idioma hablado por los agricultores que conducen la finca bajo un sistema agroforestal, se identifica en la investigación realizada que la mayoría de agricultores que las conduce representado por el 84.85% hablan el castellano – quechua, 12.12% hablan solo castellano, mientras que el 3.03% hablan quechua.

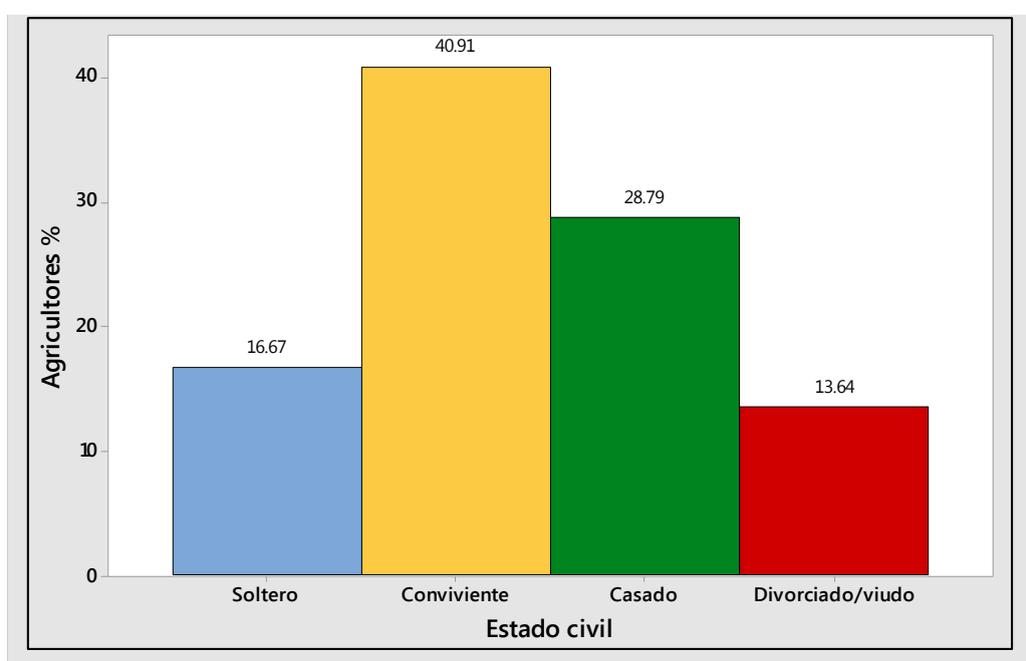
Gráfico 03: Idioma de los agricultores que conducen la finca



1.1.1.4. Estado civil

Referido al estado civil de los agricultores que conducen las fincas bajo un sistema de producción agroforestal, se identifica en la investigación que el 40.91% de agricultores que las conduce, representado por el 40.91% son de estado civil conviviente, 28.79% son de estado civil casado, 16.67% son solteros y solteras, y tan solo el 13.64% representan a agricultores divorciados o viudos. Esto indica que, aún la formalización civil de las parejas en la zonal de Echarati no es representativa, y que representa un impedimento para acceder a ciertos beneficios.

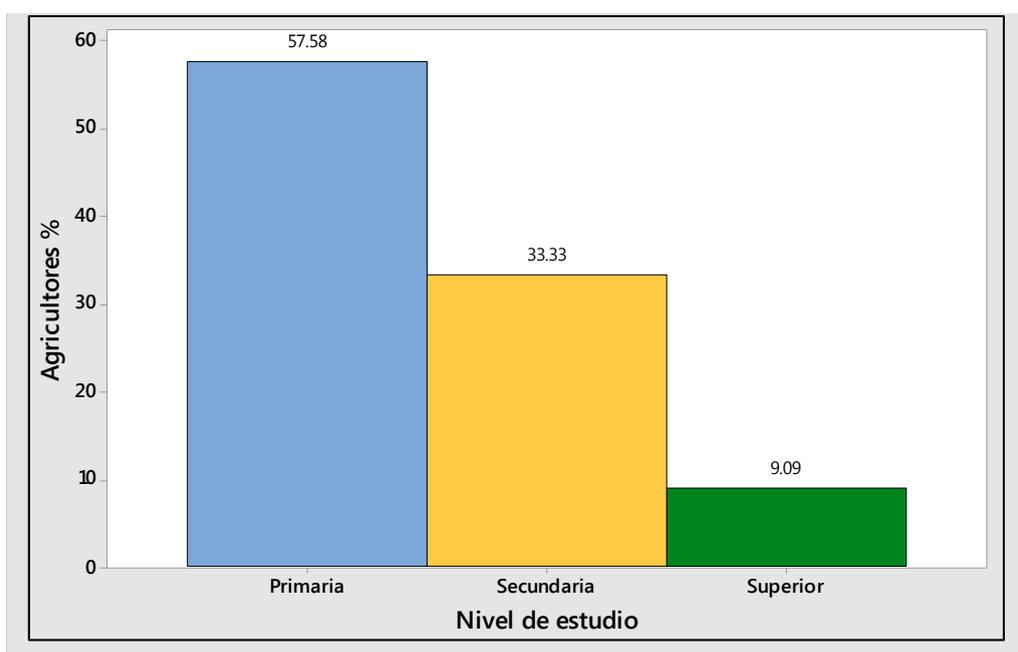
Gráfico 04: Estado civil de los agricultores que conducen la finca



1.1.1.5. Nivel de estudio

Referido al nivel de estudio de los agricultores que conducen la finca bajo un sistema agroforestal, se identifica en la zonal de Echarati que, la mayoría de los agricultores compuesto por el 57.58% de los encuestados cuentan con estudios primarios, el 33.33% cuentan con secundaria completa y tan solo el 9.09% indican contar con estudios superiores. Estos indicadores descritos muestran una tendencia favorable en vista de que en los agricultores que emplean un sistema agroforestal en la finca no se identifica personas sin nivel de estudio; cabe indicar que el empleo de este tipo de sistema requiere de una preparación técnica y conocimientos básicos que mayormente son aplicados en gran forma por aquellos agricultores con estudios secundarios y superiores.

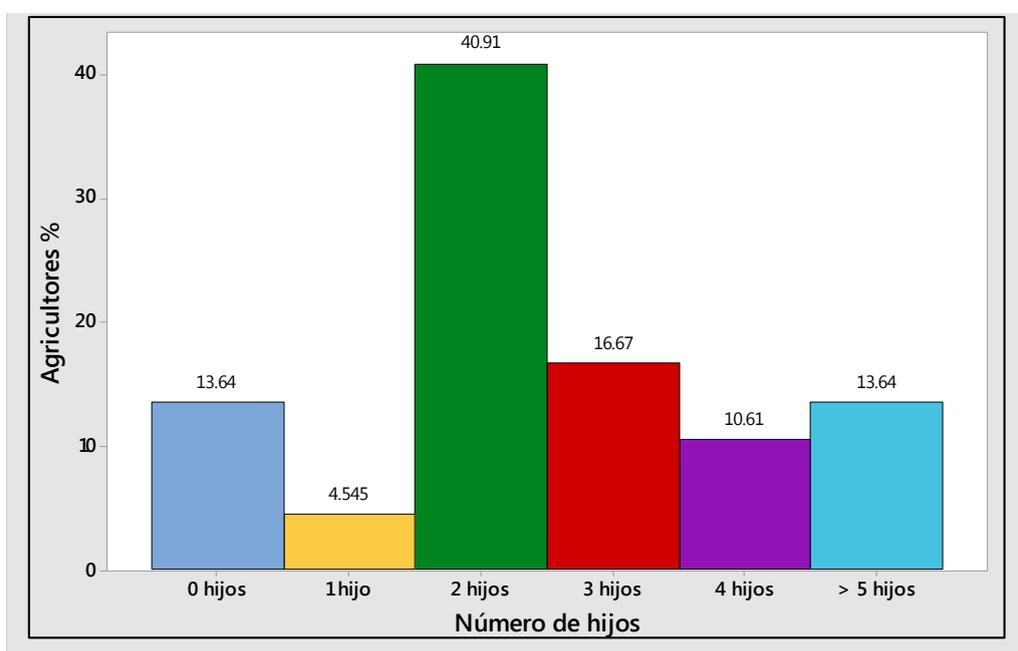
Gráfico 05: Nivel de estudio de los agricultores que conducen la finca



1.1.1.6. Número de hijos

La cantidad de integrantes de la unidad familiar, es un factor que repercute en la economía del agricultor, ya que mientras más integrantes tenga la unidad familiar son mayores los gastos destinados en alimentación, salud y vivienda y en pequeña proporción para la actividad agrícola. En la zonal de Echarati, se identifica en las fincas estudiadas que la mayoría de agricultores en un 40.91% cuentan con 2 hijos, mientras que el 13.64% mencionan no tener hijos.

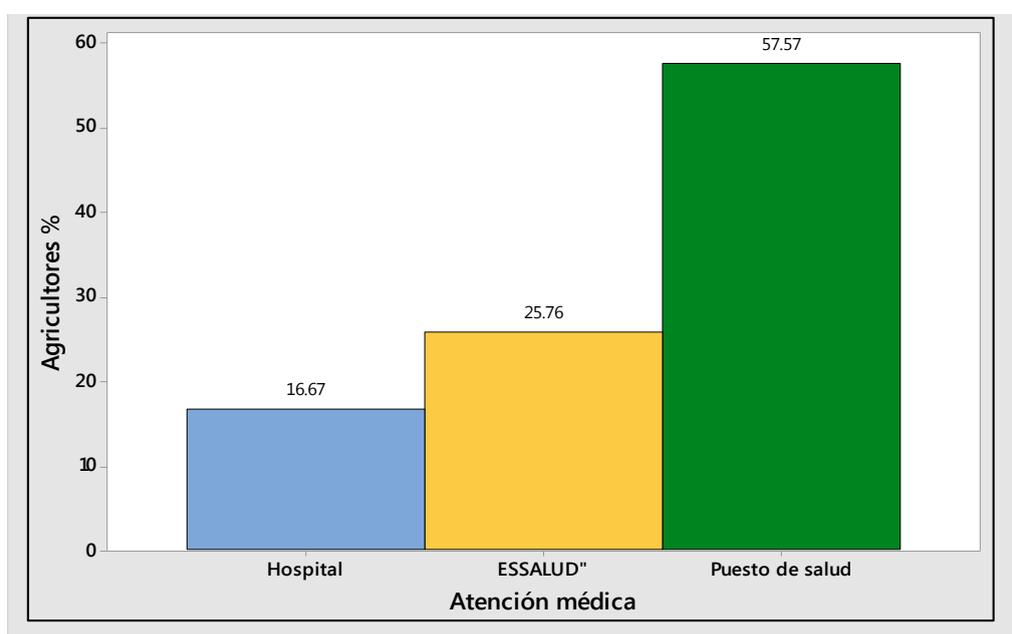
Gráfico 06: Número de hijos de los agricultores que conducen la finca



1.1.1.7. Salud

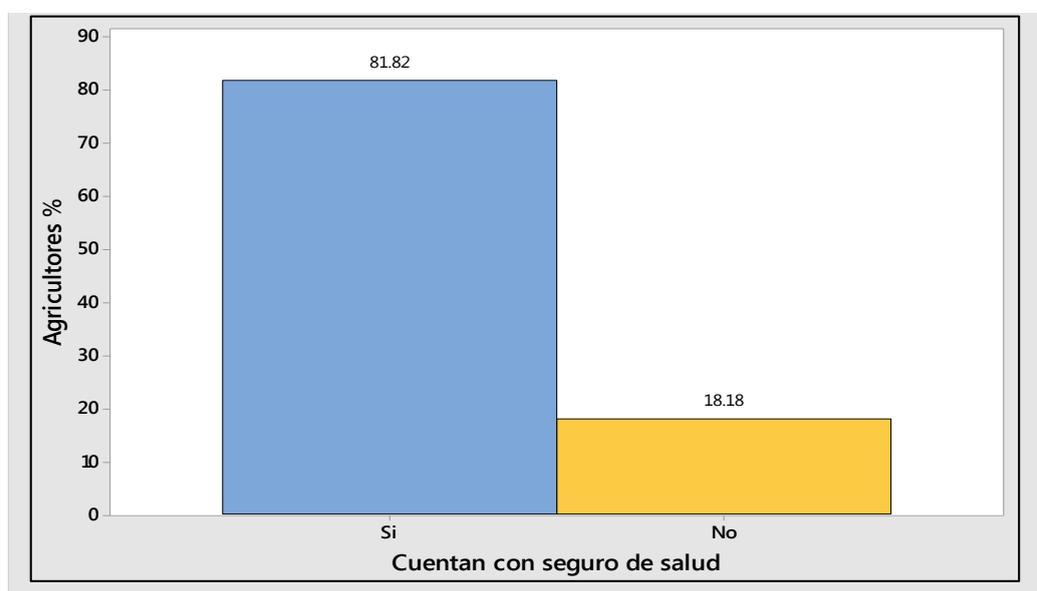
El principal lugar de atención médica al cual acuden los agricultores que conducen las fincas agroforestales en la zonal de Echarati cuando tienen algún problema de salud es el puesto de salud; esto ha sido referido por el 57.57% de los agricultores encuestados, mientras que el 25.76% indicaron realizar su atención en ESSALUD y tan solo el 16.67% lo realiza en el Hospital de la ciudad de Quillabamba.

Gráfico 07: Lugar de atención médica de los agricultores



Respecto al aseguramiento de salud, el 81.82% de agricultores que conduce la finca cuentan con seguro de salud, frente al 18.18% que no lo tiene.

Gráfico 08: Aseguramiento de los agricultores que conducen la finca

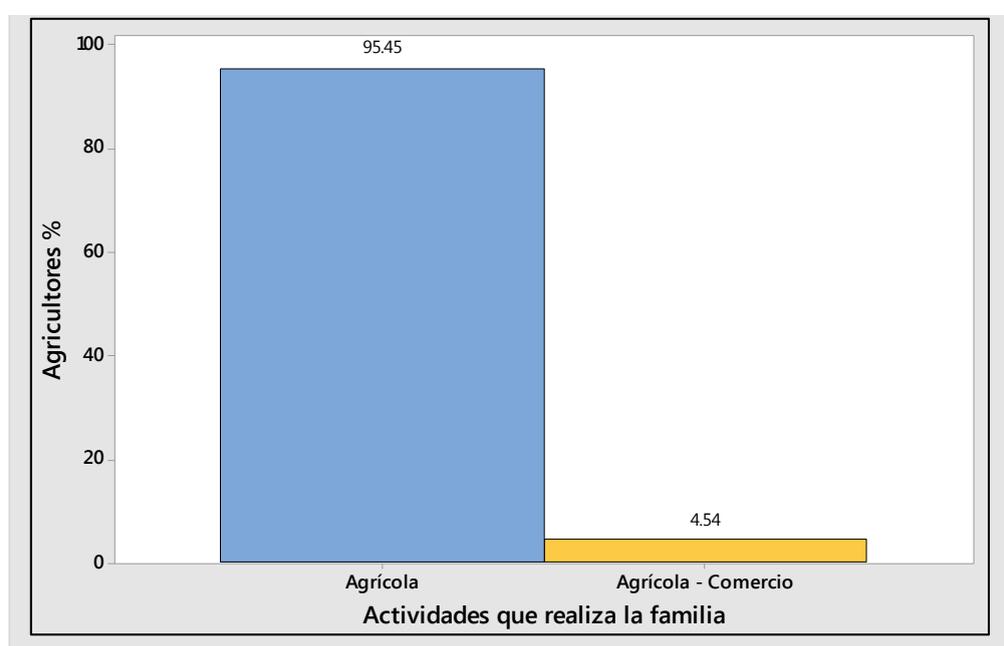


1.1.2. Características económicas

1.1.2.1. Trabajo

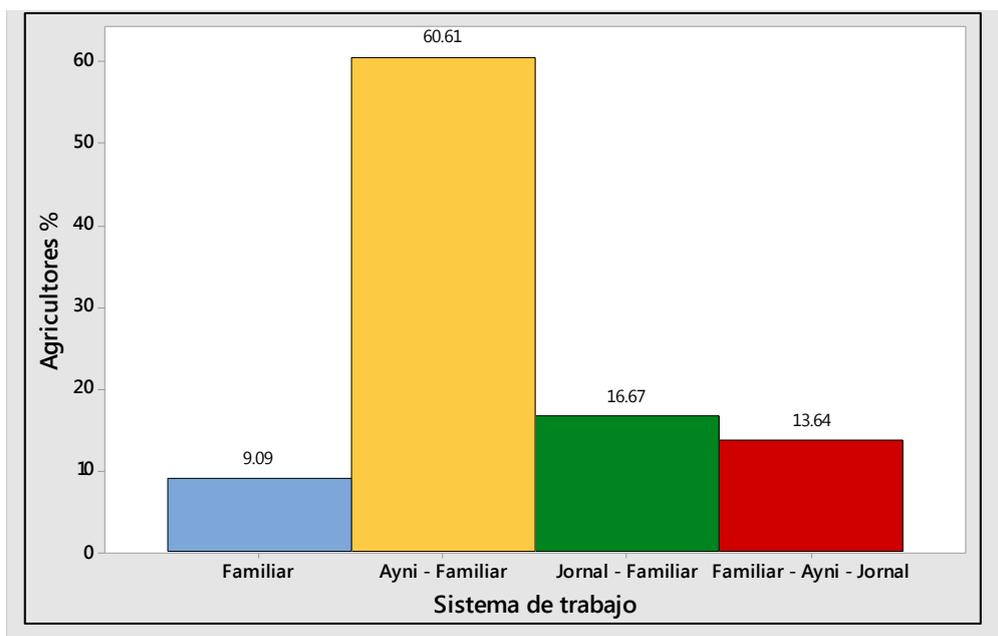
La principal actividad realizada por los agricultores de la zonal de Echarati para obtener ingresos es la actividad agrícola. Esto ha sido identificado en el 95.45% de las fincas en donde se realizó el estudio; así mismo se ha identificado que en 4.54% de las fincas aparte de realizar la actividad agrícola también efectúan el comercio

Gráfico 09: Actividades realizadas por la familia de los agricultores



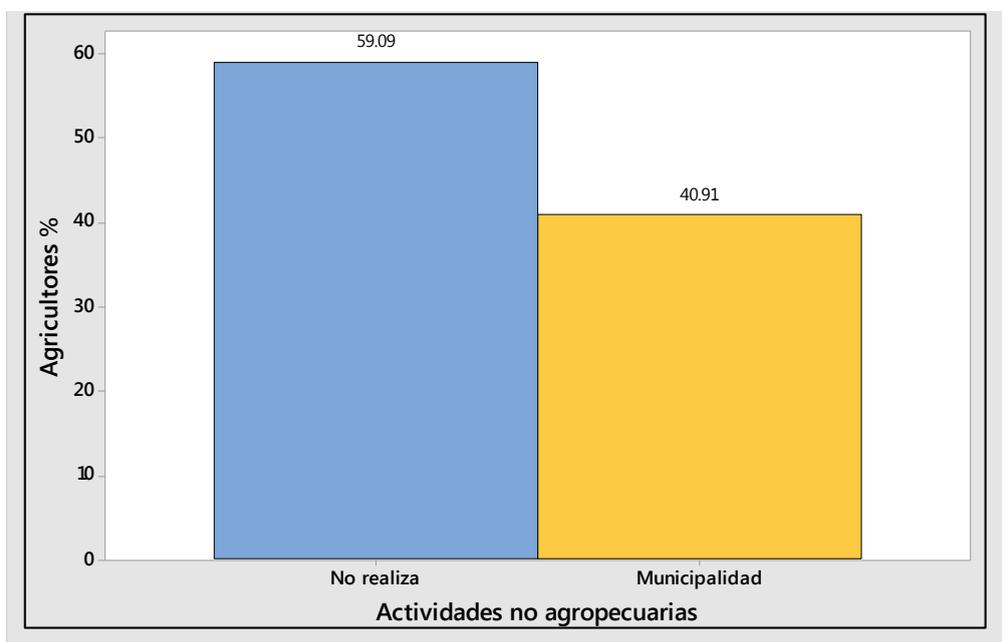
Referido al sistema de trabajo que es empleado en las fincas agroforestales de la zonal de Echarati, se identifica como principal el sistema de trabajo mediante ayni y familiar, manifestado por el 60.61% de los agricultores encuestados; así mismo se identifica en la investigación realizada que 16,67% de los agricultores emplean mano de obra mediante jornales y trabajo familiar; 13.64% mediante mano de obra familiar – ayni – jornal, y tan solo el 9.09% emplean solamente mano de obra familiar. De estos resultados mostrados se puede apreciar que el trabajo familiar es el más empleado por los agricultores en vista de que en los últimos años se aprecia en la provincia de La Convención y en particular en el distrito de Echarati una escasez de mano de obra. Así mismo para realizar las actividades propias del manejo de las plantaciones agroforestales, se requiere no solamente de la participación de mano de obra externa, ya que también es necesario que la familia esté involucrada para las diversas actividades.

Gráfico 10: Sistema de trabajo empleado en las fincas agroforestales



Respecto a las actividades complementarias a la actividad agropecuaria, realizadas por los agricultores para obtener algún ingreso económico, se identifica en la zonal de Echarati que solamente es empleada por el 40.91% de los encuestados, siendo los mismos que la efectúan en la municipalidad distrital. Esto se puede apreciar en vista de que en los últimos años las municipalidades distritales de La Convención por el canon gasífero recibido han efectuado proyectos y obras en las cuales requieren de mano de obra no calificada y que en la mayoría de casos las distribuyen entre los agricultores como un ingreso extra.

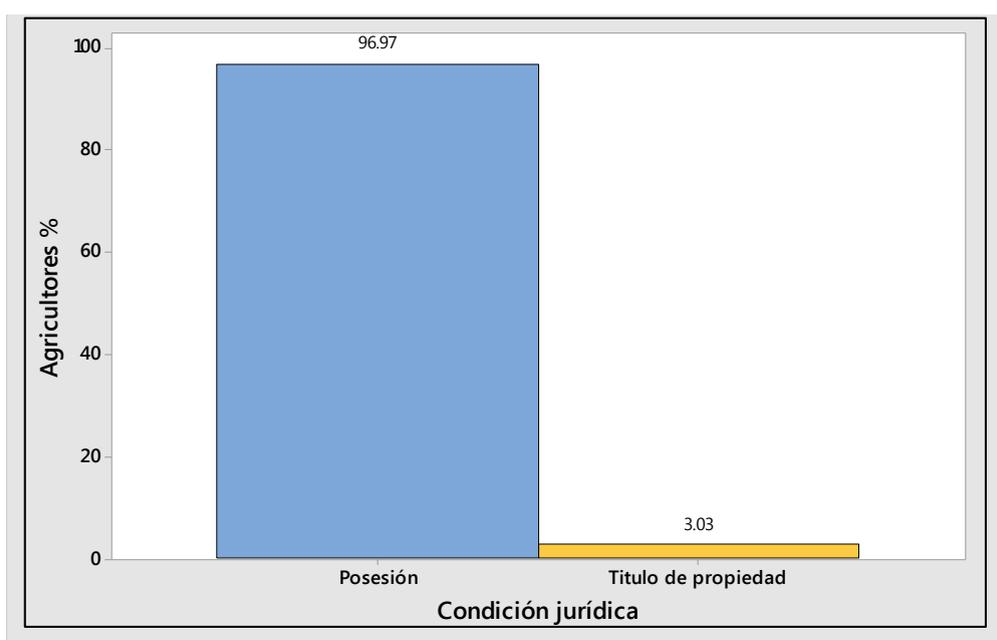
Gráfico 11: Actividades no agropecuarias realizadas por los agricultores



1.1.2.2. Finca

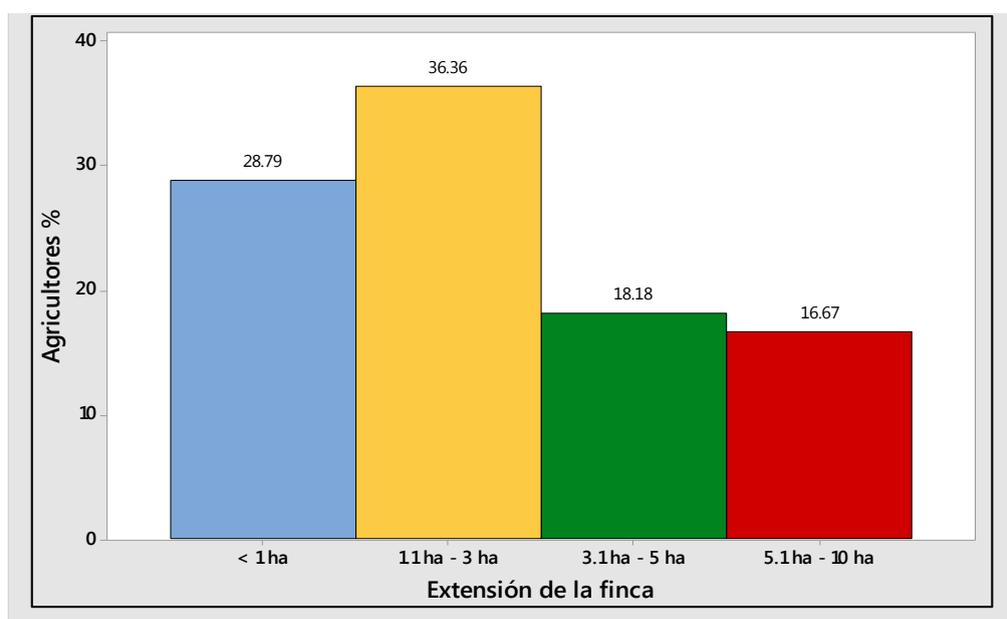
La formalización de los predios en el sector agrario, es uno de los factores que limita o beneficia la producción agrícola, ya que mientras un predio permanezca formalizado tendrá mejores opciones de desarrollo para acceder a créditos agrarios, proyectos o establecer inversiones. En la zonal de Echarati, en las fincas agroforestales estudiadas, se identifica que el 96.97% de las mismas se encuentran en posesión por parte de los agricultores, mientras que el 3.03% de agricultores tienen sus fincas con título de propiedad. Este valor bajo, es un indicador de un problema que se sitúa en la mayoría de predios del sector rural del distrito, donde no se ve mayor preocupación por parte del estado en contribuir al saneamiento físico legal de los predios y la formalización de los mismos.

Gráfico 12: Condición jurídica de las fincas agroforestales



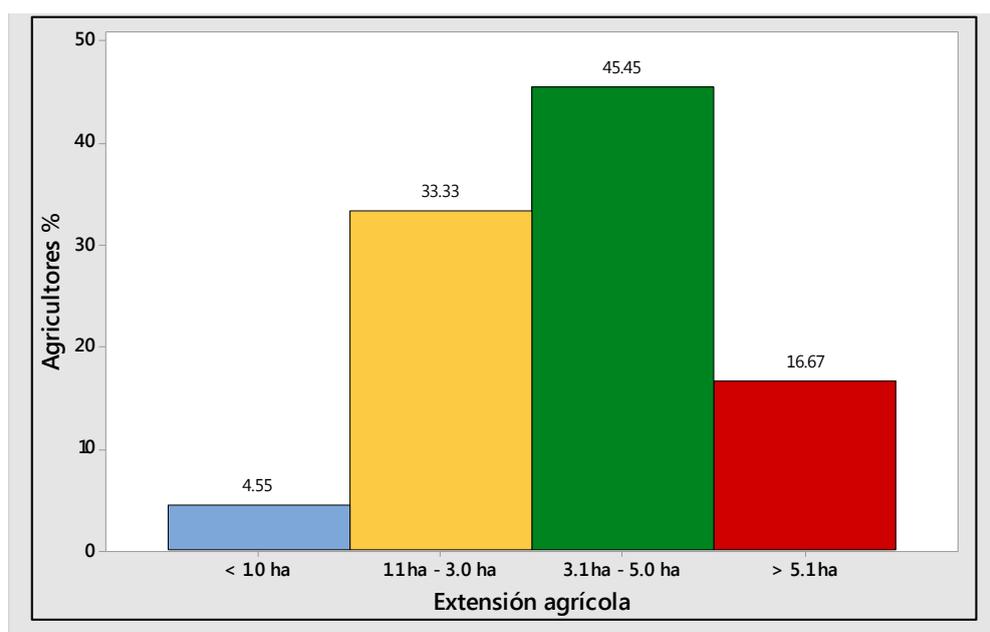
Respecto al tamaño o superficie de las fincas que emplean un sistema agroforestal, se identifica en la investigación realizada en la zonal de Echarati, que el 36.36% de los agricultores tienen una finca con una extensión de 1.1 – 3.0 Ha, 28.79% de agricultores tiene una finca con un tamaño inferior a 1.0 Ha, el 18.18% de agricultores tiene una finca con un tamaño entre 3.1 – 5.0 Ha, y el 16.67% de agricultores tienen una finca con un tamaño entre 5.1 – 10.0 Ha. De estos resultados, se observa que el tamaño de la finca no es una limitante para la mayoría de agricultores, puesto que por el sistema trabajado no es recomendable que el tamaño de la finca sea muy grande.

Gráfico 13: Extensión de las fincas agroforestales



En cuanto al uso de la finca destinado para la actividad agrícola, se identifica en la investigación realizada, que la mayoría de agricultores, correspondiente por el 45.45% de los encuestados utiliza una extensión de la finca entre 3.1 Ha – 5.0 Ha, mientras que 33.33% de encuestados emplea una superficie entre 1.1 Ha – 3.0 Ha, 16.67% emplea una superficie superior a 5.1 Ha, y tan solo el 4.55% de los encuestados emplea una superficie inferior a 1.0 Ha.

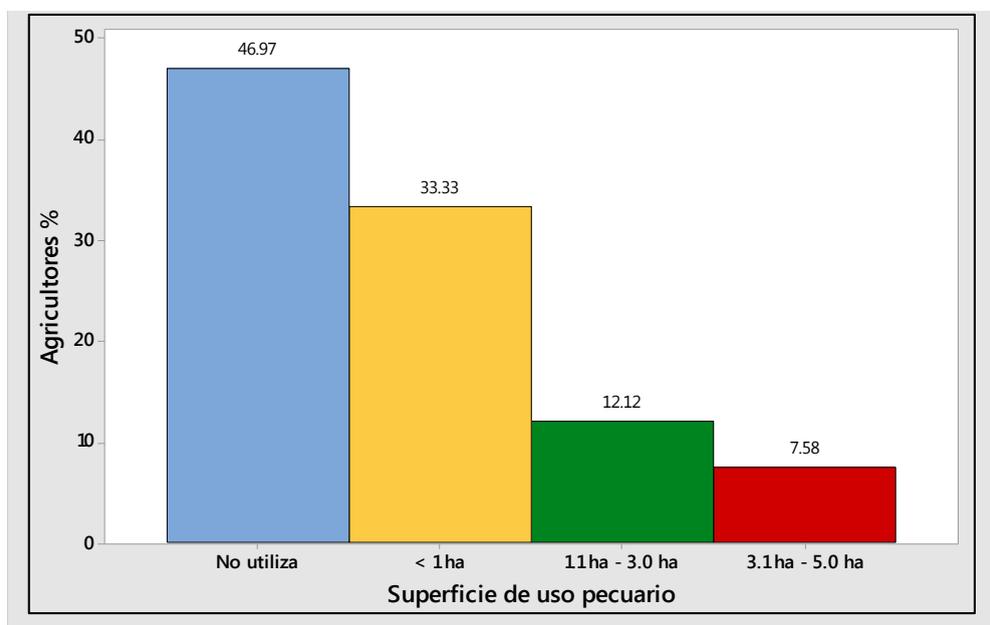
Gráfico 14: Extensión de la finca para uso agrícola



En cuanto al uso o superficie que se le da a la finca para el uso pecuario, se identifica en los agricultores que fueron encuestados que, el 33.33% emplea una extensión menor a 1.0 Ha, 12.12% de agricultores emplea una superficie entre

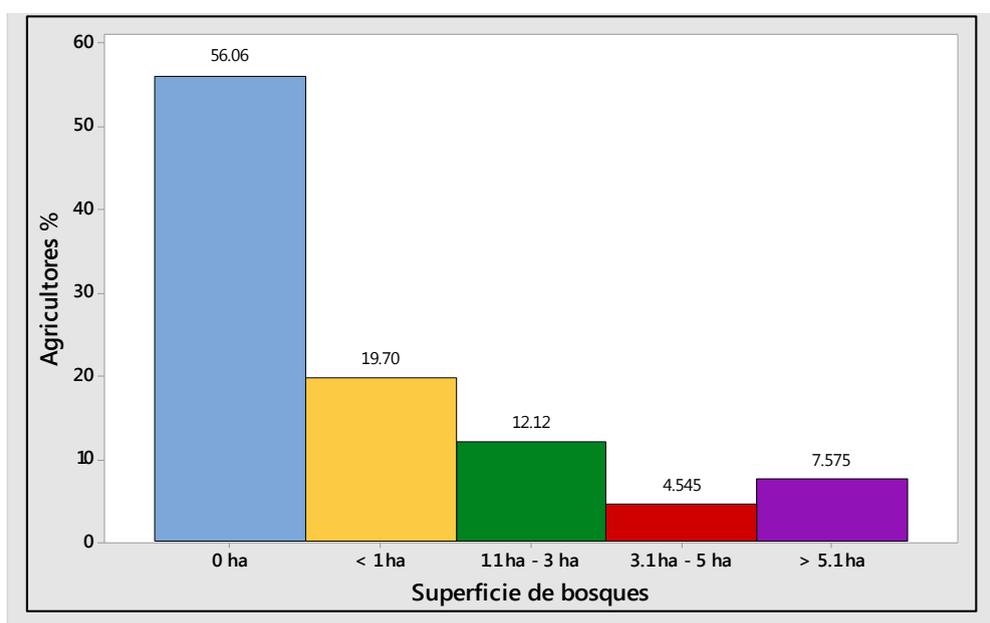
1.1 – 3.0 Ha, y 7.58% utiliza una extensión entre 3.1 – 5.0 Ha. Así mismo se identifica que el 46.97% de los agricultores no utiliza superficie alguna para bosques.

Gráfico 15: Extensión de la finca para uso pecuario



Respecto al uso de terreno para bosque, se identifica que el 19.70% de agricultores utiliza una extensión menor a 1.0 Ha, 12.12% utiliza una extensión entre 1.1 – 3.0 Ha, 7.575% de agricultores una superficie superior a 5.1 ha, y tan solo el 5.545% utiliza entre 3.1 – 5.0 Ha. Así mismo se aprecia que el 56.06% no cuenta con extensión de bosques.

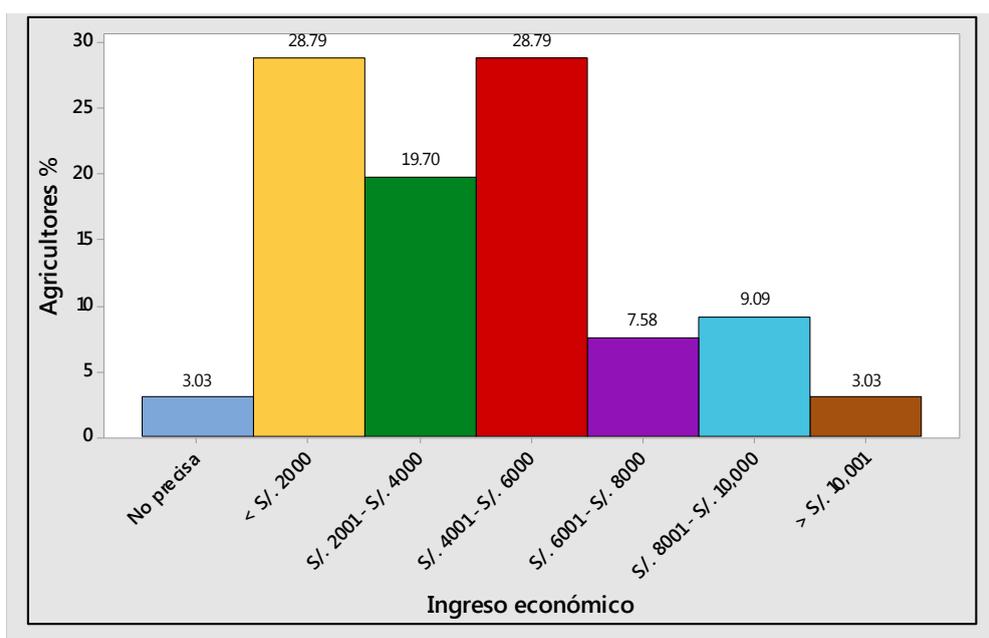
Gráfico 16: Extensión de la finca para bosques



1.1.2.3. Economía

Los ingresos económicos en las fincas de los agricultores de la zonal de Echarati, varían en función a la producción agrícola obtenida en la finca y las diversas actividades efectuadas por la familia. En la investigación efectuada, se identifica que 28.79% de agricultores tiene ingresos entre S/. 4,000.0 – S/. 6,000.0 e inferior a S/. 2,000.0 respectivamente; 19.70% de agricultores reporta ingresos entre S/. 2,000.0 – S/. 4,000.0 respectivamente, 9.09% ingresos entre S/. 8,001.0 – S/. 10,000.0, el 7.58% de encuestados reporta ingresos entre S/. 6,001.0 – S/. 8,001.0, y finalmente se identifica que tan solo 3.03% de encuestados presenta ingresos superiores a S/. 10,001.00; así mismo se identifica que un grupo pequeño de agricultores compuesto por el 3.03% de encuestados no precisa los ingresos que obtienen.

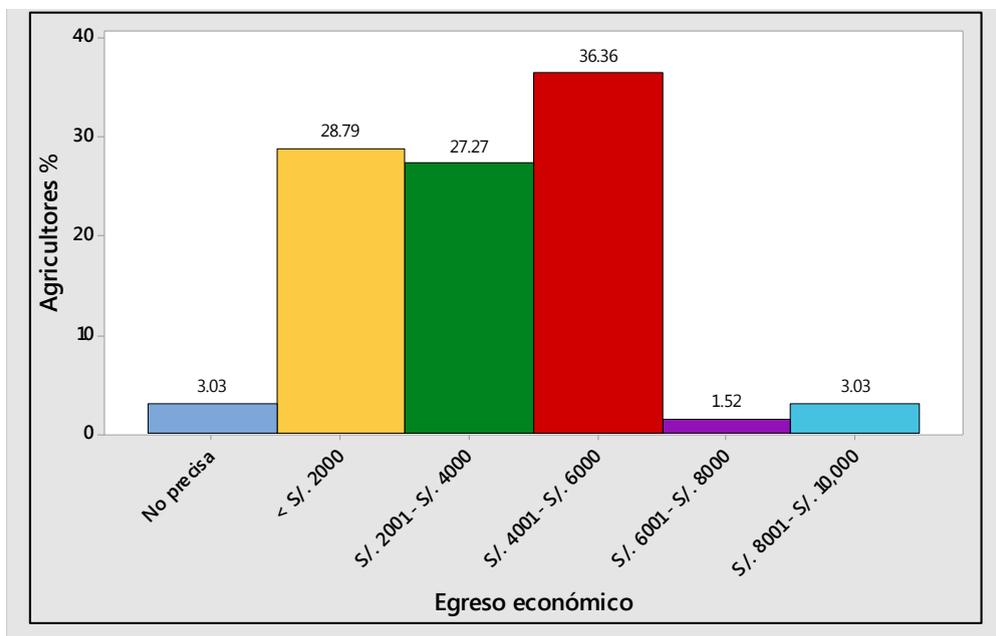
Gráfico 17: Ingreso económico en la finca



Referido a los egresos económicos empleados principalmente para las diversas actividades realizadas en la finca, se identifica en la investigación realizada, que en la zonal de Echarati la mayoría de agricultores compuesto por el 36.36% de los encuestados, destina en las fincas agroforestales un monto entre S/. 4,001.0 – S/. 6,000.0, en tanto que el 28.79% de encuestados destina un monto inferior a S/. 2,000.00, el 27.27% de encuestados un monto entre S/. 2,001.00 – S/. 4,000.0, el 3.03% un monto entre S/. 8,001.0 – S/. 10,000.0; y, tan solo el 1.52% de encuestados manifiesta empelar en la finca un monto entre S/. 6,001.0 – S/.

8,000.0. Así mismo se identifica en la investigación realizada que el 3.03% de agricultores encuestados no sabe con exactitud el monto empleado en la finca.

Gráfico 18: Egreso económico en la finca



Para la valorización de las fincas agroforestales, se consideró el tamaño de la finca y la producción existente; es así que se identifica que el 37.88% de fincas están valorizadas entre S/. 20,000.00 – S/. 29,000.00, mientras que el 4.55% de las fincas estudiadas están valorizadas con un monto superior a S/. 50,000.00.

Gráfico 19: Valorización de la finca agroforestal

