

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROECOLOGÍA
MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL



**TASAS DE FIJACIÓN DE CARBONO EN BIOMASA TOTAL Y VALORACIÓN
ECONÓMICA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE CACAO**
(Theobroma cacao L.) EN AGUAYTÍA

Tesis

Para optar el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA,

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

IGMAR BERNARDO DEL ÁGUILA GASLA

TINGO MARÍA - PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIDAD DE POSGRADO
DIRECCIÓN



"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 017-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 11:00 a.m. del viernes 25 de noviembre de 2022, reunidos de manera presencial en las instalaciones de Grados y Títulos, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"TASAS DE FIJACION DE CARBONO EN BIOMASA TOTAL Y VALORACION ECONOMICA EN SISTEMAS DE PRDUCCION DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma Cacao L.*) EN AGUAYTIA"

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental IGMAR BERNARDO DEL AGUILA GASLA.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando *A.P.R.C.* con el calificativo de *Excelente*.

Acto seguido, a horas *12:20 p.m.* el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
Presidente del Jurado

.....
Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE
Miembro del Jurado

.....
Ing. MS.c. DAVID PRUDENCIO QUISPE JANAMPA
Miembro del Jurado

.....
Ing. MS.c. JOSE VICTOR QUIROZ RAMIREZ
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL
(RIDUNAS)

Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 096 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El trabajo de investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:

Escuela de Posgrado UNAS

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
TASAS DE FIJACIÓN DE CARBONO EN BIOMASA TOTAL Y VALORACIÓN ECONÓMICA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i> L.) EN AGUAYTÍA	IGMAR BERNARDO DEL ÁGUILA GASLA	23% Veintitrés

Tingo María, 18 de abril de 2023


Mg. Ing. García Villegas, Christian
Coordinador del Repositorio Institucional Digital (RIDUNAS)

DEDICATORIA

A Dios, por iluminar y guiar mis pasos por el camino del bien.

A mi madre; Bertilia Gasla Cárdenas, por su inmenso amor, dedicación, entrega y apoyo incondicional, brindado durante todo este tiempo de mi formación profesional.

.A mi conviviente y madre de mis hijos; Lorena Vásquez Paredes, por su gran apoyo, confianza y afecto al brindarme su fuerza para ser cada día mejor.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a los docentes de la Escuela de Posgrado, en especial de la maestría en Agroecología, mención Gestión Ambiental por sus enseñanzas para enriquecer mis conocimientos para mi formación profesional.

A mi asesor Ing. M.Sc. José Víctor Quiroz Ramírez, por la orientación y conocimientos, para fortalecer el trabajo de investigación.

Al Dr. Lucio Manrique de Lara Suarez, presidente de jurados, por las sugerencias en su momento, para un mejor trabajo.

Al Dr. Casiano Aguirre Escalante y Ing. M.Sc. David P. Quispe Janampa, por los aportes en la mejora del trabajo de investigación.

Al Ing. M.Sc. Wilfredo Alva Valdiviezo, por las sugerencias en su momento, para un mejor trabajo.

En general quiero dar mis más expresivas gracias a todos que de alguna u otra manera me apoyaron y compartieron momentos muy gratos en mi formación académica.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo General.	2
1.2. Objetivos Específicos.	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Sistema agroforestal (SAF)	3
2.1.1.1. Particularidades de los Sistemas agroforestales	3
2.1.1.2. Importancia de los sistemas agroforestales en la fijación de carbono.....	3
2.1.1.3. Sistemas agroforestales como sumideros de carbono	4
2.1.2. Cambio climático	5
2.1.3. Efecto invernadero	5
2.1.4. El ciclo del carbono.....	6
2.1.4.1. Biomasa.....	6
2.1.4.2. Vegetales como fijadores de carbono.....	7
2.1.4.3. Hojarasca como fijadores de carbono	7
2.1.5. Valor económico de la captura de carbono	7
2.2. Estado del arte	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Descripción del área de estudio.....	13
3.1.1. Ubicación política y localización geográfica	13
3.1.2. Aspectos ecológicos	14
3.1.3. Condiciones climáticas.....	14
3.2. Equipos y materiales	14
3.2.1. Equipos.....	14
3.2.2. Materiales.....	14
3.3. Metodología.....	14
3.3.1. Selección y delimitación del área en estudio	14
3.3.2. Evaluación del carbono de la biomasa vegetal por el método alométrico	15
3.4. Cálculos	17
3.4.1. Cálculos de la biomasa vegetal	17
3.4.2. Cálculos de la biomasa vegetal total (t ha-1)	18

3.4.3. Cálculo del carbono en la biomasa vegetal total (t ha ⁻¹).....	19
3.5. Variable	19
3.5.1. Dependiente.....	19
3.5.2. Independientes.....	19
3.5.3. Características para evaluar.....	19
3.6. Procedimientos para determinar el valor económico	19
3.6.1. Valor Actual Neto (VAN).....	19
3.6.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)	20
3.6.3. Beneficio - costo (B/C)	20
3.7. Diseño de la investigación.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1. Tasa de fijación de carbono en el monocultivo	21
4.2. Tasa de fijación en el policultivo	23
4.3. Valoración económica del sistema de producción monocultivo y policultivo.....	26
4.3.1. Valor Actual Neto (VAN).....	26
4.3.2. Tasa Interna Retorno (TIR).....	26
4.3.3. Beneficio Costo (B/C).....	27
V. CONCLUSIONES	29
VI. RECOMENDACIONES	30
VII. REFERENCIAS	31
ANEXOS	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Coordenadas UTM (Datum WGS 84, UTM/UPS) de los sistemas de plantación...	14
2. Carbono de la biomasa vegetal en sistema de producción de monocultivo.....	21
3. Carbono de la biomasa vegetal en sistema de producción del cacao con bolaina ...	24
4. Indicador económico Valor Actual Neto para los sistemas de producción de cacao.....	26
5. Indicador económico Tasa Interna de Retorno para los sistemas de producción del cacao.....	27
6. Indicador económico beneficio costo para los sistemas de producción de cacao...	27
7. Biomasa arbórea en el transecto A del sistema agroforestal.....	35
8. Biomasa arbórea en el transecto B del sistema agroforestal	35
9. Biomasa arbórea en el transecto C del sistema agroforestal	35
10. Biomasa arbórea en el transecto D del sistema agroforestal.....	36
11. Biomasa arbórea en el transecto A del sistema monocultivo.....	36
12. Biomasa arbórea en el transecto B del sistema monocultivo.....	36
13. Biomasa arbórea en el transecto C del sistema monocultivo.....	37
14. Biomasa arbórea en el transecto D del sistema monocultivo.....	37
15. Biomasa herbácea (t/ha) del sistema agroforestal	37
16. Biomasa herbácea (t/ha) del sistema monocultivo.....	38
17. Biomasa herbácea (t/ha) del sistema agroforestal	38
18. Biomasa de hojarasca (t/ha) del sistema monocultivo	38
19. Indicadores económicos de los sistemas de producción de cacao en monocultivo .	39
20. Indicadores económicos de los sistemas de producción de cacao en policultivo	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación del trabajo de investigación	13
2. Descripción de parcelas con 4 transectos internos	15
3. Diseño de las zonas para evaluar de biomasa arbórea viva, biomasa arbustiva y herbácea.....	16
4. Cuadrantes interiores de 0.5 m a cada lado para hojarasca y cuadrante de 1 m a cada lado para material herbáceo y arbustivo	19
5. Biomasa (%) del sistema de producción del monocultivo	23
6. Biomasa (%) del sistema de producción de cacao con bolaina.....	25
7. Instalación de los transectos de 4 x 25 m.....	40
8. Cuadrantes para herbácea.....	40
9. Instalación de cuadrantes para hojarasca	41
10. Colecta de hojarasca.....	41
11. Colecta de la herbácea.....	42
12. Evaluación de la circunferencia a la altura del pecho de <i>Guazuma crinita</i>	42
13. Evaluación de la circunferencia de las plantas de cacao	43
14. Peso fresco de las muestras	43
15. Secado de las muestras en la estufa.....	44
16. Evaluación del peso seco de las muestras	44

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue estudiar la tasa de fijación de dos sistemas de producción de cacao (monocultivo, sistemas agroforestal) basándonos en la estimación de la biomasa arbórea, hojarasca y herbácea, para lo cual se instalaron cuatro parcelas de 4 m x 25 m, de igual manera se estudió la valoración económica de ambos sistemas, los resultados fueron: Para el monocultivo, la biomasa del cacao fue de 25.59 t/ha, la biomasa de hojarasca de 2.03 t/ha, la biomasa arbórea con 0.31 t/ha, mientras que el carbono en la biomasa vegetal fue de 12,57 t/ha, con una tasa de fijación de 1,57 t/ha. Mientras en el sistema de producción de cacao y *Guazuma crinita* C.Martius, la biomasa de árboles de cacao fue de 13.17 t/ha, mientras para la especie forestal fue 48.72 t/ha, mientras el aporte de hojarasca con 1.13 t/ha, y para la herbáceas con 0.33 t/ha. Mientras que el carbono almacenado en la biomasa vegetal fue de 28.51 t/ha, siendo la tasa de fijación de carbono de 3.56 t/ha. Con respecto a la valoración económica de ambos sistemas de producción, donde el Valor Actual Neto (VAN) para el monocultivo de cacao alcanzó \$ 2,782.42 y en el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina alcanzó a \$11,168.16 en la zona de Aguaytía, la tasa Interna Retorno (TIR) para sistema monocultivo de cacao con 32% y para el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina un 55%, se concluye que el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina ofrece una mejor inversión, mientras el Beneficio Costo (B/C) en el sistema monocultivo de cacao es de 2.18 y para el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina es de 3.17.

Palabras claves: Tasas de fijación, valoración económica, *Theobroma cacao* L.

ABSTRACT

The objective of the research was to study the fixation rate of two cocoa production systems (monoculture, agroforestry systems) based on the estimation of tree, litter and herbaceous biomass, for which four plots of 4 m x 25 m were installed, In the same way, the economic valuation of both systems was studied, the results were: For monoculture, cocoa biomass was 25.59 t/ha, litter biomass 2.03 t/ha, tree biomass 0.31 t/ha, while carbon in plant biomass was 12.57 t/ha. , with a fixation rate of 1.57 t/ha. While in the cacao and *Guazuma crinita* C.Martius production system, the biomass of cacao trees was 13.17 t/ha, while for the forest species it was 48.72 t/ha, while the contribution of litter with 1.13 t/ha, and for the herbaceous with 0.33 t/ha. While the carbon stored in plant biomass was 28.51 t/ha, with a carbon fixation rate of 3.56 t/ha. Regarding the economic valuation of both production systems, where the Net Present Value (NPV) for cocoa monoculture reached \$2,782.42 and in the cacao agroforestry system associated with bolaina it reached \$11,168.16 in the Aguaytía area, the Internal rate Return (IRR) for cocoa monoculture system with 32% and for cacao agroforestry system associated with bolaina 55%, it is concluded that the cacao agroforestry system associated with bolaina offers a better investment, while the Cost Benefit (B/C) in the cacao monoculture system is 2.18 and for the cocoa agroforestry system associated with bolaina it is 3.17.

Keywords: Fixation fees, economic valuation *Theobroma cacao* L.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú se cuenta con diversos sistemas de producción de cacao, ya sea monocultivos, sistemas agroforestales, mientras en el sector de Aguaytía, presentan actividades agrícolas, cultivos de un solo tipo que se dedican únicamente en muchos casos a cultivos de cacao, café, plátano, entre otros, de la misma forma también productos de primera necesidad, que a lo largo del tiempo vario radicalmente a través de áreas de gran extensión con cultivo de coca, perjudicando gravemente el suelo del área.

Actualmente en la región se trabaja en los suelos con cultivos agronómicos sin ningún criterio profesional, dejando de lado en gran parte los sistemas agroforestales, los cuales consisten en usar y manejar los recursos naturales especies forestales, se usan eventualmente en asociaciones de cultivos agrícolas en un mismo territorio, de forma sincrónica o en una sucesión provisional; asimismo, saber que el almacenamiento de carbono de áreas plantadas con especies forestales se tiene como una propuesta beneficiosa para el balance dentro de la escala atmosférica de CO₂. Conociendo que, y partiendo del Protocolo de Kioto, que establece un convenio que se compromete a disminuir los fluidos gaseoso del efecto invernadero que son resultado de sus países industrializados, para esto se emplea sistemas para incentivar políticas que incrementen plantar en áreas con cultivos agrícolas y forestales con la finalidad de almacenar C, como el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

Con base en la problemática, antes descrita, este estudio propone como pregunta de investigación ¿Cuál será la mejor tasa de fijación de carbono en biomasa total y valoración económica en sistemas de producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) a través de un monocultivo y policultivo?

Sabemos que los cultivos de cacao, adicionalmente brinda un sinfín de beneficios para el suelo, ya que estos se encargan de constituir el principio fundamental para producir sistemas, además se trabaja en combinación con especies vegetales (policultivo), entre ellas las principales son frutales, plátano, café y madera, el cual se encarga de brindar sombra y de la misma forma, genera un ingreso económico. Por otro lado, dichos sistemas brindan como beneficio conservar la biodiversidad, un ejemplo de esto son los reductores de carbono, depósitos naturales de carbono.

Dentro de la selva peruana de nuestra amazonia en el caso del sector de Aguaytía muestra una genética muy diversa y uno de estos cultivos es representado por el cacao que por su gran diversidad genética puede generar y desarrollar técnicas para los productores y a la vez poder fusionar sistemas de plantas forestales y agrícolas, no solo practicar el sistema de

producción mediante plantaciones de manera de monocultivo. Los SAF brindan una opción firme en el uso del suelo, dichos sistemas benefician en la eficacia de la tasa de almacenamiento de carbono del total de la biomasa, generando tranquilidad y estabilidad a los productores y agricultores. El fortalecimiento en el rendimiento agrícola y en la viabilidad ecológica genera gran importancia en organismos de nivel financiero y de instituciones que donan como auspicio de proyectos con finalidad fundamental de preservación de la biodiversidad, y promover un sistema adicional de productividad agrícola (sistemas agroforestales), adicional a esto darles uso a los recursos naturales.

En relación con lo anterior, la estima de la captura de carbono en general de la biomasa de monocultivos y policultivos posibilita la determinación de cantidades de carbono que existen en los sistemas, y de esta forma determina la dosis posible de carbono que se captura en el suelo.

1.1. Objetivo General.

Estimar la tasa de fijación de carbono en biomasa total y valorización económica en sistemas de producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Aguaytía.

1.2. Objetivos Específicos.

- Estimar la tasa de fijación de carbono en biomasa total en el sistema de producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) a través de un monocultivo.
- Estimar la tasa de fijación de carbono en biomasa total en el sistema de producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) a través de un policultivo.
- Determinar la valoración económica del sistema de producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) a través de un monocultivo y policultivo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Sistema agroforestal (SAF)

"Se le considera un sistema sostenible donde se manejan cultivos y terreno con la finalidad de incrementar los rendimientos de manera ascendente, este sistema consta de producir cultivos forestales (donde se presentan frutas y arboles) adicionándole sistemas de campo o arables y/o animales de forma sincrónica sobre una misma superficie de terreno, realizando practicas sobre manejo similares a las que realiza la población local" (Consejo Internacional de Investigaciones Agroforestales [ICRAF], 2011).

Dentro de la finalidad de los SAF se busca perfeccionar una consecuencia de beneficio para interrelaciones de elementos de madera con elementos animales o de cultivo, esto basándose en caracteres económicos, ecológicos y sociales dominantes. Dichos SAF muestran una ventaja para el productor ya que reduce la espera de los productos de un solo cultivo, donde se permite realizar actividades de producción económica y ambiental sustentables que muestran un procedimiento con alta condición para el almacenamiento de C (Ortiz y Riascos, 2006).

2.1.1.1. Particularidades de los Sistemas agroforestales

Según señala (Ortiz y Riascos, 2006).

- **Estructura:** Hace una combinación de especies vegetal y especie animal.
- **Sostenible:** Perfecciona el rendimiento de interrelaciones que genera una producción en el transcurso del tiempo evitando una degradación del suelo.
- **Aumento en la producción:** Dicha acción de mejoramiento entre los factores del sistema, existirá un incremento en comparación a los sistemas convencionales del suelo.
- **Adaptabilidad cultural/socioeconómica:** Estos sistemas son aplicados a una gran escala de predios y a la vez de índole socioeconómico, asimismo se muestra un efecto superior en áreas de agricultores donde no se adaptan tecnologías de alto costo y modernidad.

2.1.1.2. Importancia de los sistemas agroforestales en la fijación de carbono

El carbono en los sistemas agroforestales se fija y almacena con la finalidad de adicionar un valor agregado a estos cultivos para conseguir un potencial superior y de importancia para los agricultores. (Ávila et al., 2001).

Se tiene como dato que la dosis aproximada de captura de carbono de forma directa por árboles fue 3 a 25 t C ha⁻¹; asimismo, para los huertos en casa se almacena aproximadamente 50 t C ha⁻¹. Sin embargo, el carbono secuestrado en la superficie de los SAF se estima en rangos de 12 y 228 t C ha⁻¹, con relación al potencial de secuestro de carbono se tiene que en el trópico húmedo es mayor (Callao, 2000).

Para algunas ocasiones se estiman valores para fijar el carbono con rango de 0.1 a 3.6 t C ha⁻¹. Asimismo, el secuestro de carbono es influenciado por la especie del árbol y a la densidad de árboles, de igual forma tiene gran importancia la materia orgánica presentes en el suelo, patrón de superficie, particularidades del área, condiciones de clima y por último el desarrollo de silvicultura al que se somete el sistema (Segura et al., 2006).

2.1.1.3. Sistemas agroforestales como sumideros de carbono

Desde un inicio, de características para almacenar carbono en un sistema terrestre que fundamentalmente depende de factores: como primer factor se tiene la totalidad del área de estos sistemas biológicos y en segundo factor se tiene la cifra de árboles por unidad de terreno. En los SAF se muestran como amplios almacenadores de carbono, sin embargo, existen ocasiones donde la captura de carbono es similar que en bosques. (Ortiz y Riascos, 2006).

a. Almacenamiento de carbono

Con relación a las propiedades de los tipos de bosques, se puede ajustar la información en la evaluación de biomasa donde se basan por el volumen por ha de inventarios. Asimismo, la media de carbono secuestrado por ha no se podrá liberar en el exterior de la superficie, en dicha ocasión, se realiza un pago para conservar el bosque y evitar alguna modificación en el uso de la tierra que puede afectar a parques nacionales y otras áreas de reserva. (Ramírez et al., 1994).

Como dato se tiene que un 45 % dentro de la biomasa vegetal seca es carbono, de la misma forma se encuentra una acumulación de carbono en los bosques, dicha acumulación no logra ser liberada a la superficie. En el mismo contexto, muestran que para bosques tropicales el rango varía en 67,5 a 171 t/ha (Iparraguirre, 2000).

b. Fijación de carbono

Segura (1997) menciona que, una muestra de unidad de área cubierta por bosque logra fijar el carbono en un tiempo determinado, asimismo, se expresa en tCha⁻¹ año⁻¹ el carbono almacenado.

De la misma forma, en árboles y energía de biomasa se usan para sustituir combustibles fósiles, dicha actividad se tiene como futura meta, esto sucede

porque al quemarse los árboles se da la liberación de carbono hacia la atmosfera; sin embargo, este termina siendo "reciclado", y es agregado nuevo al proceso En la zona tropical el carbono ubicado en océanos, bosques y suelos se promedia de 25 a 190 ton/ha-1 en bosques secundarios y de 60 a 230 ton/ha-1 bosque primario. Para las zonas boscosas del trópico, los depósitos de C en la superficie oscilan de 60 a 115 ton/ha-1. Además, existen sistemas en la superficie, los cuales como agrícolas o ganaderos, en depósitos de C en la superficie es de tamaño reducido, sin embargo, los bosques en condición de edad madura no se da el proceso asimilar netamente el carbono, debido al boscoso sistema que satura el proceso (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, Roma [FAO], 1998).

2.1.2. Cambio climático

La Dirección Nacional de Políticas de Seguridad y Protección Civil (SIFEM, 2000) manifiesta que un cambio en el clima se presenta como un desarrollo de origen antrópico, que se da por efecto de la agilización de los factores que influyen dentro del efecto invernadero en la tierra. En el proceso lo importante se encuentra en las consecuencias nada favorables que genera efectos negativos para el medio ambiente: el descongelamiento de los extremos, el incremento del océano, sequías, huracanes, agricultura migratoria, movilización de enfermedades, desaparición de especies, entre otras (SIFEM, 2000).

Asimismo, se sabe que las causas antrópicas al cambio climático, ya que su efecto empezaría con la tala de bosques para posteriormente darle un uso de tierras para cultivo y pastorear, sin embargo, en la época actual influye ampliamente al generar emisión de gases que dan origen al efecto invernadero. (Rodríguez y Mance,2009), afirman que a partir de dosis de CO₂, CH₄ y N₂O incremento significativamente a partir de la mitad de XVIII, fecha donde se dio origen de la revolución industrial”.

2.1.3. Efecto invernadero

Se entiende como una manifestación natural que permite controlar la temperatura de la superficie en niveles continuos y adecuados, asimismo este se da lugar en el momento que los rayos solares penetran sobre la tierra y aumenta su temperatura, al mismo tiempo genera una radiación térmica la que se retiene por los Gases de Efecto Invernadero se encuentra: el Dióxido de Carbono, Óxido Nitroso, Metano, Clorofluorocarbonos y Monóxido de Carbono. Un proceso en el clima que se da en equilibrio cuando los rayos solares se absorben en buen aspecto con la radiación que emite la tierra, por otro lado, al momento que la dosis de GEI en la superficie incrementa, dicho equilibrio se divide y ocasiona un incremento en la temperatura del mundo (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, Roma [FAO], 1998).

2.1.4. El ciclo del carbono

Empieza fijando el C en la atmosfera mediante algunos procesos fotosintéticos que se realizan por la especie vegetal y microanimales, asimismo el CO₂ y H₂O tienen una reacción para formar carbohidratos y libera el oxígeno a la superficie. Una fracción del carbohidrato se gasta de forma directa para facilitar la energía a la planta y el dióxido de carbono, esto funciona liberando mediante las hojas o de su raíz, se tiene otra fracción que se consume por los animales cuando respiran y a la vez liberan el CO₂. Finalmente, especies de plantas y animales mueren y al descomponerse por microorganismos del área lo que resulta que el C de sus tejidos se oxide en CO₂ (Ordoñez, 1999).

La rapidez con la que se absorbe el dióxido de carbono es directa y proporcionalmente del desarrollo de los árboles, una forma eficaz de fijar el dióxido de carbono es la preservación del bosque natural, sin embargo, mantener un orden de árboles leñosos perennes para su aprovechamiento en el momento ideal, de forma que la madera se convierte en productos de duración, donde permite fijar el mayor rango de carbono; de la misma forma, este aprovechamiento contempla límites, se tiene que para la utilización en la industria del bosque no resulta nada viable de un ángulo de conservación de un procedimiento biológico, biodiversidad y de la genética (Kirklund, 1990).

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre la variación climática, celebrada en 1992 durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro, Brasil, para "estabilizar las concentraciones superficiales de gases de efecto invernadero a un nivel tal que impida interferencias antropogénicas peligrosas con el clima" (Estrada, 2014).

Bernoux et al. (1998), menciona que los cultivos agrícolas comúnmente se dan los decrecimientos exponenciales de carbono, de la misma forma, se determina que entre un 65% y 70% el carbono se puede encontrar en la superficie en 10 cm de la tierra, similarmente Muñoz (2006), menciona que lo profundo del suelo influye en el contenido de carbono, se tiene la disminución es en forma exponencial.

2.1.4.1. Biomasa

Se conoce como la masa total presente en los seres vivos que se encuentran formando parte de un sistema en un tiempo programado y eventualmente se representa en t.ha⁻¹ de materia deshidratada por unidad de suelo, además de tratarse como un concepto útil que proporciona una orientación en las riquezas en materia orgánica dado en un tiempo preciso del ecosistema (Iparraguirre, 2000).

2.1.4.2. Vegetales como fijadores de carbono

La respuesta de secuestro de carbono que se produce en el estroma, NADPH y ATP, que se producen en la respuesta de secuestro de energía, se utilizan para minimizar el compuesto de tres carbonos, fosfato de gliceraldehído. En este proceso, el carbono se fija mediante fosfato de gliceraldehído y se distingue como un proceso de tres carbonos o C3. De manera similar, cuando se fija el carbono, se produce el procedimiento del ciclo de Calvin, en el que la enzima ribulosabifosfato (RuBP) carboxilasa combina una molécula de dióxido de carbono con el material de partida, un azúcar de cinco carbonos llamado ribulosabifosfato. En cambio, en todo proceso entra una molécula de dióxido de carbono. La cantidad necesaria para generar dos moléculas de gliceraldehído-fosfato, que equivale a un azúcar de seis carbonos, es de seis vueltas, se combinan con seis moléculas de RuBP, un compuesto de cinco carbonos, con seis moléculas de dióxido de carbono, produciendo seis moléculas de un intermediario inestable que luego se escinde en doce moléculas de fosfoglicerato, un compuesto de tres carbonos. Finalmente, se reduce a doce moléculas de fosfato de gliceraldehído. Diez de estas moléculas de tres carbonos se combinan para producir seis moléculas de cinco carbonos de RuBP. Las dos moléculas "extra" de fosfato de gliceraldehído representan la ganancia neta del ciclo de Calvin (Salisbury, 1999).

2.1.4.3. Hojarasca como fijadores de carbono

Fassbender (1993) afirma que, la flora sin vida que se sitúa sobre la superficie se forma por residuos de la planta. De la misma forma, cuando se deposita en la superficie del suelo se forma hojarasca, además empiezan procesos para descomponer la materia por medio de mineralización y la humificación.

2.1.5. Valor económico de la captura de carbono

Se tiene como valoración económica del bosque como parte de un servicio para el ambiente con el secuestro de GEI, el cual suele depender en forma directa de su posibilidad de almacenar una parte de cantidad de dióxido de carbono mediante el año, asimismo es fundamental tener en cuenta cual es la característica de capturar dióxido de carbono con la finalidad de tener como resultado una valoración precisa (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, Roma [FAO], 1998).

Chambi (2001) menciona que una investigación de valoración económica sobre el almacenamiento de carbono por medio de una simulación que se aplicó a una zona de vegetación en Madre de Dios, se tiene que se hace cargo el valor económico del almacenamiento de carbono que se obtiene en la evaluación de la biomasa, asimismo se tiene

conocimiento de los elementos que influyen en la regeneración, reforestación y deforestación de bosques y se considera precios US\$ 20.00, 10.00 y 3.00/t C (FAO, 1998).

Santana (2005) afirma al analizar económicamente un procesado mediante información recolectada por las actividades que realiza el agricultor, para un factor socio-económico, uso de tierra actual, el precio de producir productos de SAF y bosque secundario e insumas y los efectos del medio ambiente del procedimiento de la misma forma asuntos suplementarios, elementos técnicos, potencialidades, mercado, económicos y comercio, precio de mano de obra familiar, precio, apoyo financiero, comercialización, transporte y apoyo financiero. Donde el valor económico es obtenido en el ingreso de cultivos, donde la información determina el presupuesto individual por ha de sistemas, por otro lado, se tiene la tasa de descuento usada de 14% anual por ser la tasa utilizada en el Perú. Se tiene como precio los resultados que se colocan en una tabla de precios para producir estos cultivos (costos de cultivo, costo especial, costos generales), que son comparadas con la producción de cultivo y precio con el objetivo de conseguir analizar económicamente al final los sistemas (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), Relación beneficio costo (R b/c) y análisis de sensibilidad. Asimismo, en cultivos el manejo del suelo es seleccionado como Sistema agroforestal cacao + laurel y bosque secundario

Se acepta el precio de producción en incremento del 10% de la TIR. De la misma forma se menciona que con el análisis se establece con ecuaciones para imitar un cambio "C" con precios y "D" en los ingresos, de la TIR.

2.2. Estado del arte

La capacidad del bosque para almacenar carbono dentro de la biomasa por hectárea se representa en función a su variedad en condiciones de edafoclimáticas. Se tiene conocimiento que el porcentaje de biomasa seca es de 45%. La acumulación de carbono capturado del bosque es liberada para toda superficie de la tierra. Para los ecosistemas de los bosques en el trópico la biomasa seca alcanza un rango de 150 y 382 t C ha⁻¹, de tal forma, el almacenamiento de carbono oscila entre 67.5 a 171 t C ha⁻¹ (Alegre et al., 2002).

Por otro lado, Lapeyre et al. (2009), calcularon el C almacenado en un SAF de cacao + especies forestales de 15 años donde se determinó un 47.2 t C ha⁻¹ que corresponde la biomasa herbácea y 5.07 t C ha⁻¹ de los cuales, 0.028 t C ha⁻¹ a mantillo.

De la misma forma. Díaz et al. (2016) en su investigación sobre la captura de carbono en cinco cultivos. La siguiente investigación se calculó el carbono capturado en la biomasa aérea y en el suelo. Para los resultados en el total del carbono de bosque primario fue de 398.78 t ha⁻¹ y bosque secundario fue de 396.78 t ha⁻¹, por otro lado, el cultivo de pijuayo +

cacao (con 7 años) y café mostraron rangos de 22.68, 17.46 y 17.88 t ha⁻¹; respectivamente. Para el carbono en la superficie del bosque secundario mostro un valor de 113.94 t ha⁻¹, el bosque primario mostro el 81%; y los cultivos de pijuayo + cacao + café mostraron un 43.4%, 48.7%, tal valor se asemeja a 54.69 t ha⁻¹ y 49.81% respectivamente, respecto al bosque primario.

Alegre *et al* (2016) investigaron sobre el carbono capturado en SAF de cacao y a la vez un análisis socioeconómico, la investigación comprendió 6 SAF de cacao con madera, frutales de edades diferentes (5, 12 y 20 años). La metodología consistió en la evaluación de parcelas que están localizadas en las provincias de San Martín, donde se evaluaron 7 plantas de diferentes diámetros y alturas. Para los resultados del carbono almacenado promedio fue de 131.18 t C ha⁻¹ donde se encuentra el carbono para la biomasa aérea 65.61 t C ha⁻¹ y el carbono para el suelo fue 65.57 t C ha⁻¹

Mondragón (2019) menciona en su investigación sobre el carbono total almacenado en cacao, en una plantación de 6 años donde se trabajó con la metodología de (ICRAF, 2009). En los resultados el carbono en la biomasa fue de 22.68 t/ha, en la necromasa fue 13.6 t/ha, en el suelo fue 17.73 t/ha, con un total de carbono acumulado de 54.02 t/ha.

Ortiz *et al.* (2008) mencionan en su estudio sobre sistemas de laurel-cacao de 25 años donde almaceno entre 43 y 62 t C ha⁻¹; el cultivo laurel almaceno de 81-86% total de carbono en la biomasa, de tal forma en los resultados existe similitud con el estudio en Talamanca, donde determinaron de 43 a 63 t C ha⁻¹ en cultivo de cacao (2005).

Arce *et al.* (2008) realizaron una investigación de la existencia de carbono en charrales y SAF de cacao + banano, Costa Rica. El sistema agroforestal de cacao almaceno mayor cantidad de carbono en relación del resto, excediendo de 53 y 56 % a los sistemas agroforestales con banano y charrales (36.5, 24.0 y 23.5 t C ha⁻¹, respectivamente). Estos resultados se reflejan fundamentalmente los Sistemas agroforestales con cacao mostraron una gran densidad de plantas con d.a.p. ≥ 10 cm. En promedio, las parcelas del valle acumularon de 30% más de biomasa y carbono en las Lomas. El almacenamiento de carbono en todos los usos de superficie demostró ser homogéneo en todas las comunidades (20-40 t C ha⁻¹), excepto en San Vicente, con casi 50 t C ha⁻¹, motivo por el cual en esta sociedad la gran cantidad de las plantaciones de cacaotal son de edad antiguo y presentan grandes árboles.

Fonseca *et al.* (2008) investigaron sobre la captura de carbono en plantaciones de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* y bosques. Como resultado se mostró a los bosques secundarios con un total de 154.9 t C ha⁻¹ a los 18 años de edad; por otro lado, para la biomasa total de los bosques secundarios fue de 28.9 t ha⁻¹ a los 5 años y 67.9 t ha⁻¹ a los 18 años, de tal manera esto significa una fijación promedio de 3.0 t C ha⁻¹ año⁻¹.

Andrade et al. (2013) menciona en su investigación sobre almacenamiento del carbono en cacao, en plantaciones con 18 y 35 años, la investigación se realizó en 3 fases: colecta de información, secado de muestras, análisis e interpretación de información. Para los resultados de biomasa arriba del suelo almacenada de los cacaos fue de 28.8 t C/ha⁻¹ para la plantación de 18 años y de 33.6 t C/ha⁻¹ para la plantación de 35 años, por otro lado, con una tasa de fijación promedio de 1.0 t C/ha⁻¹ para los 18 años y 1.1 t C/ha⁻¹ para los 35 años; con carbono en la necromasa que aumento a 4.4 t C/ha⁻¹.

Zavala et al. (2019) mencionan en su estudio del almacenamiento de carbono en SAF de caucho + cacao en Tingo María, con el fin de evaluar la captura de carbono y el servicio ambiental como prevención para el cambio climático. La metodología de este trabajo se realizó en las siguientes etapas: fase en campo y una fase de laboratorio; dentro de la fase de laboratorio se determinó el almacenamiento de carbono y biomasa total, biomasa de hojarasca y biomasa arbustiva. Para los resultados de biomasa aérea total en el sistema agroforestal se mostró un valor de 281.43 t.ha⁻¹, con un 198.10 t.ha⁻¹ para biomasa en árboles vivos, con un 61.39 t.ha⁻¹ para biomasa de cacao, con 13.49 t.ha⁻¹ para la biomasa de hojarasca y con 8.45 t.ha⁻¹ para biomasa arbustiva. Para el almacenamiento de carbono en el sistema agroforestal fue de 0.405 t C.ha⁻¹ en los arbustivos, 1.98 t C.ha⁻¹ en la hojarasca, con 10.42 t C.ha⁻¹ en las plantas de cacao, con 35.17 t C.ha⁻¹ en el componente arbóreo y en el suelo con 158.24 t C.ha⁻¹; con un carbono total almacenado en el sistema de 206.21 t C.ha⁻¹.

Hidalgo (2011) en su investigación sobre carbono en sistemas agroforestales en Tingo María, donde se determinó la captura de carbono en los SAF de cultivos de cacaotales de la UNAS. Para la metodología se trabajó con ICRAF, posteriormente se realizó un estudio evaluando diámetros y alturas en las parcelas al azar después de realizar una muestra aleatoria simple, además se evaluaron los arbustos, hojarascas, raíces y suelo. Para los resultados de carbono en la biomasa vegetal fue de 94.383 t C/ha, en el suelo de 123.181 t C/ha y con un total de 217.564 t C/ha en el sistema agroforestal; por otro lado, con un secuestro de carbono de 11'497 555.84 t, con US \$ 150'847 932.68 de valor económico por una utilidad ambiental de almacenamiento de carbono.

Trelles (2012) menciona en su investigación sobre el almacenamiento de carbono bajo el suelo en cacao, la finalidad de evaluar la captura de C en la superficie del sistema de cacao en edades de 1, 3 y 5 años. La metodología consta de la evaluación de plantas de cacao a los 30cm del suelo, posteriormente se evaluó las raíces y finalmente se realizó un muestreo de suelo. Para los resultados de biomasa almacenada radicular en el cultivo de cacao de 1 año es de 0.51 t/ha, de 3 años con 1.23 t/ha y de 5 años con 2.85 t/ha; de tal forma el carbono

almacenado radicular con mayor valor fue en el cultivo de 5 años de edad con 1.33 t C/ha, además se demostró que la capa de suelo (0 – 5 cm) presenta mayor carbono en el suelo.

Mondragón (2019) menciona en su investigación sobre el carbono total almacenado en cacao, en una plantación de 6 años donde se trabajó con la metodología de (ICRAF, 2009). En los resultados el carbono en la biomasa fue de 22.68 t/ha, en la necromasa fue 13.6 t/ha, en el suelo fue 17.73 t/ha, con un total de carbono acumulado de 54.02 t/ha.

Sifuentes (2009) menciona a los sistemas agroforestales con generadores de productividad y la valoración económica de las UAF esto se debe a una variedad de la producción agrícola y forestal en las mismas. La sostenibilidad ambiental en estos sistemas agroforestales se puede lograr con un apoyo técnico; por otro lado, se tiene una limitación para lograr tener un sistema sostenible ambiental en estos predios y es la falta de educación en temas relacionados al medio ambiente, entre ellos reforestar, implementar y manejar un SAF y SSP, manejar los desechos orgánicos, conservar el agua, manejo de pesticidas, agricultura orgánica. En José Crespo y Castillo el equilibrio ambiental de los SAF en agricultores se da en un nivel medio, esto debido al buen manejo de capacitaciones en servicios ambientales.

Zavala y Vega (2021) en su investigación sobre carbono en distintas edades en el cacao dentro de sistemas agroforestales, la captura y almacenamiento; para la ejecución se realizó una identificación de parcelas con cacao menor a 8 años asociado con guaba; de 8 a 16 años asociado con bolaina, cítricos, guaba y capirona; mayores de 16 años asociado con tornillo, guaba y capirona. Para los resultados con mejor captura de carbono total fue el SAF mayor a 16 años con 344.24 t C/ha, en menor almacenamiento se encuentra el SAF de 8 a 16 años con 178.61 t C/ha y el SAF de inferior de 8 años con 154.91 t C/ha. Para el mejor carbono capturado en la biomasa fue en SAF superior a 16 años con 285.16 t C/ha, luego se encuentra el SAF de 8 a 16 años con 116.23 t C/ha y el SAF inferior a 8 años con 88.75 t C/ha. Para la valoración económica según VAN, TIR y RB/C fue mejor para el SAF inferior de 8 años con S/ 2627.66, 23.85 % y 1.40 respectivamente, el siguiente fue el SAF superior a 16 años con S/ 1331.38, 21.64% y 1.21 respectivamente y el SAF de 8 a 16 años con S/ 1273.90, 19.55%, 1.18 respectivamente.

Gonzales (2018) en su investigación en SAF de Café de 4 y 7 años, evaluando el carbono almacenado en diferentes pisos altitudinales. El SAF de 4 años con cultivo de café variedad caturra asociado con guaba, y el sistema agroforestal con 7 años con café variedad caturra asociado con guaba; de estas parcelas se evaluó la biomasa de guaba, café, hojarasca, herbácea y raíces, posteriormente determinar la rentabilidad económica con los valores de Valor Actual Neto VAN, Tasa Interna de Retorno TIR y Beneficio/Costo B/C. Para los resultados en

el carbono capturado en las parcelas de 4 y 7 años fue $98.08 \text{ t C ha}^{-1}$ y $84.59 \text{ t C ha}^{-1}$; para la valoración económica el VAN fue S/ 3283.84, el TIR 25.22% y B/C 1.78.

Bringas (2010) en su estudio sobre el valor del almacenamiento de carbono en un SAF de cacao en comparación con un bosque secundario de 3 edades, con 2 SAF: un sistema de cultivo de cacaotal injerto asociado a un SAF (laurel) de 9, 10 y 11 años; y un sistema de cultivo de cacao asociado con bosque secundario en edades de 9, 10 y 11 años. Se usó la metodología para determinar la captura de carbono fue la de Arévalo et al., (2002); por otro lado, la biomasa de las plantas se determinó por el diámetro a 30 cm del suelo y en el caso de la captura de carbono en la superficie, un análisis de suelos. Para los resultados en la captura de carbono total en el SAF de cacao asociado con laurel fue de 114.51 t ha^{-1} para 9 años, 152.34 t ha^{-1} para 11 años; y para el sistema agroforestal de cacao asociado con bosque secundario fue de 110.56 t ha^{-1} para 9 años, 198.25 t ha^{-1} para 11 años. Para el valor económico el sistema agroforestal de cacao asociado con laurel fue superior con S/ 1077.69 y el sistema agroforestal de cacao asociado con bosque secundarios fue inferior con S/ 330.91.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación política y localización geográfica

La investigación se realizó en dos sistemas de producción del cultivo de cacao, un total de 10 hectáreas de las cuales 04 hectáreas son de monocultivo y 06 hectáreas son policultivo) que fueron instalados el año 2015, para el caso del sistema policultivo está asociado con la especie forestal *Guazuma crinita* C.Martius, ubicado en el centro poblado San Juan Bautista, caserío Bajo Shiringal, Distrito Irázola, situado en la zona sureste de la Provincia de Padre Abad, Departamento de Ucayali.



Figura 1. Ubicación del trabajo de investigación

Tabla 1. Coordenadas UTM (Datum WGS 84, UTM/UPS) de los sistemas de plantación

Sistema de plantación	Has	Cultivo	Especies forestales	Año de instalación	E	N	Altitud
Monocultivo	4	Cacao	-	2015	471750	9023304	240
Policultivo	6	Cacao	Bolaina	2015	471860	9023529	240

3.1.2. Aspectos ecológicos

La investigación del área según Holdridge (1982), pertenece a la zona de vida de bosque pluvial, Premontano Tropical, Transicional a bosque muy húmedo-Tropical [(bp-PT) / (bmh-T)].

3.1.3. Condiciones climáticas

La temperatura media es de 26.2°C y una precipitación media anual de 338.65 mm/mes. (Estación climatológica de San Alejandro).

3.2. Equipos y materiales

3.2.1. Equipos

Balanza analítica, estufa, cámara fotográfica Samsung S760 y GPS Garmin MAP 60 CSx.

3.2.2. Materiales

Machetes, cinta métrica, rafia, estacas, lapiceros, libreta de campo, 3 plumones indelebles, costales de polietileno de 50 kg, 100 bolsas de plástico de polipropileno de 1 kg, 2 cientos de hoja periódico y 150 bolsas de plástico de 18 x 26, marco de madera de 1 m x 1 m, y de 0.5 m x 0.5 m.

3.3. Metodología

3.3.1. Selección y delimitación del área en estudio

Se seleccionaron 2 cultivos cacaotales injerto (CCN-51) en un SAF (Bolaina,) y el área de monocultivo sin especies forestales, para la evaluación de almacenamiento de carbono, con una edad de 06 años para dichos sistemas.

La siguiente metodología consiste en cada sistema, se instalaron parcelas de 1 ha cada una y se delimitaron, se instaló 3 transectos (A, B, y C) dentro de cada parcela, con medidas de 6 x 100 m y 4 x 25 m para cada transecto, para determinar la biomasa aérea.

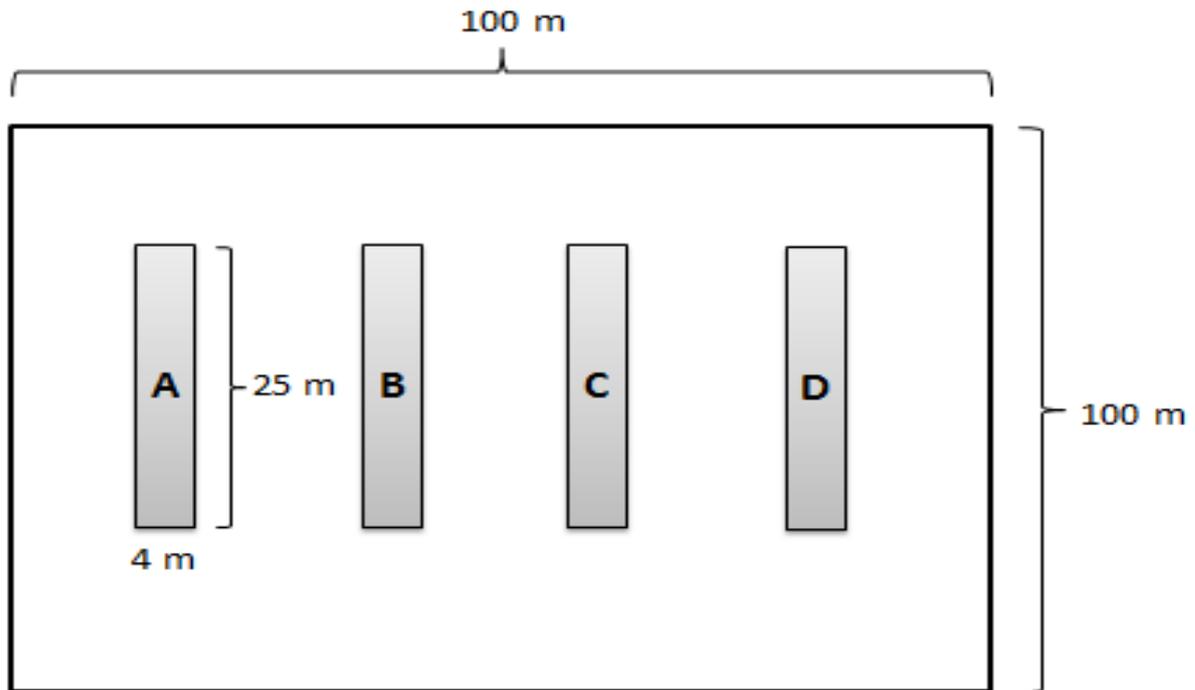


Figura 2. Descripción de parcelas con 4 transectos internos.

3.3.2. Evaluación del carbono de la biomasa vegetal por el método alométrico

Para evaluar la biomasa vegetal se recomendó la metodología sugerida por el Centro Internacional de Investigación en Agroforestería (Arévalo et al., 2002).

a. Biomasa arbórea viva

En la evaluación de la biomasa de las partes del árbol con diámetros superiores de 2.5 cm. Donde proyectaron áreas de 4 m x 25m, y se llevó a cabo la identificación de las especies y la toma de sus datos en diámetro y altura del total de árboles con (D.A.P.) de 2.5 cm hasta 30 cm, evaluando el diámetro (D.A.P.), donde el diámetro basal, para el caso del cacao, se tomará a 30 cm desde el suelo (Arévalo et al., 2002).

b. Biomasa arbustiva y herbácea

Para la herbácea (Hbh) y biomasa arbustiva (BAb), estuvo en composición por la biomasa en el suelo (epigea) de arbustos inferiores de 2.5 cm de diámetro, gramíneas y otras hierbas, asimismo se tomó una colección de muestras arbustivas y herbáceas que se encuentran formados por arbustos menores de 2.5 cm de diámetro, gramíneas y otras hierbas. La colección muestral se colectó de forma directa con dos cuadrantes de 1 m x 1 m, en distribución aleatorio dentro de los transectos de 4 m x 25 m y 6 m x 100 m, posteriormente se eliminó la totalidad de la boscosidad del suelo, luego se procedió a pesar la toda la muestra y

por consiguiente se llevó la muestra a un papel con forma de bolsa y se llevó la estufa de aire caliente a 75°C durante 24 horas hasta que se obtenga un peso seco constante.

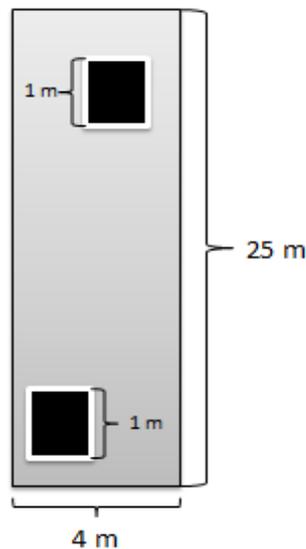


Figura 3. Diseño de las zonas para evaluar la biomasa arbórea viva, biomasa arbustiva y herbácea.

c. Biomasa seca (hojarasca)

Para determinar biomasa seca se calculó la parte superior compuesta por hojarasca y otros elementos no vivos (ramillas, ramas), usando cuadros de madera de 0.5 m x 0.5 m que se colocaron en los marcos de madera de 1 m a cada lado (Figura 4), posteriormente se introdujo la hojarasca en los sobres de papel, registrando su peso fresco total por 0.25 m². Finalmente, se tomó una submuestra y se tomó nota de su peso y se procedió a secar en la estufa a temperatura constante de aire caliente a 75°C, hasta obtener peso seco constante.

19134230511073

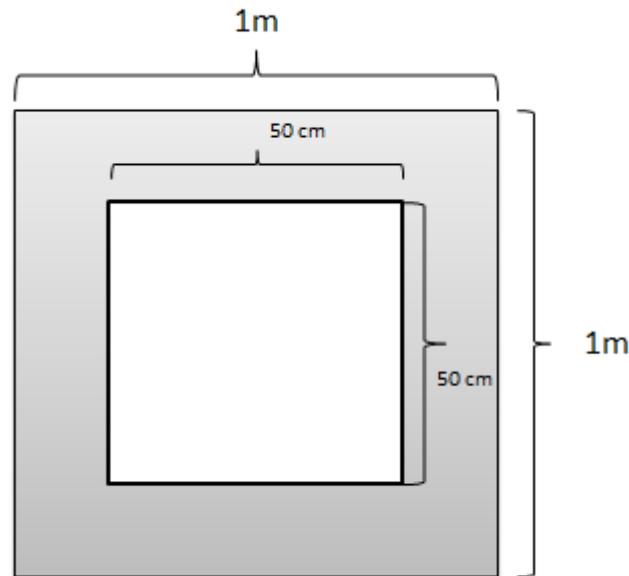


Figura 4. Cuadrantes interiores de 0.5 m a cada lado para hojarasca y cuadrantes de 1 m a cada lado para material herbáceo y arbustivo.

d. Biomasa de árboles muertos en pie

Para los árboles no vivos en el área de 4 m x 25m y 6 m x 100m de acuerdo con el d.a.p. de los árboles, se determinó el cálculo de la biomasa arbórea viva.

3.4. Cálculos

3.4.1. Cálculos de la biomasa vegetal

Las ecuaciones que se emplearon para cuantificar el carbono aéreo y suelo serán las presentadas por el ICRAF (Arévalo et al., 2002).

a. Biomasa del cacao

Para el sistema de cacaotal se registró el diámetro a una altura de 30 cm desde la base de la superficie, se evaluó la biomasa se tomando la formula planteada por Larrea (2007) que es la siguiente expresión $Biomasa = 0.4849 \text{ Diámetro}^{1.42}$, ya que el cultivo tiene distinto comportamiento a las especies arbóreas.

b. Biomasa arbórea viva (kg árbol-1)

$$BA = 0.1184D.A.P.^{2.53}$$

Dónde:

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

0.1184 = Constante

D.A.P. = Diámetro a la altura del pecho (1.30 cm)

2.53 = Constante

c. Biomasa arbórea viva (t ha⁻¹)

Se calculará en cada parcela la biomasa, adicionando las biomásas de todos los árboles medidos y registrados (BTAV) en las parcelas de 4 m x 25 m y 6m x 100m (según el D.A.P.).

$$\text{BAVT (kg.)} = \text{BA}_1 + \text{BA}_2 + \dots + \text{BA}_n$$

Dónde:

BAVT = Biomasa de árboles vivos en kg

BA = Biomasa de árboles

Para los transectos de 4 m x 25 m

$$\text{BAVT (t ha}^{-1}\text{)} = ((\text{BAVT (kg)} / 1000 \text{ kg}) * 10000 \text{ m}^2) / 100\text{m}^2$$

$$\text{BAVT (t ha}^{-1}\text{)} = \text{BTAV} * 0.1$$

Dónde:

BAVT = Biomasa de árboles vivos en t ha⁻¹

BTVA = Biomasa total de la parcela

0.1 = Factor de conversión de la parcela 4 x 25m

d. Biomasa arbustiva / herbácea (t ha⁻¹)

$$\text{BAH (t ha}^{-1}\text{)} = [(\text{PSM} / \text{PFM}) * \text{PFT}] * 0.01$$

Dónde:

BAH = Biomasa arbustiva 1 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 1m

e. Biomasa de la hojarasca (t ha⁻¹)

$$\text{Bh (t ha}^{-1}\text{)} = [(\text{PSM} / \text{PFM}) * \text{PFT}] * 0.04$$

Dónde:

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

3.4.2. Cálculos de la biomasa vegetal total (t ha⁻¹)

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

Dónde:

BVT = Biomasa vegetal total

BA VT = Biomasa total de árboles vivos

BTAMP = Biomasa total de árboles muertos en pie

BAH = Biomasa arbustiva y herbácea

Bh = Biomasa de la hojarasca

3.4.3. Cálculo del carbono en la biomasa vegetal total (t ha⁻¹)

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

Dónde:

CBV = Carbono en la biomasa vegetal

BVf = Biomasa vegetal total

0.45 = Constante {proporción de carbono, asumido por convención}

3.5. Variable

3.5.1. Dependiente

Carbono capturado en SAF con cacao (*Theobroma cacao*) y asociados con bolaina blanca de 6 años de edad.

3.5.2. Independientes

- Variables económicas, manejo.
- Nivel de ingresos, uso de la tierra y mano de obra.

3.5.3. Características para evaluar

- Biomasa arbórea viva del cacao y forestal
- Biomasa arbustiva y herbácea.
- Biomasa seca (hojarasca).

3.6. Procedimientos para determinar el valor económico

3.6.1. Valor Actual Neto (VAN)

Se calculó el Valor Actual Neto (VAN), con la fórmula mostrada por (Santana, 2005):

$$VAN = -I + \sum_{j=0}^n \frac{(R_j - C_j)}{(1+i)^j}$$

Dónde:

I = Inversión realizada en el periodo cero.

R_j = Ingresos generados por la inversión en el periodo j.

C_j = Costos operacionales en el periodo j.

- J = Período.
 n = Vida útil del proyecto.
 I = Tasa de oportunidad (Tasa de interés).

3.6.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Se calculó la Tasa Interna de Retorno (TIR), se utilizó la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{j=0}^n \frac{(R_j - C_j)}{(1+r)^j} - I$$

Dónde:

“r” representa la Tasa Interna de Retorno (TIR), tasa de interés “r” es una tasa cuyo valor hace que el VAN = 0.

3.6.3. Beneficio - costo (B/C)

Se calculó el Beneficio - costo (B/C), con la ecuación:

$$R(B/C) = \frac{VPR_j - VPC_j}{VPI_j} > 1$$

Dónde:

- VPR_j = Sumatoria del valor presente de los ingresos para cada año U= 0, 1, 2, 3,...n) del período actualizado.
 VPC_j = Sumatoria del valor presente de los costos totales incurridos en cada año del período de análisis.
 VPI_j = Sumatoria del valor presente del capital invertido en cada año del período de análisis considerado.

3.7. Diseño de la investigación

El diseño será no experimental, de corte transversal, ya que no se manipulará variables y la evaluación será en un momento determinado; asimismo, se hará uso de medidas de resumen (estadísticos descriptivos) con promedios, mínimo, máximo, coeficiente de variación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tasa de fijación de carbono en el monocultivo

El carbono de la biomasa en el monocultivo de cacao con 8 años de edad en la zona de Aguaytía en cuatro transectos tuvo un promedio de 25.59 t ha⁻¹ para la biomasa arbórea del cacao, con 2.03 t ha⁻¹ para biomasa de hojarasca, con 0.31 t ha⁻¹ para la biomasa arbórea, asimismo con una biomasa vegetal total promedio de 27.93 t ha⁻¹, y un carbono en la biomasa vegetal total promedio de 12.57 t ha⁻¹.

Tabla 2. Carbono de la biomasa vegetal en sistema de producción de monocultivo

Transectos	Carbono de la biomasa vegetal				
	B	BH	BAH	BVT	CBVT
A	22.69	1.91	0.30	24.90	11.21
B	28.98	1.86	0.29	31.13	14.01
C	28.78	2.64	0.27	31.69	14.26
D	21.92	1.72	0.37	24.01	10.80
Promedio	25.59	2.03	0.31	27.93	12.57
Máximo	28.98	2.64	0.37	31.69	14.26
Mínimo	21.92	1.72	0.27	24.01	10.8
CV (%)	14.89	20.32	14.14	14.46	14.46

B: Biomasa arbórea del cacao, BH: Biomasa de hojarasca, BAH: Biomasa arbórea, BVT: Biomasa vegetal total, CBVT: Carbono en la biomasa vegetal total., Tasa de fijación de carbono: 157 t/ha

En tal sentido, para la biomasa arbórea del cacao con mayor valor se encuentra el transecto B con 28.98 t ha⁻¹ y con un valor mínimo se encuentra el transecto D con 21.92 t ha⁻¹, en el caso de la biomasa de hojarasca se tiene con mayor valor el transecto C con 2.64 t ha⁻¹ y en menor valor el transecto D con 1.72 t ha⁻¹, para la biomasa arbórea el mayor valor fue del transecto D con 0.37 t ha⁻¹ y en menor valor el transecto C con 0.27 t ha⁻¹, para la biomasa vegetal total el transecto con mayor valor fue el C con 31.69 t ha⁻¹ y en menor valor el transecto D con 24.01 t ha⁻¹, según lo mencionado por Andrade et al. (2013) mencionan en su investigación sobre almacenamiento del carbono en cacao, en plantaciones con 18 y 35 años. Para los resultados de biomasa arriba del suelo y necromasa almacenada del cacao fue de 28.8 t C/ha⁻¹ para la plantación de 18 años y de 33.6 t C/ha⁻¹ para la plantación de 35 años, los resultados de dicho autor son inferiores a los obtenidos en la investigación ya que en

comparación de edades los cultivos de cacao de esta investigación es de 8 años que alcanzaron una biomasa vegetal total máxima de $31.69 \text{ t C/ha}^{-1}$ siendo este valor superior al de los cultivos de cacao que presenta el autor con edades de 18 y 35 años, con 28.8 t C/ha^{-1} y 33.6 t C/ha^{-1} respectivamente; esta diferencias de biomasa vegetal se pueden debido a las condiciones del suelo que existe en los cultivos de cacao, y el clima que presenta la zona; además del manejo silvicultural empleados en dichas áreas; asimismo Mondragón (2019) menciona en su investigación sobre el carbono total almacenado en cacao, en una plantación de 6 años donde los resultados de la biomasa de cacao fue de 22.68 t/ha , resultados similares y que concuerdan con los rangos obtenidos tomando en cuenta la diferencia de edad que resulta 2 años en los cultivos, factor que no influyen en la biomasa obtenida.

Por otro lado, para el carbono en la biomasa vegetal total con el mayor valor fue el transecto C con 14.26 t ha^{-1} y con menor valor el transecto D con 10.80 t ha^{-1} , donde se concluye la tasa de fijación promedio para el monocultivo de cacao de 8 años es de 1.57 t C/ha^{-1} , según Andrade et al. (2013) en su investigación obtuvo una tasa de fijación de carbono promedio de 1.0 t C/ha^{-1} para los 18 años y 1.1 t C/ha^{-1} para los 35 años, la cual no concuerda de acuerdo a nuestros resultados siendo inferior a pesar de presentar mayor edad de cultivos, el almacenamiento de carbono puede verse influencia debido al tipo de variedad de cultivo, en este caso el tipo de variedad de cacao, entre sus características de sitio, suelo, componentes, factores climático.

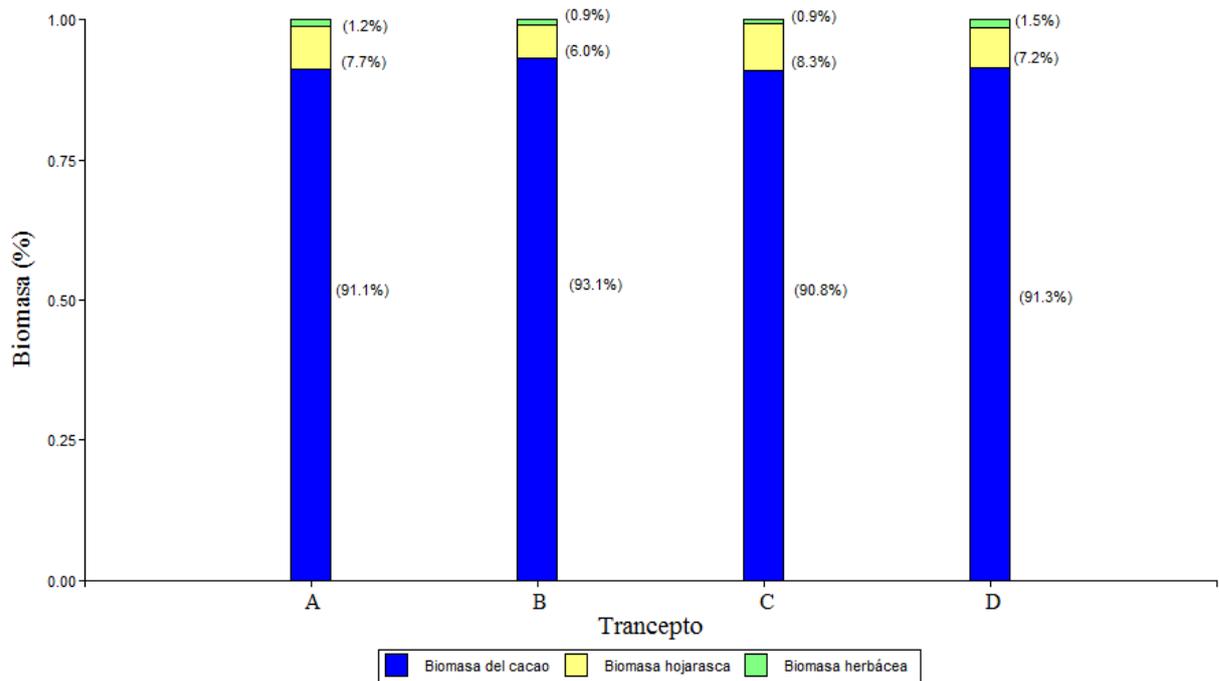


Figura 5. Biomasa (%) del sistema de producción del monocultivo

En la **(Figura 5)** en el transecto A se observa la biomasa de cacao 91.1%, en la biomasa de hojarasca con 7.7% y una biomasa herbácea de 1.2%, para el transecto B se observa una biomasa de cacao de 93.1%, en la biomasa de hojarasca con 6% y una biomasa herbácea de 0.9%, para el transecto C se observa una biomasa de cacao de 90.8%, una biomasa de hojarasca de 8.3% y una biomasa herbácea de 0.9%, para el transecto D muestra una biomasa de cacao de 91.3%, una biomasa de hojarasca de 7.2% y una biomasa herbácea de 1.5%.

4.2. Tasa de fijación en el policultivo

El carbono de la biomasa en el policultivo de cacao asociado con bolaina con 8 años en la zona de Aguaytía en cuatro transectos tuvo un promedio de 48.72 t ha⁻¹ para la biomasa arbórea del cacao, con 13.17 t ha⁻¹ para biomasa arbórea de la bolaina, con 1.13 t ha⁻¹ para biomasa de hojarasca, con 0.33 t ha⁻¹ para la biomasa arbórea, asimismo con una biomasa vegetal total promedio de 63.35 t ha⁻¹, y un carbono en la biomasa vegetal total promedio de 28.51 t ha⁻¹.

Tabla 3. Carbono de la biomasa vegetal en sistema de producción del cacao con bolaina

Transecto	Carbono de la biomasa vegetal					
	B	BA	BH	BAH	BVT	CBVT
A	15.22	32.36	1.01	0.38	48.97	22.04
B	9.11	56.17	1.07	0.28	66.64	29.99
C	15.06	49.26	1.17	0.24	65.74	29.58
D	13.28	57.09	1.26	0.41	72.04	32.42
Promedio	13.17	48.72	1.13	0.33	63.35	28.51
Máximo	15.22	57.09	1.26	0.41	72.04	32.42
Mínimo	9.11	32.36	1.01	0.24	48.97	22.04
CV (%)	21.6	23.51	9.78	24.6	15.76	15.75

B: Biomasa arbórea del cacao, BA: Biomasa arbórea de la bolaina, BH: Biomasa de hojarasca, BAH: Biomasa arbórea, BVT: Biomasa vegetal total, CBVT: Carbono en la biomasa vegetal total, Tasa de fijación de carbono: 3.56 t/ha

En tal sentido, para la biomasa arbórea del cacao con mayor valor se encuentra el transecto A con 15.22 t ha⁻¹ y con un valor mínimo se encuentra el transecto B con 9.11 t ha⁻¹, para el caso de la biomasa arbórea de la bolaina con mayor valor se encuentra el transecto D con 57.09 t ha⁻¹ y con menor valor el transecto A con 32.36 t ha⁻¹, para la biomasa de hojarasca se tiene con mayor valor el transecto D con 1.26 t ha⁻¹ y en menor valor el transecto A con 1.01 t ha⁻¹, para la biomasa arbórea el mayor valor fue del transecto D con 0.41 t ha⁻¹ y en menor valor el transecto C con 0.24 t ha⁻¹, para la biomasa vegetal total el transecto con mayor valor fue el D con 72.04 t ha⁻¹ y en menor valor el transecto A con 48.97 t ha⁻¹, finalmente en el carbono en la biomasa vegetal total con el mayor valor fue el transecto D con 32.42 t ha⁻¹ y con menor valor el transecto A con 22.04 t ha⁻¹, asimismo Ortiz et al. (2008) investigo en un sistema SAF laurel-cacao de 25 años donde capturaron de 43 y 62 t C ha⁻¹; el laurel capturo de 80-85% del carbono total en la biomasa, los resultados se diferencian influenciados por la edad del cultivo de cacao con bolaina de 8 años que mostro un carbono de biomasa total vegetal máximo de 32.42 t C ha⁻¹.

Del mismo modo Zavala et al. (2019) en su investigación sobre la captura de carbono en SAF de caucho (más de 60 años) y cacao (8-16 años) en Tingo María, con el fin de evaluar el almacenamiento de C y la utilidad ambiental, para los resultados de biomasa aérea total en el sistema agroforestal se mostró un valor de 281.43 t.ha⁻¹, con un 198.10 t.ha⁻¹ para biomasa en árboles vivos, con un 61.39 t.ha⁻¹ para biomasa de cacao, con 13.49 t.ha⁻¹ para la

biomasa de hojarasca y con 8.45 t.ha^{-1} para biomasa arbustiva. Para el almacenamiento de carbono en el sistema agroforestal fue de $0.405 \text{ t C.ha}^{-1}$ en los arbustivos, 1.98 t C.ha^{-1} en la hojarasca, con $10.42 \text{ t C.ha}^{-1}$ en las plantas de cacao, con $35.17 \text{ t C.ha}^{-1}$ en el componente arbóreo y en el suelo con $158.24 \text{ t C.ha}^{-1}$; con un total de carbono capturado en el cultivo de $206.21 \text{ t C.ha}^{-1}$; en tal sentido el autor muestra resultados superiores debido a la edad de los cultivos que puede influenciar en gran magnitud en el almacenamiento de carbono para estos sistemas agroforestales, se concluye que el factor tiempo en el almacenamiento de carbono influye en el incremento de carbono, además de factores climáticos y edafológicos que pueden influenciar directamente a la reserva de carbono.

Asimismo Hidalgo (2011) en su investigación sobre carbono en sistemas agroforestales en Tingo María, donde se determinó la captura de carbono en los SAF de cultivo de cacao, para los resultados de carbono en la biomasa vegetal total fue de 94.383 t C/ha , en el suelo de 123.181 t C/ha , con respecto al resultado de dicho autor se tiene un valor superior al del sistema agroforestal de 8 años evaluado en la investigación, se concluye que el factor tiempo puede influenciar en la reserva de carbono, además del área de este ecosistema y la densidad de árboles por unidad; se sabe que el potencial de un sistema agroforestal para almacenar carbono varía en un rango de $12 \text{ y } 228 \text{ t C ha}^{-1}$, rango en el que nuestros valores se encuentran.

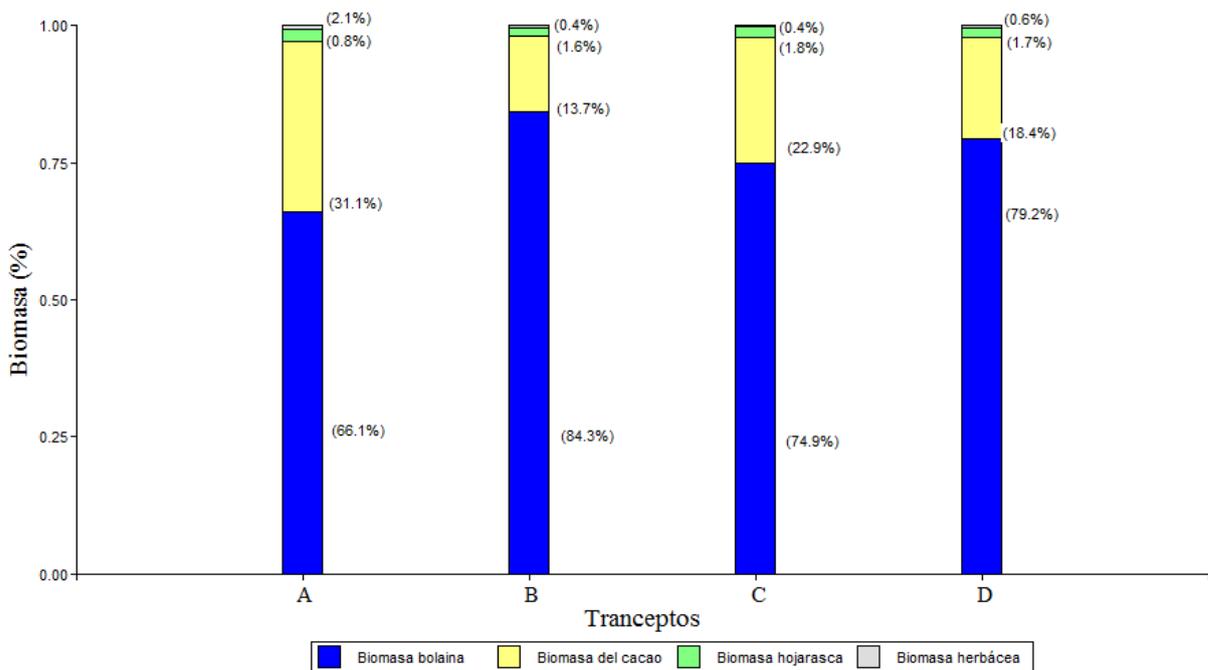


Figura 6. Biomasa (%) del sistema de producción de cacao con bolaina

En la **(Figura 6)** en el transecto A se observa la biomasa de bolaina es de 66.1%, en la biomasa de cacao con 31.1%, una biomasa hojarasca de 0.8% y de herbácea con 1.2%, para el transecto B se observa una biomasa de bolaina de 84.3%, en la biomasa de cacao de 13.7%, hojarasca con 1.6% y una biomasa herbácea de 0.4%, para el transecto C se observa una biomasa de bolaina de 74.9%, cacao con 22.9%, biomasa de hojarasca de 1.8% y herbácea de 0.44%. por último, en el transecto D una biomasa en la bolaina de 79.2%, el cacao con 18.4%, en la hojarasca con 1.7% y herbácea con 0.6%.

4.3. Valoración económica del sistema de producción monocultivo y policultivo

4.3.1. Valor Actual Neto (VAN)

Se determinó los indicadores de rentabilidad, donde el valor actual neto para el monocultivo de cacao alcanzó \$ 2,782.42 y en el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina alcanzó a \$11,168.16 en la zona de Aguaytía. Se concluye que el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina es más rentable que el monocultivo de cacao, ya que el ingreso de valor actual neto nos determina el valor de los pagos y cobros futuros en nuestra inversión.

Tabla 4. Indicador económico Valor Actual Neto para los sistemas de producción de cacao

Indicador	Monocultivo	SAF
VAN	\$2,782.42	\$11,168.16

4.3.2. Tasa Interna Retorno (TIR)

La TIR muestra la rentabilidad relativa que posee el proyecto, en tal sentido, se puede afirmar que una inversión es buena si la tasa interna de retorno es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, en la **(Tabla 5)** se muestra la TIR del sistema monocultivo de cacao con 32% y para el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina un 55%, se concluye que el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina ofrece una mejor inversión; por las consideraciones siguientes: a) Generación de empleo; la mayor parte de los pequeños productores está motivada por el establecimiento de cacao en SAF porque les permite generarse un empleo estable por largo plazo y con un riesgo climático menor al de otras actividades agrícolas; b) Aporte a la canasta básica rural, los pequeños productores seleccionan alternar los cultivos, principalmente con frutales porque les permite generar ingresos con la venta de la cosecha pero al mismo tiempo es una fuente importante en la alimentación familiar, a continuación los principales elementos; c) Forestales como fondo de jubilación, consideran la

cosecha de madera, semillas y servicios ambientales como un fondo de ahorro pagadero a ciertos años según la especie forestal a instalar (corto, mediano y largo plazo), que recuperarán en la edad de jubilación y les permitirá renovar las plantaciones y gozar de los beneficios económicos del mismo.

Tabla 5. Indicador económico Tasa Interna de Retorno para los sistemas de producción del cacao

Indicador	Monocultivo	SAF
TIR	32%	55%

4.3.3. Beneficio Costo (B/C)

La relación Beneficio- Costo determina la medida de rentabilidad del proyecto, esto significa que los costos de un producto no deben exceder a los beneficios que esta entrega; por otro lado, este B/C en el sistema monocultivo de cacao es de 2.18 y para el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina es de 3.17; estos resultados son decisivos para tomar una decisión respecto al proyecto, permitiendo definir la rentabilidad del proyecto.

Tabla 6. Indicador económico beneficio costo para los sistemas de producción de cacao

Indicador	Monocultivo	SAF
B/C	2.18	3.177

En tal sentido, para la valoración económica de los sistemas monocultivo se tiene un VAN de \$2,782.42, la TIR de 32% y un Beneficio Costo de 2.18; por otro lado, para el sistema agroforestal se tiene VAN de \$11,168.16, la TIR de 55% y un Beneficio Costo de 3.17, de acuerdo a estos resultados se concluye que un sistema agroforestal resulta ser un proyecto con mayor rentabilidad ya que por ser un cultivo múltiple permite el ingreso económicos en diferentes años del cultivo, asimismo Zavala y Vega (2021) en su investigación sobre carbono en distintas edades en el cacao dentro de SAF tuvo resultado para la valoración económica según VAN, TIR y RB/C fue mejor para el SAF menor de 8 años con S/ 2627.66, 23.85 % y 1.40 respectivamente, el siguiente fue el SAF mayor a 16 años con S/ 1331.38, 21.64% y 1.21 respectivamente y el SAF de 8 a 16 años con S/ 1273.90, 19.55%, 1.18 respectivamente, en estos resultados se muestra que para el SAF con menor edad se obtienen los mayores rangos de rentabilidad, lo que concuerda con los valores que resultaron de nuestro

estudio. De igual forma Gonzales (2018) en su investigación en SAF de Café de 4 y 7 años, evaluando el carbono almacenado en diferentes pisos altitudinales y como resultado para la valoración económica el VAN fue S/ 3283.84, el TIR 25.22% y B/C 1.78, para el cultivo de café el resultado de rentabilidad es similar al del cacao, con un costo beneficio superior a 1 que nos indica valores positivos y nos dan por resultado un proyecto factible en el cual el costo será menor que el beneficio.

V. CONCLUSIONES

1. Para el monocultivo, la biomasa del cacao fue de 25.59 t/ha, la biomasa de hojarasca de 2.03 t/ha, la biomasa arbórea con 0.31 t/ha, mientras que el carbono en la biomasa vegetal fue de 12,57 t/ha, con una tasa de fijación de 1,57 t/ha.
2. Para el sistema de producción de cacao y *Guazuma crinita* C.Martius, la biomasa de árboles de cacao fue de 13.17 t/ha, mientras para la especie forestal fue 48.72 t/ha, mientras el aporte de hojarasca con 1.13 t/ha, y para la herbáceas con 0.33 t/ha. Mientras que el carbono capturado en la biomasa vegetal fue de 28.51 t/ha, siendo la tasa de fijación de carbono de 3.56 t/ha.
3. La valoración económica de ambos sistemas de producción, donde el Valor Actual Neto (VAN) para el monocultivo de cacao alcanzó \$ 2,782.42 y en el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina alcanzó a \$11,168.16 en la zona de Aguaytía, la tasa Interna Retorno (TIR) para sistema monocultivo de cacao con 32% y para el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina un 55%, se concluye que el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina ofrece una mejor inversión, mientras el Beneficio Costo (B/C) en el sistema monocultivo de cacao es de 2.18 y para el sistema agroforestal de cacao asociado con bolaina es de 3.17

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios en otros sistemas de producción, asociado con otras especies forestales, para de esta manera comparar
2. Crear ecuaciones alométricas para cada especie y zona de procedencia, para tener datos más reales.
3. Estudiar la dinámica del aporte de hojarasca anual, con la finalidad de ver el comportamiento a través de todo el año.
4. Para posteriores trabajos consideras aspectos edafoclimáticos de los sistemas de producción de cacao.
5. Generar una base de datos sobre la valoración económica de los sistemas de varios sistemas de producción de cacao en la región.

VII. REFERENCIAS

- Alegre, J., Pocomucha, V., Abregú, L. (2016). Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huánuco. *Revista Ecología Aplicada*. 15(2), 107-114.
- Alegre, J., Arévalo, L., & Ricse, A. (2002). Reservas de Carbono según el uso de la tierra en dos sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF - INIA.
- Arce, N., Ortiz, E., Villalobos, M., & Cordero, S. (2008). Existencias de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano de fincas indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 46, 30-33.
- Arévalo, L., Alegre, J., Rios, E., Callao, C. D., & Palm, C. H. (2002). Secuestro de carbono con sistemas alternativos en el Perú. Brasil: IV Congreso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais.
- Ávila, G., Jiménez, F., Beer, J., Gómez, M., & Ibrahim, M. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *agroforesteria en las Américas*, 8(30), 32-35.
- Callao, D. (2000). Cuantificaciones de carbono secuestradas por algunas SKF's y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonia del Perú. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México: Repositorio UAC.
- Chambi, P. P. (2001). Valoración económica de secuestro de carbono mediante simulación aplicados a la Zona del Río Inambari y Madre de Dios. Instituto de Investigación y Capacitación para el Fomento de Oportunidades Económicas con base en la Conservación de Recursos Naturales, 1-20.
- Conchan, J. Y., Alegre, J. C., & Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *theobroma cacao* l. En el Departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 75-82.
- Díaz Chuquizuta, P., Fachin Ruiz, G., Tello Salas, C., & Arévalo López, L. (2016). Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable - RINDERESU*, 1(2), 57-67.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, Roma). (1998). *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Roma, Italia: *Agroforestería para la producción animal en América Latina*.

- Fassbender, H. W. (1993). Modelos edafológicos de sistemas agroforestales (2a Ed ed., Vol. 29). Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de investigación y enseñanza CATIE, proyecto groforestal CATIE/GTZ, Serie de materiales de enseñanza.
- Fonseca , G. W., Alice, F. E., Montero, J., Toruño, H., & Leblanc, H. (2008). Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 46, 57-64.
- Herrera Aranda, J. B. (2010). 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. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María: Repositorio UNAS.
- Holdridge, L. R. (1982). *Ecología: basado en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica.
- Consejo Internacional de Investigaciones Agroforestales . (2011). VIII Congreso Brasileño de Sistemas Agroforestales (CBSAF) "Sistemas Agroforestales del Paisaje Forestal: Desafíos de la Ciencia, Tecnología y Políticas para la Integración de los Beneficios Locales y Globales". Belém, Brasil.
- Iparraguirre, L. (2000). *Ecología* Universidad Nacional Federico Villareal. 39-42.
- Lapeyre, T., Alegre, J., & Arévalo, L. (2009). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú (Vol. 3). Lima, Perú: *Ecología Aplicada*.
- Ortiz, A. M., & Riascos, L. D. (2006). Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *Theobroma cacao* y laurel *Cordia alliodora* (ruiz & pavón) oken en la reserva dígena de Talamanca, Costa Rica. Universidad de Nariño facultad de ciencias agrícolas San Juan de pasto. Talamanca, Costa Rica: Repositorio CATIE.
- Ramírez, O., Finegan, B., Rooriguez, L., & Ortiz, R. (1994). Análisis económico de impactos ambientales In: *Estudios de caso: Evaluación económica del servicio ambiental de lmacenamiento de carbono: El caso de un bosque húmedo tropical bajo diferentes estrategias de mercado sostenible*. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Rios Sifuentes, F. J. (2010). Evaluación de la sostenibilidad ambiental en sistemas agroforestales de pequeños productores del distrito de José Crespo y Castillo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María: Repositorio UNAS.
- Santana, A. C. (2005). *Elementos de economía, agronegocio e desenvolvimento local*. Belém: GTZ, 133-142.

- Segura, M. (1997). Almacenamiento y fijación de carbono, en un bosque de altura en la Cordillera de la Salamanca, Costa Rica. Tesis Licenciatura, UNA, Forherdia, Costa Rica.
- Segura, M., Kanninen, M., & Suárez, D. (2006). Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry Systems*, 68, 143-150.
- Sifuentes Zamora, A. (2009). Valoración económica de los sistemas agroforestales caracterizados al margen derecho de la cuenca media del río huallaga. Tingo María, Perú: Repositorio UNAS.
- Dirección Nacional de Políticas de Seguridad y Protección Civil. (2000). Cambio climático (en línea). Argentina. Consultado 8 mayo 2009. Disponible en <http://www.proteccioncivil.gob.ar/calentamiento.html>
- Trelles. (2012). Determinación de reservas de carbono en la biomasa bajo el suelo en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la provincia de Leoncio Prado. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/439>
- Zavala, J., Mansilla, L., Zavala, S., Merino, E (2019) Mitigación del cambio climático a través del secuestro y almacenamiento del carbono y evaluación de los servicios ambientales del SAF caucho o jebe (*Hevea brasiliensis*) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tingo María. *Anuales Científicos*. 80(2), 462-475.
- Zavala, J., Vega, L. (2021). Captura y almacenamiento de carbono en distintas edades del cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales de Tingo María. <https://www.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2021/10/Zavala-Vega.-2021.pdf>

ANEXOS

Tabla 7. Biomasa arbórea en el transecto A del sistema agroforestal

FORESTAL	CACAO	D.A.P. FORESTAL	D.A.P. CACAO	BA (Kg.) FORESTAL	BA (Kg.) CACAO
34.9	50.2	11.11	15.98	52.35	24.81
muerto	30.7	muerto	9.77	muerto	12.34
49.1	50.7	15.63	16.14	124.16	25.17
12	32.25	3.82	10.27	3.51	13.24
27.9	27.5	8.88	8.75	29.71	10.56
42	42.9	13.37	13.66	83.63	19.85
28.1	54.5	8.94	17.35	30.25	27.89
muerto	40.6	muerto	12.92	muerto	18.36

Tabla 8. Biomasa arbórea en el transecto B del sistema agroforestal

FORESTAL	CACAO	D.A.P. FORESTAL	D.A.P. CACAO	BA (Kg.) FORESTAL	BA (Kg.) CACAO
43.00	27.50	13.69	8.75	88.76	10.56
36.00	25.50	11.46	8.12	56.62	9.48
51.99	33.50	16.55	10.66	143.50	13.97
16.20	26.54	5.16	8.45	7.51	10.04
49.00	38.40	15.60	12.22	123.53	16.96
30.00	29.40	9.55	9.36	35.70	11.61
46.14	18.00	14.69	5.73	106.09	5.78
muerto	31.40	muerto	9.99	muerto	12.74

Tabla 9. Biomasa arbórea en el transecto C del sistema agroforestal

FORESTAL	CACAO	D.A.P. FORESTAL	D.A.P. CACAO	BA (Kg.) FORESTAL	BA (Kg.) CACAO
36.20	50.80	11.52	16.17	57.42	25.24
29.40	49.30	9.36	15.69	33.92	24.18
25.90	33.50	8.24	10.66	24.62	13.97
40.00	38.20	12.73	12.16	73.92	16.84
31.20	38.40	9.93	12.22	39.43	16.96
43.10	29.40	13.72	9.36	89.29	11.61
37.80	52.30	12.03	16.65	64.06	26.30
46.80	36.10	14.90	11.49	109.97	15.54

Tabla 10. Biomasa arbórea en el transecto D del sistema agroforestal

FORESTAL	CACAO	D.A.P. FORESTAL	D.A.P. CACAO	BA (Kg.) FORESTAL	BA (Kg.) CACAO
40.20	48.50	12.80	15.44	74.86	23.63
33.30	38.60	10.60	12.29	46.49	17.09
47.50	33.50	15.12	10.66	114.18	13.97
24.90	33.90	7.93	10.79	22.28	14.21
33.40	38.40	10.63	12.22	46.84	16.96
42.80	39.40	13.62	12.54	87.72	17.59
45.30	29.70	14.42	9.45	101.27	11.78
40.70	39.40	12.96	12.54	77.24	17.59

Tabla 11. Biomasa arbórea en el transecto A del sistema monocultivo

FILA 1	FILA 2	D.A.P. (1)	D.A.P. (2)	BA (Kg.) 1	BA (Kg.) 2
55.1	58.2	17.54	18.53	28.32	30.61
56.3	73.5	17.92	23.40	29.20	42.64
16.5	58.9	5.25	18.75	5.11	31.14
25.6	35.6	8.15	11.33	9.54	15.23
50.5	15.5	16.07	4.93	25.02	4.68
Muerto	17.2	Muerto	5.47	Muerto	5.42
Muerto	Muerto	Muerto	Muerto	Muerto	Muerto

Tabla 12. Biomasa arbórea en el transecto B del sistema monocultivo

FILA 1	FILA 2	D.A.P. (1)	D.A.P. (2)	BA (Kg.) 1	BA (Kg.) 2
54.00	32.50	17.19	10.35	27.52	13.38
70.10	57.90	22.31	18.43	39.87	30.39
62.60	28.50	19.93	9.07	33.95	11.11
40.50	33.50	12.89	10.66	18.29	13.97
60.60	45.70	19.29	14.55	32.42	21.72
44.70	52.00	14.23	16.55	21.04	26.09
Muerto	Muerto	Muerto	Muerto	Muerto	Muerto

Tabla 13. Biomasa arbórea en el transecto C del sistema monocultivo

FILA 1	FILA 2	D.A.P. (1)	D.A.P. (2)	BA (Kg.) 1	BA (Kg.) 2
42.70	57.70	13.59	18.37	19.72	30.24
46.70	25.40	14.87	8.09	22.39	9.43
36.40	62.20	11.59	19.80	15.72	33.64
19.40	Muerto	6.18	Muerto	6.43	Muerto
43.20	48.70	13.75	15.50	20.05	23.77
55.10	60.20	17.54	19.16	28.32	32.12
25.80	65.60	8.21	20.88	9.64	36.28

Tabla 14. Biomasa arbórea en el transecto D del sistema monocultivo

FILA 1	FILA 2	D.A.P. (1)	D.A.P. (2)	BA (Kg.) 1	BA (Kg.) 2
33.20	37.80	10.57	12.03	13.79	16.59
41.10	43.10	13.08	13.72	18.68	19.98
42.10	35.50	13.40	11.30	19.33	15.17
30.00	48.20	9.55	15.34	11.95	23.42
37.30	49.50	11.87	15.76	16.28	24.32
Muerto	32.40	Muerto	10.31	Muerto	13.33
34.14	30.10	10.87	9.58	14.35	12.00

Tabla 15. Biomasa herbácea (t/ha) del sistema agroforestal

Transecto	Trampa	Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Bh (t ha ⁻¹)
A	T1	43.85	30.44	1.22
	T2	29.85	20.16	0.81
B	T1	20.85	18.77	0.75
	T2	67.85	34.79	1.39
C	T1	53.85	34.25	1.37
	T2	42.85	24.15	0.97
D	T1	71.95	33.05	1.32
	T2	63.85	29.85	1.19

Tabla 16. Biomasa herbácea (t/ha) del sistema monocultivo

Transecto	Trampa	Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Bh (t ha ⁻¹)
A	T1	246.85	47.85	0.48
	T2	29.85	12.85	0.13
B	T1	62.85	16.85	0.17
	T2	198.85	41.85	0.42
C	T1	78.85	47.27	0.47
	T2	41.85	7.65	0.08
D	T1	74.85	25.85	0.26
	T2	109.85	47.85	0.48

Tabla 17. Biomasa herbácea (t/ha) del sistema agroforestal

Transecto	Trampa	Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Bh (t ha ⁻¹)
A	T1	240.85	53.85	0.54
	T2	83.85	21.85	0.22
B	T1	96.85	24.55	0.25
	T2	139.85	31.85	0.32
C	T1	87.85	19.65	0.20
	T2	118.85	28.55	0.29
D	T1	172.85	40.05	0.40
	T2	113.85	41.55	0.42

Tabla 18. Biomasa de hojarasca (t/ha) del sistema monocultivo

Transecto	Trampa	Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Bh (t ha ⁻¹)
A	T1	104.85	70.85	2.83
	T2	30.85	24.51	0.98
B	T1	55.85	43.04	1.72
	T2	75.85	49.85	1.99
C	T1	58.85	54.85	2.19
	T2	111.85	77.06	3.08
D	T1	74.85	41.26	1.65
	T2	84.85	44.85	1.79

Tabla 19. Indicadores económicos de los sistemas de producción de cacao en monocultivo

Años	Producción de cacao Kg.	Precio Kg.	Ingreso Bruto cacao	Costos	Ingreso neto
1				4,363.25 -	4,363.25
2	150.00	6.5	975.00	1,519.50 -	544.50
3	400.00	7	2,800.00	3,375.00 -	575.00
4	1,000.00	7.5	7,500.00	2,930.00	4,570.00
5	1,200.00	8.2	9,840.00	2,762.00	7,078.00
6	1,200.00	8.5	10,200.00	4,682.00	5,518.00

Tabla 20. Indicadores económicos de los sistemas de producción de cacao en policultivo

Años	Producción de cacao Kg.	Precio Kg.	ingreso bruto cacao	costos	Ingreso neto
1				5,455.25 -	5,455.25
2	225.00	6.5	1,462.50	1,519.50 -	57.00
3	600.00	7	4,200.00	3,375.00	825.00
4	1,485.00	7.5	11,137.50	2,930.00	8,207.50
5	1,750.00	8.2	14,350.00	2,762.00	11,588.00
6	1,750.00	8.5	14,875.00	4,682.00	10,193.00



Figura 7. Instalación de los transectos de 4 x 25 m



Figura 8. Cuadrantes para herbácea



Figura 9. Instalación de cuadrantes para hojarasca



Figura 10. Colecta de hojarasca



Figura 11. Colecta de la herbácea



Figura 12. Evaluación de la circunferencia a la altura del pecho de *Guazuma crinita* C.Martius.



Figura 13. Evaluación de la circunferencia de las plantas de cacao



Figura 14. Peso fresco de las muestras



Figura 15. Secado de las muestras en la estufa



Figura 16. Evaluación del peso seco de las muestras