

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE



**SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN
LA PROVINCIA DE TAMBOPATA, MADRE DE DIOS**

Presentada por:

JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE *Doctoris Philosophiae* (Ph.D.) EN
AGRICULTURA SUSTENTABLE**

Lima – Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE

**SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN
LA PROVINCIA DE TAMBOPATA, MADRE DE DIOS**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE

Doctoris Philosophiae (Ph.D.)

Presentada por:

JOEL PEÑA VALDEIGLESIAS

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Oscar Loli Figueroa
PRESIDENTE

Ph.D. Julio Alegre Orihuela
PATROCINADOR

Dr. Alberto Julca Otiniano
MIEMBRO

Ph.D. Hugo Soplín Villacorta
MIEMBRO

Ph.D. Fernando Volker Puertas Ramos
MIEMBRO EXTERNO

A Dios, por estar presente todos los días conmigo para el logro de mis objetivos.

A mi esposa e hijos, Katy, Valentina y Santiago por su comprensión, sacrificio y apoyo constante para el logro de mis metas personales y profesionales.

A mis padres y hermanos, Benito y Antonina, Mildred, Willy, Iván y Miguel, desde donde estén siempre están a mi lado, dándome el cariño y apoyo necesario.

AGRADECIMIENTO

Agradezco especialmente al Dr. Julio Alegre Orihuela, Patrocinador de la tesis; por su asesoramiento continuo, apoyo y desprendimiento durante mis estudios.

A los miembros del Comité Consejero, Dr. Alberto Julca Otiniano y Dr. Hugo Soplin Villacorta por las correcciones hechas al presente trabajo.

A mis colegas y amigos del doctorado en Agricultura Sustentable de la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por los momentos vividos durante nuestros estudios y prácticas de campo.

A la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), por haberme dado la magnífica oportunidad de realizar mis estudios.

Al Vicerrectorado de Investigación (VRI) de la UNAMAD, por haberme financiado parte del estudio.

A la Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA) Puerto Maldonado, por toda la información y apoyo desinteresado que me brindó.

A la Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral (AIDER) Puerto Maldonado, por apoyarme incondicionalmente.

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Madre de Dios, por todo su desprendimiento y apoyo.

Al Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) Puerto Maldonado y al personal de la Estación Experimental “El Castañal”.

De manera muy especial a mis asistentes de investigación, agricultores de la Provincia de Tambopata, quienes con mucha humildad y cariño me abrieron las puertas de sus parcelas, me acompañaron y me dieron toda la información necesaria desprendidamente:

Agricultor	Localidad
1 Luciano Quispe Chani	Alegría
2 Carmelo Carmen Hanco	Alegría
3 Basilides Mamani Puma	Alegría
4 Gotardo Roque Guerra	Alegría
5 Rosa Mamani Molina	Alegría
6 Víctor Vargas Guerra	Alegría
7 Ramón Tineo Sandoval	Alegría
8 Charles Tello Papa	Alegría
9 Tito Tuesta Ortiz	Alegría
10 Herbert Lobon	Bajo Tambopata
11 Víctor Zambrano Gonzales	Bajo Tambopata
12 Filimon Leon Talaverano	Centromin
13 Enock Lazo	Chorrillos
14 Alfredo Vela Vera	Chorrillos
15 David Huamán Ramos	Progreso
16 Julia Espinoza Valdez	Progreso
17 Luis Huanca Quispe	Progreso
18 Nicolás Huanca Quispe	Progreso
19 Santos Ccuito Flores	Progreso
20 Donato Huanca Jaqqehua	Progreso
21 Sixto Huanca Jaqqehua	Progreso
22 Rufino Huanca Tocote	Progreso
23 Aderly Ccuito Flores	Progreso
24 María Champi Huaman	Florida Alta
25 Elías Vela Moreno	Infierno
26 Gladis Llicahua	Nueva Arequipa
27 Víctor Huaman Quispe	Nueva esperanza
28 Faustino Urbano Batallanos	Nueva esperanza
29 Lino Melgar Quispe	Piñal
30 Carlos López López	Planchon
31 Ricardo Torres Fernández	Puerto Trujillo
32 Pedro Casanova Romero	Rompeolas

33	Sabino Huamán Ccopa	Sabaluyoc
34	Yoni Curinambe Leiva	San Francisco
35	Jhon Ayala Chacón	San Francisco
36	Henry Curinambe Leiva	San Francisco
37	Fredy Curinambe Leiva	San Francisco
38	Estanislao Curinambe Chávez	San Francisco
39	Agustín Maque Huamani	San Juan
40	Soledad Apaza Mamani	San Juan
41	Cirilo Mendez Villafane	San Juan
42	Agueda Calisaya Cervantes	San Juan
43	Morgan Gonzales Chávez	San Juan
44	Alejandrina Mamani Quispe	Santa Rosa
45	Efraín Pizarro Cordova	Santa Rosa
46	Andrés Parisaca	Santa Rosa
47	Hermenegildo Conza Huallpa	Villa Santiago
48	Teodoro Mamani Yanque	Villa Santiago

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISION DE LITERATURA	5
2.1	Características generales de Madre de Dios	5
2.2	La Agroforesteria	6
2.3	Tipificación de fincas	18
2.4	Agricultura sustentable	21
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1	Lugar de Investigación	24
3.2	Tipificación de los Sistemas Agroforestales	25
3.3	Evaluación de la Sustentabilidad	31
3.4	Reservas de carbono en los Sistemas Agroforestales	33
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1	Tipificación de los Sistemas Agroforestales	34
4.2	Sustentabilidad de los Sistemas Agroforestales	41
4.3	Carbono de los Sistemas Agroforestales	48
V.	CONCLUSIONES	53
VI.	RECOMENDACIONES	55
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
VIII.	ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Lista de agricultores cuyas fincas fueron evaluadas	26
Tabla 2.	Indicadores y escalas de valoración de la Dimensión Económica	27
Tabla 3.	Indicadores y escalas de valoración de la Dimensión Ecológica	28
Tabla 4.	Indicadores y escalas de valoración de la Dimensión Socio cultural	29
Tabla 5.	Fórmulas para el Cálculo del Índice de Sostenibilidad	30
Tabla 6.	Ecuaciones alométricas para la determinación de la biomasa de algunas especies en los sistemas agroforestales.	32
Tabla 7.	Varianza total explicada por cada componente	34
Tabla 8.	Identificación e interpretación de los factores extraídos	35
Tabla 9.	Ubicación de las parcelas del grupo I	37
Tabla 10.	Ubicación de las parcelas del grupo II	38
Tabla 11.	Ubicación de las parcelas del grupo III	39
Tabla 12.	Ubicación de las parcelas del grupo IV	39
Tabla 13.	Ubicación de las parcelas del grupo V	40
Tabla 14.	Ubicación de las parcelas del grupo VI	40
Tabla 15.	Índices de Sustentabilidad Económica por SAF	42
Tabla 16.	Índices de Sustentabilidad Ecológica por SAF	43
Tabla 17.	Índices de Sustentabilidad Sociocultural por SAF	46
Tabla 18.	Índices de Sustentabilidad General por SAF	47
Tabla 19.	Carbono capturado por las especies vegetales	48
Tabla 20.	Carbono capturado por el suelo y la hojarasca del suelo	50
Tabla 21.	Correlación de Pearson (r) entre el carbono total y algunos indicadores de la finca	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Área cultivada en Madre de Dios.	7
Figura 2.	Localización del área de estudio	25
Figura 3.	Análisis cluster y formación de grupos de SAFs.	36
Figura 4.	Características de la finca: a) Área total, b) Área del SAF y c)Tipo de SAF	37
Figura 5.	Características de la finca: a)Edad del SAF y b)Ingreso mensual/agricultor	38
Figura 6.	Indicadores de sustentabilidad económica	42
Figura 7.	Indicadores de la calidad del suelo.	44
Figura 8.	Indicadores de la capacidad de resiliencia y manejo de la diversidad	45
Figura 9.	Indicadores de la conservación de la vida en el suelo.	45
Figura 10.	Indicadores socioculturales por cada tipo de SAF.	47
Figura 11.	Carbono hallado en la parte aérea de las plantas, en las raíces, en el suelo y en la hojarasca	49
Figura 12.	Cantidad de carbono retenido en el suelo	50
Figura 13.	Cantidad de carbono capturado por los SAFs	51
Figura 14.	Correlación entre el carbono total del SAF y a) la edad del SAF, y b) el contenido de materia orgánica del suelo.	52

RESUMEN

Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la sustentabilidad de los sistemas agroforestales (SAFs) en la amazonia sur del Perú (Departamento de Madre de Dios, provincia de Tambopata). Se trabajó con una población de 150 productores, de la que se tomó una muestra de 48, levantándose información de 72 variables a través de encuestas, observaciones de campo y toma de muestras de los agroecosistemas. Durante el proceso de la tipificación se identificó seis tipos de sistemas de producción agroforestal diferenciados entre sí, a través de análisis multivariados, a los cuales se les hizo la caracterización respectiva. Se evaluó la sustentabilidad construyendo indicadores económicos, ecológicos y socioculturales. Se encontró que el sistema agroforestal II no es sustentable debido a que su indicador económico es inferior a 2, y los sistemas agroforestales I, III, IV, V y VI resultaron ser sustentables. Se cuantificó la cantidad de carbono retenido por los SAFs por métodos no destructivos, mediante el uso de ecuaciones alométricas, se encontró que el carbono promedio almacenado por los SAFs es de 93.57 t ha^{-1} , de los cuales 33.42 t ha^{-1} es fijado por las plantas en promedio (correspondiente a la parte aérea y al sistema radicular), y $55.15 \text{ t C ha}^{-1}$ está fijado en los suelos.

Palabras clave: sistemas agroforestales, agroecosistemas, captura de carbono, indicadores de sustentabilidad.

ABSTRACT

This work was carried out with the objective of evaluating the sustainability of agroforestry systems (SAFs) in the southern Amazon of Peru (Department of Madre de Dios, province of Tambopata). We worked with a population of 150 producers, from which a sample of 48 was taken, with information on 72 variables being raised through surveys, field observations and sampling of agroecosystems. During the typing process, six types of differentiated agroforestry production systems were identified, through multivariate analysis, to which the respective characterization was made. Sustainability was evaluated by constructing economic, ecological and sociocultural indicators. It was found that the agroforestry system II is not sustainable because its economic indicator is less than 2, and the agroforestry systems I, III, IV, V and VI turned out to be sustainable. The amount of carbon retained by the SAFs was quantified by non-destructive methods, by using allometric equations, it was found that the average carbon stored by the SAFs is 93.57 t ha^{-1} , of which 33.42 t ha^{-1} is fixed by plants on average (corresponding to the aerial part and the root system), and $55.15 \text{ t C ha}^{-1}$ is fixed in the soils.

Keywords: agroforestry systems, agroecosystems, carbon capture, sustainability indicators

I. INTRODUCCIÓN

El Departamento de Madre de Dios localizado en la Amazonía sur del Perú está poblado por agricultores y que en forma dispersa e individual practican la actividad agroforestal y están poco organizados. Según Cáritas de Puerto Maldonado (Por la Tierra, 2015), en Madre de Dios se promueve la agroforestería desde el año 2006 a las poblaciones pobres y apoyan a cerca de 300 familias de las Provincias de Tambopata y Tahuamanu. En la actualidad se estima que solo en la Provincia de Tambopata existen unas 150 parcelas agroforestales que representa a 1050 hectáreas (ha) aproximadamente (considerando 7 ha en promedio por parcela) que tienen más de 4 años de establecidas.

Siendo reconocida Madre de Dios como “la capital de la biodiversidad del Perú”, la misma que tiene más del 40% de su territorio con áreas naturales protegidas por el estado peruano, a través de programas de reforestación, desde el año 1996 se intentó introducir algunas especies exóticas, procedentes de otras zonas tropicales del mundo, tales como la teca (*Tectona grandis*) y el cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*) con resultados poco alentadores y con niveles de adopción bajos por parte de los productores agroforestales, quienes prefirieron especies nativas para el diseño de sus sistemas agroforestales (SAFs).

La agroforestería es una actividad que se ha desarrollado en Madre de Dios como un modelo alternativo al monocultivo (de pastos como *Brachiara brizantha* e *Hyparrhenia rufa*) maíz amarillo duro (*Zea mays*) papaya (*Carica papaya*), arroz (*Oriza sativa*), plátano (*Musa paradisiaca*), yuca (*Manihot sculenta*) y otros), la misma que ha sido promovida por algunas ONGs y algunos proyectos estatales con buenos resultados iniciales, pero sin embargo hasta ahora poco se conoce de la situación actual de estos agroecosistemas.

En las estadísticas oficiales regionales, realizadas por la DRA MDD (2018) (Dirección Regional de Agricultura de la Región Madre de Dios), los sistemas agroforestales no figuran como tal, evidenciándose que en la actualidad no existe un verdadero diagnóstico que integre

la situación productiva de los agroecosistemas, las condiciones ambientales en las que se desarrollan y los aspectos socioculturales de los agricultores.

Respecto al planteamiento del problema, en un momento determinado de la historia mundial, ha existido la práctica de cultivar especies de árboles y cultivos agrícolas en combinación íntima. Existen muchos ejemplos, así en América tropical, muchas sociedades han simulado tradicionalmente las condiciones de los bosques en sus fincas para obtener los efectos beneficiosos de las estructuras forestales para la producción de sus alimentos (King, 1987). A nivel de la Amazonía (América del Sur), en especial en la Amazonia peruana, la agroforestería se presenta como una alternativa al sistema de producción convencional y a la práctica muy difundida de la tumba y quema para establecer nuevas áreas de cultivos (que provoca el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo). En los SAFs los procesos biológicos son sostenibles, existe mayor diversificación de la producción y hay un mayor uso de la mano de obra familiar.

En la Provincia de Tambopata, los SAFs se han desarrollado gracias al esfuerzo y dedicación de algunos agricultores que han sabido aprovechar las intervenciones de Instituciones gubernamentales y no gubernamentales desde el año 2000 hasta la actualidad; sin embargo, desde hace 7 años, con la construcción de la carretera interoceánica en Madre de Dios, que facilitó enormemente el acceso a los predios agrícolas ya muchas de las áreas cultivables están dedicándose a la producción convencional con monocultivos intensivos con maíz, papaya, yuca, pastos y otros.

Poco se conoce cuáles son las combinaciones de especies cultivadas y árboles existentes en los SAFs, y cuáles son sus sinergias. Estos sistemas son poco rentables en sus inicios, quizá ello ha repercutido en su bajo nivel de adopción, ya que no se tiene información completa en aspectos económicos, ecológicos ni socioculturales. Debido a esto es relevante conceptualizar y analizar mejor esta práctica agroforestal y sentar las bases para el conocimiento de la sustentabilidad de estos agroecosistemas.

En cuanto a las preguntas de Investigación realizadas podemos determinar que fueron las siguientes:

- ¿Cuáles son los índices de sustentabilidad de los sistemas agroforestales existentes en la Provincia de Tambopata, Madre de Dios?

- ¿Cuáles son las tipologías de sistemas agroforestales existentes en la Provincia de Tambopata, Madre de Dios?
-
- ¿Cuál es la cantidad de carbono existente en la biomasa aérea, en el suelo y en la hojarasca de los sistemas agroforestales?

La explotación no sostenible de los recursos naturales (como la deforestación, los incendios, la sobreexplotación del suelo y las prácticas no conservacionistas) está provocando gravemente su degradación y pérdida generándose conflictos socio ambientales, la misma que está vinculada al círculo vicioso de la pobreza y que es más evidente en las comunidades rurales afectando seriamente a los agroecosistemas (Martinez, 1991).

Entre los años y 2001 - 2013 el Perú tuvo una pérdida promedio de 113 000 ha año⁻¹ (SERFOR 2015), y en Madre de Dios entre los años 1999 – 2013 por efecto de la deforestación se perdieron 55 416 ha de bosque primario, correspondiente a una tasa anual de deforestación de 2 594 ha año⁻¹ (Alarcón et al., 2016).

La agroforestería puede mejorar la salud del suelo y promover la sostenibilidad en estos agroecosistemas a través de la combinación de sistemas apropiados de manejo agroforestal y cultivos de cobertura seleccionados (Buyer et al., 2017), así mismo el manejo y uso de la biodiversidad en estos sistemas son los que sustentan los servicios agroecosistémicos multifuncionales tales como el aprovisionamiento de alimentos, forrajes, leña, madera, combustibles, fibra y recarga de acuíferos, entre otros (Navarro et al., 2012).

Por otro lado, los volúmenes emitidos de CO₂ aumento 3,5 veces en los últimos 50 años debido principalmente al uso de combustibles fósiles y al cambio de uso del suelo (Alegre y Cassel, 1996; Brown, 1996; IPCC, 2001). Se estima que a mediados del siglo XXI estas emisiones de CO₂ alcanzarán 6,2 billones de t año⁻¹, lo que provocara incrementos de temperatura entre 1,5 y 4,5°C (IPCC 2001).

Los SAFs podrían convertirse en grandes sumideros de CO₂ (Winjum et al., 1992; Nair, 1993; Litynski et al., 2006) ya que estos podrían retener hasta 95 t C ha⁻¹ en promedio en

zonas tropicales (Albrecht y Kandji, 2003), y según Brown (1996) contribuiría a retener entre 11 y 15% de las emisiones de los combustibles fósiles. Sin embargo, hay pocos estudios de estimación de C en la Amazonía Sur del Perú que contribuiría a revalorar estos sistemas agroforestales persistentes, ya que los agricultores los han adaptado a las condiciones naturales extremas de la Amazonia Sur del Perú con suelos pobres extremadamente ácidos, y condiciones de sequía e inundación.

Los objetivos de la presente investigación fueron:

Objetivo General

- Evaluar la Sustentabilidad de los Sistemas Agroforestales en la Provincia de Tambopata, Madre de Dios

Objetivos Específicos

- Tipificar los prototipos de sistemas de producción agroforestal existentes en la Provincia de Tambopata, Madre de Dios.
- Cuantificar los índices de Sustentabilidad de los Sistemas Agroforestales en la Provincia de Tambopata, Madre de Dios
- Determinar las reservas de carbono en los Sistemas Agroforestales en la Provincia de Tambopata, Madre de Dios

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE MADRE DE DIOS

El departamento de Madre de Dios con una superficie de 8, 475,908 ha cubiertas de bosque tropical (6.6% del territorio nacional), donde habitan cerca de 100 mil habitantes. Se ubica en la Selva Baja, al sur de la Amazonía, limitando su territorio con los países vecinos de Bolivia y Brasil (IIAP y CTAR-MDD, 2001). Considerada como la “Capital de la Biodiversidad del Perú”, de interés mundial para la conservación de ecosistemas naturales en los bosques tropicales amazónicos, muestra de ello es que más del 40% de su superficie está bajo alguna categoría de protección (Parques Nacionales: del Manu y Bahuaja–Sonene, Reserva Nacional Tambopata, Reservas Comunales: Purus y Amarakaeri y 20 Áreas de Conservación Privada). De las 28 millones ha (Bosques de Producción Permanente de toda la amazonía peruana), 2,5 millones ha se encuentran en Madre de Dios, reportándose un total de 1, 292,000 ha de bosque bajo concesiones de uso forestal en el 2005 (CESVI, 2006).

Madre de Dios está considerada como una de las zonas con alta biodiversidad en el planeta (Catenazzi et al., 2013), con altos niveles de endemismos, reportándose 218 especies de mamíferos, 123 de reptiles, 124 de anfibios, 260 de peces y 852 de aves (Figueroa y Stucchi, 2010). Paradójicamente en estas áreas ricas, se tiene poblaciones social y económicamente deprimidas, como la población rural, debido principalmente al desconocimiento de alternativas tecnológicas que impulsen su desarrollo.

Una principal amenaza para esta la biodiversidad es la deforestación (debido a la extracción selectiva y constante de todo tipo de maderas que está provocando su agotamiento). El 20% de estas áreas deforestadas son aprovechadas para actividades agropecuarias, y el 80% restante está abandonada y en proceso de regeneración natural (Vera, 2013). Entre los años 2000-2011, en Madre de Dios se reportó una tasa de deforestación de 6,203.6 ha/año, reduciéndose el área de bosque de 7'789,824.2 ha hasta 7'721,584.5 ha en el mismo periodo (GOREMAD, 2015).

En el año 2017, según cifras del INEI, Madre de Dios aportó el 0,5% al Valor Agregado Bruto (VAB) nacional, ocupando el último lugar a nivel nacional. La tasa de crecimiento promedio anual del VAB entre 2008 y 2017 fue 2,5%. La principal actividad económica fue la minería, con una participación de 39,4% del VAB departamental; seguido por el sector comercio con 11,9%; construcción con 7,2%; agricultura, ganadería, caza y silvicultura con 6,8%; y manufactura con 4,7%, entre las principales actividades. La Población Económicamente Activa (PEA) en el departamento de Madre de Dios fue 83158 personas en el año 2017, el 98,5% pertenece a la PEA ocupada y el 1,5% a la PEA desocupada” (BCRP, 2018).

En relación al área destinada para la producción agrícola, según la Dirección Regional Agraria de Madre de Dios (DRA-MDD) para el año 2018 se tuvo 38616 ha de áreas cultivadas, de los cuales el 54% corresponden a pastos (dominado por *Brachiara brizantha*), el 16% corresponde al cultivo del maíz amarillo duro (*Zea mays*), el 8% a la papaya (*Carica papaya*), el 6% al arroz (*Oriza sativa*), el 6% al plátano (*Musa paradisiaca*), el 2% a la yuca (*Manihot sculenta*), el 1% a los cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris*), piña (*Ananas comosus*) y copoazu (*Theobroma grandiflorum*) respectivamente (DRA-MDD, 2018).

Entre otros cultivos que representan el 2% del área productiva están los siguientes: Naranja (*Citrus sinensis*) con 143 ha., limón (*Citrus limonum*) con 69.25 ha, mandarina (*Citrus reticulata*) con 65.25 ha, uncucha (*Xanthosoma sagittifolium*) con 61.75 ha, pijuayo (*Bactris gasipaes*) con 60.5 ha, cocona (*Solanum sessiliflorum*) con 56 ha, palta (*Persea americana*) con 54.75 ha, caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) con 51.5 ha, coco (*Cocos nucifera*) con 50.5 ha, lima (*Citrus aurantifolium*) con 48 ha, camote (*Ipomoea batatas*) con 45.5 ha, sandía (*Citrullus lanatus*) con 31.75, café (*Coffea arabica*) con 29.5 ha, carambola (*Averrhoa carambola*) con 29.5 ha, y mango (*Maguifera indica*) con 29 ha (DRA-MDD, 2018). A continuación, se muestra la **Figura 1** con el área cultivada en Madre de Dios.

2.2 LA AGROFORESTERÍA

A nivel mundial se estima 823 millones de ha de SAFs, de los cuales 516 millones son sistemas silvopastoriles, y el resto corresponde a otras prácticas agroforestales (Nair et al. 2009). En Suramérica se tiene 320 millones de ha, en África Sub-Sahara 190 millones de ha y en el Sureste de Asia 130 millones de ha (Zomer et al. 2009).

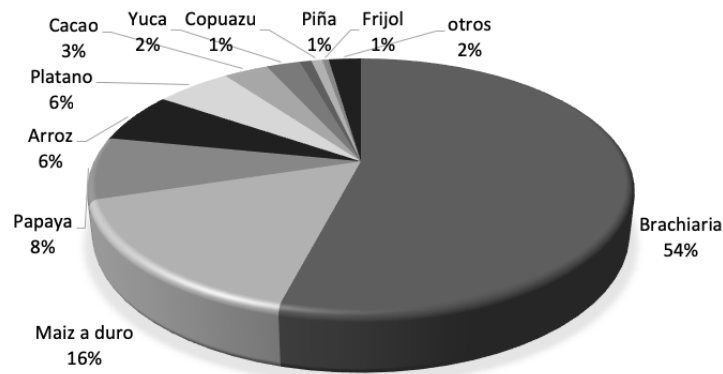


Figura 1. Área cultivada en Madre de Dios.

Fuente: Adaptado de DRA MDD (2018)

2.2.1 Definición

Segun Farrell y Altieri (1999), esta actividad tiene un esquema (que asocia árboles, cultivos y animales), que contribuye a la sostenibilidad (por la sinergia que hay entre todas las especies del agroecosistema, tratando de imitar lo que ocurre en la naturaleza protegiéndola sin deteriorarla), hecho que contribuye a la maximización de los rendimientos (por los beneficios y las sinergias que se producen entre todos los individuos), y que es adoptada muy fácilmente por los agricultores. El desarrollo de la agroforestería como ciencia debe basarse en cuatro características clave : 1)Competencia entre los árboles y los cultivos para obtener luz, agua y nutrientes para el beneficio de los agricultores, 2) complejidad socioeconómica (caracterización participativa, analítica y multidisciplinaria a diferentes escalas espaciales) y ecológica (diversidad de productos y servicios) es típica de los SAFs , 3) Rentabilidad que se ve mejorada con la domesticación de árboles autóctonos con productos de alto valor, y 4)Sostenibilidad con SAFs potencialmente rentables que permite controlar la erosión, aumentar la biodiversidad, retener carbono (Sánchez, 1995).

2.2.2 Clasificación

Los tipos de tecnología comunes utilizados en SAFs templados y tropicales según Montambault y Alavalapati (2005) son los siguientes:

- Cultivos intercalados de plantaciones. Árboles plantados en hileras individuales o agrupaciones para proporcionar servicios de nutrientes para cultivos anuales.

Alimentos para animales o uso doméstico. Este incluye cultivos en callejones, cultivos intercalados de setos, cultivos perennes de taungya y sombra.

- Explotación forestal. Uso de áreas forestales para extraer productos forestales no maderables para su uso o venta de subsistencia.
- Jardines caseros. Combinaciones limitadas de varios estratos de árboles, plantas y ganado (opcional) alrededor de un hogar.
- Barbecho mejorado. Generalmente, especies leguminosas de crecimiento rápido que cubren un campo después de la cosecha para mejorar y proteger el suelo.
- Árboles multipropósito. Se pueden colocar árboles de forma sistemática o aleatoria en tierras agrícolas o pastorales que brindan servicios a los hogares.
- Silvopastura. Ganado u otros animales que pastan dentro de una plantación forestal o árboles plantados dentro de sistemas ganaderos.
- Amortiguadores ribereños. Tiras de vegetación perenne plantadas o preservadas entre tierras agrícolas y cuerpos de agua.
- Cinturones de protección y cortavientos. Uso de árboles para proteger los sitios agrícolas de los daños causados por el viento y la lluvia.
- Tecnologías de conservación de suelos. Utilizando árboles en conservación y recuperación de suelos.

2.2.3 Conservación de la Biodiversidad

La agroforestería se considera como un camino ideal para mantener o restaurar la biodiversidad de una forma socioeconómicamente sostenible, considerando que la biodiversidad puede reducir los riesgos, aumentar la productividad y mejorar la eficiencia a través de interacciones beneficiosas de especies (Gómez et al., 2015), y producir más estabilidad y resiliencia al sistema (Nair et al., 2008).

Siendo la práctica de la agroforestería un sistema de gestión y conservación de la diversidad, la misma que es aceptada por los agricultores que sí valoran dicha diversidad y administran la agroforestería desde esa perspectiva, la investigación a lo largo del tiempo no ha tomado en cuenta este elemento de diversidad (Atta-Krah et al., 2004).

La domesticación de árboles tropicales en los SAFs es un proceso impulsado por los agricultores y el mercado, donde coinciden la diversidad de árboles importantes a nivel local

con las necesidades de subsistencia, los mercados de productos y los entornos agrícolas (Simons y Leakey, 2004).

El mayor número de especies de plantas ocurre en sistemas agroforestales tradicionales, seguido de café sistemas, sistemas de cultivo de árboles y sistemas de cacao, sugiriendo que los sistemas agroforestales tradicionales son mejores para la conservación de especies que los sistemas no tradicionales (Negash, 2013; Negash y Kanninen, 2015).

Las 20 especies más importantes en la agroforestería de los Bora en la Amazonia peruana son las siguientes: *Astrocaryum chambira*, *Musa spp.*, *Manihot esculenta*, *Ananas comosus*, *Bactris gasipaes*, *Erythroxylum coca*, *Zea mays*, *Poraqueiba sericea*, *Euterpe oleracea*, *Pourouma cecropiifolia*, *Saccharum officinarum*, *Pouteria caimito*, *Carludovica palmata*, *Inga spp*, *Dioscorea trifida*, *Crescentia cujete*, *Theobroma bicolor*, *Carica papaya*, *Lonchocarpus spp* y *Oenocarpus spp.* (Cotta, 2017).

En los SAFs de la amazonía boliviana (Alto Beni), se encontraron 2135 árboles de 112 especies identificadas pertenecientes a 44 familias botánicas, ubicadas en 128 ha de campos agrícolas, las especies maderables preferidas por los agricultores fueron: *Swietenia macrophylla* , *Amburana cearensis* , *Cedrela odorata* , *Centrolobium ochroxylum* , *Piptadenia sp* , *Aniba sp.*, y *Myroxylon balsamum* . Los árboles medicinales fueron: *Croton draconoides* , *Astronium urundeuva* , *Uncaria tomentosa* , *Cestrum racemosum* y *Salacia impressifolia*, para leña usan: *Inga spp* y *Cassia sp.* , siendo los principales cultivos cacao, cítricos, banano y papaya, en monocultivos y asociados entre sí y con otros árboles maderables y frutales. Utilizan 18 especies para muebles, 57 para construcción, 23 como madera alternativa, 70 como leña, 30 frutales para consumo humano, 4 para consumo de animales domésticos, 49 que son consumidas por animales silvestres, 26 especies medicinales, 17 usadas como sombra, 3 como abono y una como captadora de humedad (Vega y Somarriba, 2005).

Gómez et al. (2015) evaluaron la relevancia de la diversidad y la riqueza de especies agroforestales en el desempeño socioeconómico en 38 SAFs agrupado en cuatro sitios en el este de la Amazonia brasileña, donde encontraron 83 especies, que corresponde a 73 géneros y 34 familias. Las 10 especies más abundantes fueron: *Euterpe oleracea*, *Musa spp*,

Theobroma cacao, *Theobroma grandiflorum*, *Piper nigrum*, *Platonia insignis*, *Artocarpus integrifolia*, *Cecropia sp.*, *Syagrus cocoides* y *Mangifera indica*.

2.2.4 Efectos benéficos de los SAFs

La agroforestería comprende diversos beneficios para los agricultores, como la leña, madera pero también posibilidades de ingresos suplementarios debido al cultivo de árboles (Nair, 2007). Además, es una solución que contribuye con aliviar erosión del suelo en las parcelas agrícolas y, por tanto, ayuda a estabilizar o incluso mejorar los rendimientos (Gebreegziabher et al., 2010; Nair, 2007). Sin embargo, estos efectos positivos solo persisten si la agroforestería se preserva en un largo período de tiempo (Mercer, 2004). La sobreutilización de sistemas agroforestales, asociado con la disminución de las existencias de árboles, puede debilitar el impacto positivo sobre la fertilidad del suelo, la producción de alimentos, la disponibilidad de leña y madera, y, por lo tanto, los ingresos de los agricultores en las zonas rurales.

La profundidad de las raíces dentro de un SAF es variable, donde los arboles profundizan más que los cultivos principales, en estas condiciones, hay una reducción de la competencia por el agua dentro del SAF debido a estas consideraciones (Cannavo et al., 2011).

El balance hídrico dentro del SAF varía en función de las condiciones locales y temporales, así un aumento de la infiltración asociada a la presencia de árboles de sombra y la hojarasca del suelo puede tener un efecto positivo sobre el balance global (Rapidel et al., 2015).

La fijación bacteriana de nitrógeno (N_2 atmosférico) por los arboles de leguminosas fijadoras como *Erythrina poeppigiana* o *Inga edulis* bajo condiciones controladas alrededor 100 kg ha⁻¹ (Leblanc et al., 2007), El balance de nutrientes en el suelo para las plantas de los SAFs depende de muchos factores, tales como: a) las características de las especies de sombra, b) la sincronía entre la descomposición y la absorción de la hojarasca, y c) el clima (en especial, la cantidad de agua de lluvia que drena fuera del alcance de las raíces del café (Rapidel et al., 2015).

Las especies cultivadas en los SAFs se complementan perfectamente con los arboles desde el punto de vista económico y biológico, tal es así que en SAFs con café los árboles frutales

pueden proporcionar un ingreso relativamente estable en el transcurso del año como es el caso del palto, la madera de las especies forestales del SAF se puede aprovechar y vender cuando los precios del café están bajos, o cuando se hace una renovación de la plantación (a través de podas); asimismo, la fertilización del cultivo también es aprovechada por las especies forestales. Estas complementariedades biológicas y económicas parecen darle una justificación perfecta a este tipo de asociación (Rapidel et al., 2015).

Las practicas agroforestales promueven otro tipo de uso de la tierra que pueden producir beneficios, tal como lo reportan Barbieri y Valdivia (2010), quienes encontraron interesantes sinergias entre la función recreacional y las practicas agroforestales.

La agroforestería es una posible solución para restaurar algunos daños provocados por la agricultura tradicional y proveer servicios eco sistémicos asociados con el agua y el suelo. La incorporación intencional de especies nativas en áreas sin agroforestería ubicándolas estratégicamente en la finca puede en el futuro mejorar las funciones del ecosistema y reducir los costos de producción (Udawatta et al., 2017).

2.2.5 Aspectos Económicos y productivos

En un estudio realizado por Gómez y sus colaboradores en SAFs de la Amazonia oriental brasileña, los costos de producción por ha de la agroforestería empresarial (alrededor de R\$ 4500), de la agroforestería comercial realizada por pequeños agricultores (alrededor de R\$ 2500) y de la agricultura tradicional de tala y quema (alrededor de R\$ 3000) fueron los más altos, mientras que los costos de producción más bajos fueron encontrados en el barbecho enriquecido (alrededor de R\$ 800) y en la pequeña huerta (alrededor de R\$ 950).

Los mayores ingresos netos por unidad de área, registrados en los sistemas evaluados en orden de importancia fueron los siguientes:

- Pequeña huerta (alrededor de R\$ 4800)
- Huerta mediana (alrededor de R\$ 4200)
- Agroforestería comercial realizada por pequeños agricultores (alrededor de R\$ 3300)
- Agroforestería empresarial (alrededor de R\$ 3100)

La riqueza total de especies se relacionó negativamente con los costos y el ingreso monetario, pero no con el ingreso no monetario, debido a la ocupación del espacio por especies "no productivas" (juveniles o especies que prestan servicios a los agroecosistemas) (Gómez et al., 2015).

En sistemas silvopastoriles de Costa Rica, Belice y Honduras se han registrado volúmenes de madera de *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata* y otras que oscilan entre 13 y 19 m³ ha⁻¹. En pasturas con linderos de *Eucalyptus camaldulensis* en Honduras se reporta 100 m³ de madera por cada kilómetro de cerco, en linderos con *Tectona grandis* y *Terminalia ivorensis* de 62 a 79 m³ km⁻¹ (Detlefsen y Somarriba, 2015).

En SAFs con cacao de Costa Rica y Panamá, las especies forestales de *Cordia alliodora*, *Terminalia ivorensis* y *Tabebuia rosea* alcanzaron 97-173 m³ ha⁻¹ de volumen 10 años después de plantados. En Honduras se encontraron volúmenes de entre 4 y 150 m³ ha⁻¹ de *Magnolia yoroconte* y *Cordia megalantha* respectivamente en plantaciones de 12 y 14 años establecidas (Detlefsen y Somarriba, 2015).

En SAFs con café de Costa Rica, los volúmenes de *Cordia alliodora* fluctuaron entre 4 y 6 m³ ha⁻¹ año⁻¹ y en los cafetales de Honduras se pueden obtener 28-32 m³ ha⁻¹ de madera aserrada de cedro (*Cedrella odorata*) 21 años después de plantada, teniendo en cuenta que en 1 ha hay hasta 65 árboles de cedro, en el caso de la caoba (*Swietenia macrophylla*) se puede obtener 22 - 29,30 m³ ha⁻¹ de madera aserrada considerando que en 1 ha hay 100 árboles de caoba como máximo, y que tiene 25 años de edad (Detlefsen y Somarriba 2015).

En la Amazonia boliviana (Alto Beni), el ingreso económico promedio anual de los agricultores es de 2206 US\$, de los cuales 1329 US\$ cubren gastos básicos (alimentación, educación, medicina) y 877 US\$ se utilizan en mejoras de la finca, compra de herramientas, participación en eventos sociales, etc. El 65% de las fincas utiliza mano de obra familiar y contratada, el resto utiliza solo mano de obra familiar (Vega y Somarriba, 2005).

La certificación de los cultivos agroforestales puede contribuir a la conservación de la diversidad, y ahora está bien establecida, y un gran éxito en la última década ha sido la aceptación por parte de los agricultores, las empresas alimentarias y los minoristas. Aunque

los esquemas de certificación de la agroforestería no apuntan explícitamente a la conservación de la biodiversidad como un objetivo principal; sin embargo, incluyen importantes salvaguardas de los beneficios de conservación de la biodiversidad (Tschardt et al., 2015).

Paul et al. (2017), en un estudio comparativo entre agroforestería versus sistemas de mosaico agrícola, encontraron que la agroforestería aumenta los rendimientos económicos en comparación con la mezcla de árboles y cultivos en parcelas separadas en bloques dentro de una finca, así mismo se ve menos afectada por los efectos del cambio climático, y en áreas degradadas, la agroforestería también puede ser una opción importante para recuperar la fertilidad del suelo.

2.2.6 Aspectos socioculturales

En las fincas de los productores agroforestales de Huánuco, Perú, el 86.1% de la población es masculina, y el 13.9% es femenina. El 69.4% tiene educación primaria, y el 19.4% tiene educación secundaria. El 66.7% de los productores tiene título de propiedad. La edad promedio de los productores es de 56 años (Pocomucha et al., 2016).

En la Amazonía ecuatoriana, las familias de los productores agroforestales están conformadas por cuatro personas, de los cuales el 54% son mujeres y el 46% hombres, el 53% de la población tiene al menos instrucción primaria. Las fincas tienen en promedio 32 ha, con cultivos de cacao y café con extensiones entre 0,25 y 10 ha. El 80-100% de la mano de obra empleada es de tipo familiar, y se usa para la producción y manejo de la finca (Subía et al., 2014).

En los SAFs de la Amazonía boliviana, el 10% de los agricultores son analfabetos, el 59% tiene instrucción básica o primaria, el 24% cuenta con educación secundaria y el 7% tiene educación superior. El 16% de las mujeres son analfabetas, 70% posee educación primaria y el 14% tiene educación secundaria. El 74% de agricultores tiene título de propiedad, en promedio tienen cuatro hijos por familia entre 11 y 20 años de edad y ayudan en las labores de campo. En época de clases, los hijos combinan los estudios con el trabajo en la finca. El 60% de las familias vive en su finca; el resto vive en comunidades a 1-3 km de distancia, el 42% de las casas son de construcción rústica, con paredes de palmera o madera y techo de

hojas de palmera, el 72% tiene agua potable, el resto toma agua de ríos y quebradas; no hay atención médica permanente. Las fincas tienen pocas herramientas y equipos agrícolas (machete, pala, picota y hacha) (Vega y Somarriba, 2005).

2.2.7 El carbono en sistemas agroforestales

Los árboles en las parcelas de los sistemas agroforestales tienen un papel muy importante en la mitigación de los efectos del cambio climático, teniendo en cuenta que estos tienen una gran capacidad de almacenar biomasa y carbono dentro de estos sistemas. Para la estimación de la biomasa de estos sistemas lo más recomendable es usar ecuaciones alométricas ya que es un método no destructivo que solo usa algunos parámetros tales como el diámetro a la altura del pecho de los árboles (DAP), la altura y la densidad de la madera (Chave et al., 2005; 2014; Zhang et al., 2016).

Para Hunter et al. (2013), los modelos alométricos que solo usan la altura del árbol rinden estimaciones menos sesgadas. Sin embargo, medir la altura con precisión es difícil, especialmente en agroforestería donde la mayoría de los árboles no tienen patrones arquitectónicos precisos. Por otro lado, Kuyah y Rosenstock (2015), encontraron que la inclusión de la altura, la densidad de la madera y área basal en la ecuación de la biomasa cambió las estimaciones de biomasa en menos de 1.3% de la biomasa total, de aquellos obtenidos al usar solo el diámetro, reporte similar a los de Basuki et al. (2009) y Agevi et al. (2016).

Los niveles de carbono en la agricultura y en la agroforestería están relacionadas con la altura del árbol (que incrementa el nivel de biomasa), así mismo estos niveles dependen de su composición tales como la especie, la edad, intensidad de selección y gestión, y condición del sitio (suelo, topografía y lluvia), tipos de uso de la tierra entre otros (Mbow et al., 2014). Los SAFs pueden almacenar a largo plazo carbono en la biosfera, es el caso de los SAFs agrosilvícolas o agroforestales, mientras que los silvopastoriles basados en rumiantes son probablemente fuente de gases efecto invernadero como el CH₄. En las zonas tropicales, se estima que una hectárea de agrosilvicultura sostenible puede proporcionar bienes y servicios que pueden compensar entre 5 y 20 ha de deforestación, y estos podrían almacenar 12–228 t C ha⁻¹ año⁻¹ (Dixon, 1995).

El carbono aéreo almacenado en SAFs de cacao asociado con las especies forestales de guaba (*Inga edulis*), bolaina (*Guazuma crinita*) y capirona (*Calycophyllum spruceanum*) en Huanuco Peru, fue de 65.61 t ha⁻¹, el carbono almacenado en el suelo fue 65.57 t ha⁻¹, y el carbono total almacenado en los SAFs fue de 131.18 t ha⁻¹ en promedio (Pocomucha et al., 2016).

Mutuo et al. (2005) encontraron que los sistemas agroforestales en los trópicos húmedos podían secuestrar hasta 70 t C ha⁻¹ en la vegetación, y hasta 25 t C ha⁻¹ en los primeros 20 cm del suelo en sistemas agroforestales multiestratificados en Sumatra. Por otro lado, Negash (2013) descubrió que los árboles en las granjas representan el 74% de la biomasa aérea total, una indicación de que la mayoría del carbono se almacena en los árboles en tierras agrícolas.

La cantidad de carbono orgánico del suelo en los SAFs difiere con las regiones y profundidades del suelo (Negash, 2013). Estudios en Bahía Brasil han demostrado que el carbono del suelo a 1 m de profundidad podría alcanzar 302 t C ha⁻¹ en SAFs de cacao con 30 años de edad, y en Kerala India a la misma profundidad el carbono puede estar entre 101-126 t C ha⁻¹ en huertos familiares de más de 35 años de edad (Nair et al., 2010). Los niveles de C de 0-40 cm de profundidad fueron los más altos para SAFs, seguidos de cultivos arbóreos, café y sistemas tradicionales. La mayoría de los estudios muestran que estos niveles se concentran en la capa superficial de 0-30 cm del suelo (Makumba et al., 2007; Oelbermann y Voroney, 2007).

Köhler et al. (2008) y Silva et al. (2011) consideran que la hojarasca también contribuye a la acumulación de C en suelo. Es el camino conocido más importante que conecta a la vegetación con el suelo, y es un buen indicador de productividad aérea. El impacto de cualquier sistema agroforestal en el secuestro de C en el suelo depende en gran medida de la cantidad y calidad de entrada de hojarasca provista por árbol, de la estructura del suelo y sus agregaciones. La producción y calidad de la hojarasca varía con las características del bosque (tamaño del árbol, especie, foliar biomasa y edad), ubicación geográfica (clima), sitio, suelo, estación y práctica de manejo. Así Liu et al. (2004) reportan hasta 1500 g m⁻² año⁻¹ de hojarasca en bosques tropicales de coníferas. Por otra parte, Dawoe et al. (2010)

encontraron que los SAFs de cacao de Ghana - África, con edades de 3,15 y 30 años pueden producir hasta 5, 8.2 y 10.4 t de hojarasca ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente, teniendo en cuenta que en SAF hay especies forestales de *Terminalia superba*, *Triplochiton scleroxylon*, *Alstonia boonei* y *Ceiba pentandra* asociado con árboles frutales de naranja (*Citrus sinensis*), palta (*Persea americana*) y mango (*Mangifera indica*); así mismo, Murovhi et al. (2012) encontraron que los cultivos de palta (*Persea americana*), mango (*Mangifera indica*) y litchi (*Litchi chinensis*) con edades de 13, 12 y 13 años, pueden producir 8.3, 6.3 y 5.6 t de hojarasca ha⁻¹ año⁻¹.

2.2.8 La Agroforestería en Madre de Dios

A continuación, se describe las experiencias agroforestales implementadas por varias instituciones desde sus inicios:

El año 1992 se implementó un proyecto para recuperar áreas degradadas mediante sistemas agroforestales, el mismo que se ejecutó a través de la Federación de Agricultores (FADEMAD), donde se establecieron plantaciones de cítricos, cacao (*Theobroma cacao*) y café (*Coffea arabica*), utilizando guaba (*Inga edulis*) como especie para proveer de sombra con el uso de humus de lombriz como abono orgánico (CIFOR, 2003).

Los resultados de esta experiencia no fueron buenos, ya que solo existen rezagos del cultivo de café en algunas fincas bajo condiciones de abandono, así mismo existen plantaciones de cacao también abandonadas por su poca productividad, considerando que su propagación fue por semilla.

Desde 1993, la Asociación de Agricultura Ecológica (AAE) con su proyecto agroforestal mediante el uso de leguminosas exóticas como barbecho tales como calliandra (*Calliandra calothyrsus*), mucuna (*Mucuna cochinchinensis*), kudzú (*Pueraria phaseoloides*) busco recuperar las áreas degradadas sobre todo por la ganadería mediante la fijación biológica del nitrógeno con estas leguminosas, las mismas que luego de invadir toda el área a intervenir, y al cabo de un periodo de 2 o 3 años se comenzó a establecer cultivos anuales y perennes. En este caso se realizó un tipo de investigación adaptativa para luego difundir la experiencia (CIFOR, 2003) . En la actualidad la AAE sigue vigente, tiene 10 socios activos que tienen

SAFs tipo multiestrato en plena producción, así mismo ellos se reconocen como productores agroecológicos. En sus mejores años la AAE tuvo hasta 30 socios activos.

Entre 1996 y 1999, el Comité de Reforestación promovido por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) y la Organización internacional de Maderas Tropicales (OIMT) que financio este proyecto de reforestación con especies tale como caoba (*Swietenia macrophylla*), pashaco (*Schizolobium amazonicum*), tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), cedro (*Cedrela odorata*), así como no maderables como castaña de brasil (*Bertolletia excelsa*), promovió también el establecimiento de sistemas agroforestales en base a pijuayo (*Bactris gasipaes*), sangre de grado (*Croton lechleri*) y guaba (*Inga edulis*), en asociación con cultivos perennes como cacao (*Theobroma cacao*), y transitorios como arroz (*Oryza sativa*), maíz (*Zea mays*) y plátano (*Musa paradisiaca*) (CIFOR, 2003). Esta experiencia no tuvo buenos resultados por los siguientes motivos: a) pareciera que este proyecto en Madre de Dios consistía solo en entregar plántones de especies forestales a los agricultores beneficiarios para que estos los instalen en sus parcelas, b) la asistencia técnica fue muy escasa, y c) los beneficiarios no estaban realmente interesados, involucrados ni identificados con el proyecto. En la actualidad se puede encontrar algunos árboles de castaña en producción en los lugares donde los técnicos del “Comité de Reforestación” los dejaron hace 20 años, y que los agricultores nunca los plantaron.

Desde el año 2004 hasta la actualidad, Cáritas Puerto Maldonado ha ejecutado acciones y proyectos en Madre de Dios, departamento ubicado en la zona sur de la Amazonia del Perú. Estas intervenciones han buscado desarrollar alternativas ante la situación de pobreza en que viven amplios grupos de su población, como resultado de su vulnerabilidad ante los impactos que tienen actividades ilegales, como la minería y la tala, en el medio ambiente y sus medios de vida. Este trabajo ha contado con el especial y constante apoyo y acompañamiento de Caritas Alemana. En los años recientes, el trabajo se ha visto enriquecido desde un reforzamiento del enfoque de desarrollo agroforestal, como propuesta que permite atender el cuidado del medioambiente, la adaptación al cambio climático, la búsqueda de seguridad alimentaria; impulsando la introducción y puesta en valor de los cultivos de cacao y copoazú en la perspectiva de incrementar los ingresos de la población, brindándoles incentivos y mejores condiciones para proteger sus recursos ante el avance de las actividades ilegales. En el último año, 2015, se ha impulsado además el enfoque de econegocios como perspectiva para la articulación de los productos agroforestales a los mercados. En la actualidad esta

experiencia es exitosa, ya que estos SAFs se implementaron en base al cultivo de cacao y copoazú con clones seleccionados de alto rendimiento y con asistencia técnica permanente. Los productores están organizados en cooperativas para la comercialización de sus productos, y han participado exitosamente en concursos nacionales obteniendo premios por la calidad de su pasta de cacao.

También debemos mencionar iniciativas paralelas desde otras instituciones del Estado (con proyectos agroforestales desarrollados por el Gobierno Regional de Madre de Dios) y algunas ONGs, las cuales en sus ámbitos respectivos realizaron sus propias experiencias, las mismas que hoy sirven de base sólida para la realización de emprendimientos más efectivos. Podemos citar los trabajos de Conservación Internacional (CI), Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA), CANDELA-PERU, PRONATURALEZA, CESVI, ANIA, CENTRO EORI, Acción Agraria y otros. Las intervenciones de los Proyectos agroforestales promovidos por el Gobierno Regional de Madre de Dios fueron un total fracaso, ya que los mismos tuvieron problemas desde su origen, es decir; que fueron hechos en gabinete sin tomar en cuenta la participación de los involucrados. Por otro parte los técnicos y profesionales de estos proyectos fueron colocados por la autoridad por su filiación política, y no por sus capacidades y competencias de estos. Las intervenciones solo existieron el tiempo que duraba el proyecto, es decir 2-3 años, pasado este tiempo las parcelas quedaron en total abandono.

2.3 TIPIFICACIÓN DE FINCAS

La tipificación es la conceptualización de la realidad existente en el área de estudio y debe tener la siguiente información: “La importancia relativa de cada tipo de finca y las relaciones de competencia o complementariedad entre tipos de finca con respecto a aspectos socioeconómicos y agroecológicos” (Escobar y Berdegue, 1990).

La clasificación de los tipos de finca tiene muchas utilidades y aplicaciones, entre ellas podemos citar (Chicaiza, 2013): “Puede contribuir al conocimiento del funcionamiento del desarrollo agrícola de una región, permite visualizar la evolución de las fincas en el tiempo, es una herramienta muy útil para definir las políticas de investigación y transferencia de tecnología, y permite gestionar proyectos de investigación y proyectos de desarrollo”.

La caracterización y los estudios de tipificación en agroecosistemas deben tener ocho etapas (Cabrera et al. 2004): i) describir la población; ii) selección de la herramienta de recolección simple y su construcción; iii) procesamiento de la información; iv) revisión y selección de variables; v) aplicación de técnicas estadísticas multivariantes; vi) determinación de tipos o subsistemas; vii) descripción de tipos o grupos; viii) validación de la tipología.

Según Escobar y Berdegue (1990), “las variables a tener en cuenta en un estudio de tipificación son: Indicadores del tamaño de la finca, nivel de capitalización de la finca, estructura de la mano de obra disponible y empleada en la finca y fuera de ella, sistemas productivos existentes en la finca como sistemas de cultivos, animales, etc., nivel de intensificación tecnológica, tipo de tenencia de la tierra, calidad del suelo, composición del ingreso familiar, tipo y grado de articulación con los mercados de productos, localización geográfica y agroecológica, y capacidad de gestión, y de las metas y habilidades de los productores”.

Para procesar los datos de las variables evaluadas de las fincas, se tienen que hacer análisis multivariados, pero previamente a ello se deben descartar las variables que tengan poco poder discriminatorio, con las variables seleccionadas por su adecuado poder discriminante se procede a realizar el análisis factorial (Análisis de componentes principales para variables cuantitativas, y análisis de correspondencias múltiples variables cualitativas) (Escobar y Berdegue, 1990).

El análisis factorial entrega los siguientes resultados: Información que permite estudiar las relaciones existentes entre las variables contenidas en la matriz de datos, información que permite estudiar las relaciones existentes entre las observaciones (fincas) contenidas en la matriz de datos, información que permite estudiar la relación entre variables y observaciones, e información que permite identificar los fenómenos socioeconómicos, agroecológicos, tecnológicos, de capacidad de gestión, etc., que determinaran la existencia de tipos de sistemas de finca. Esta información toma la forma de factores principales, que son combinaciones lineales de las variables originales y que además tienen la propiedad de ser ortogonales entre sí (es decir, cada factor entrega información original no contenida en los factores anteriores o posteriores). Un número reducido de factores, que habitualmente fluctúa entre tres y ocho, explican un alto porcentaje de la información contenida en la matriz original de variables por observaciones” (Escobar y Berdegue, 1990).

Cada factor principal es una variable sintética construida a partir de las variables originales; es decir, cada observación (finca) puede ser identificada por sus coordenadas respecto de cada uno de los factores. Por lo tanto, estos factores pueden ser utilizados como variables de clasificación en el análisis de conglomerados. De esta forma se obtienen dos ventajas. Primero, se evita la necesidad de tener que seleccionar criterios de clasificación de entre las variables consideradas importantes según el marco teórico. Segundo, el peso de las variables originales en la clasificación será aquel que naturalmente hayan alcanzado en la conformación de los factores. La técnica empleada es el análisis de conglomerados o análisis de clasificación jerárquica ascendente” (Escobar y Berdegue, 1990).

El producto del análisis de conglomerados aplicado a la matriz de factores por observaciones es una clasificación jerárquica ascendente, expresada gráficamente en una figura denominada dendrograma (diagrama de árbol). La forma de este diagrama es tal que todas las observaciones se reúnen en un extremo en un solo grupo. En el otro extremo cada observación se encuentra aislada, constituyendo un grupo en sí misma. Las observaciones se van separando en grupos entre ambos polos como las ramas de un árbol: una primera ramificación puede arrojar dos o más grupos; una segunda ramificación puede subdividir a alguno de esos grupos en dos o más subgrupos y así sucesivamente hasta que la ramificación es tal que cada observación es un grupo. Se dice que esta clasificación es jerárquica por cuanto un grupo puede ser subgrupo de un grupo anterior y puede subdividirse a su vez. Cada una de las ramificaciones mostradas en el dendrograma tiene el potencial de ser seleccionada como un tipo de sistema de finca. El nivel al cual se decida hacer la selección de tipos dependerá del balance que el investigador haga de los siguientes elementos: a mayor cantidad de tipos mayor será la homogeneidad intratipos, mayor la heterogeneidad intertipos, y mayor el costo y el esfuerzo de investigación posterior. El análisis de clasificación jerárquica o de conglomerados permite al investigador jugar con una gama de opciones. Por ejemplo, puede seleccionar n tipos a un mismo nivel de homogeneidad interna de cada uno de ellos. También puede seleccionar uno o unos tipos a un nivel de homogeneidad interna, y otro u otros tipos a un nivel distinto (tipos "más finos" o "más gruesos", dependiendo de su importancia). Igualmente, puede definir un nivel de homogeneidad que arroje un número excesivo de tipos desde el punto de vista de los recursos disponibles, pero optar por trabajar solo con algunos de ellos y no con los restantes. O incluso puede seleccionar un tipo X, y trabajar a ese nivel algunos temas de investigación, pero en otros temas bajar a nivel de subtipos del tipo seleccionado” (Escobar y Berdegue, 1990).

Los grupos o tipologías identificados deben de presentar una alta variabilidad entre ellos, pero debe haber una variabilidad mínima dentro de cada grupo (Gonzales, 2007).

2.4 AGRICULTURA SUSTENTABLE

En la literatura científica existen varios conceptos de sustentabilidad de la agricultura, así Brown et al. (1987) lo definió como “la capacidad de un agroecosistema de mantener la calidad y cantidad de los recursos naturales a medio y largo plazo, conciliando la productividad agrícola con la reducción de los impactos al medio ambiente y atendiendo a las necesidades sociales y económicas de las comunidades rurales”.

Conway (1985) considera la sustentabilidad de la agricultura como “la capacidad de un agroecosistema para mantener su producción a través del tiempo superando, por un lado, las tensiones y forzamientos ecológicos y, por otro, las presiones de carácter socioeconómico”. La FAO define la agricultura sustentable como el “manejo y la conservación de la base de los recursos naturales y la orientación de cambio tecnológico e institucional, de manera a asegurar la obtención y la satisfacción continua de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. Tal desarrollo sustentable en la agricultura resulta en la conservación del suelo, del agua y de los recursos genéticos animales y vegetales; además de no degradar el ambiente, ser técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable” (FAO, 1991).

Altieri define como “un modo de agricultura que intenta proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo, mediante el uso de tecnologías y prácticas de manejo que mejoren la eficiencia biológica del sistema” (Altieri, 1994).

Según Sarandón (2002), los requisitos que debe cumplir una agricultura sustentable son: “debe ser suficientemente productiva, económicamente viable, ecológicamente adecuada (que conserve la base de recursos naturales y que preserve la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global), cultural y socialmente aceptable y técnicamente posible. Además de promover una producción acorde a la conservación de los recursos naturales, debe ser compatible con los intereses económicos de los agricultores; más aún, el análisis económico no debe basarse solamente en el análisis costo/beneficio de la economía convencional, sino que debe incorporar la depreciación del capital natural”.

Masera et al. (1999) indican que: “un sistema de manejo puede ser considerado sustentable cuando permite simultáneamente: a) conseguir un nivel alto de productividad mediante el uso eficiente y sinérgico de los recursos naturales y económicos, b) proporcionar una producción confiable, estable (no decreciente) y resiliente a perturbaciones en el tiempo, c) brindar flexibilidad (adaptabilidad) para amoldarse a nuevas condiciones del entorno económico y biofísico, por medio de procesos de innovación y aprendizaje, así como del uso de opciones múltiples, d) distribuir equitativamente los costos y beneficios del sistema entre diferentes grupos afectados o beneficiados, asegurando el acceso económico y la aceptación cultural de los sistemas propuestos, y e) poseer un nivel aceptable de autodependencia (autogestión), para poder responder y controlar los cambios inducidos desde el exterior, manteniendo su identidad y sus valores”.

Entre los diferentes marcos teóricos para evaluar la sostenibilidad se tiene los siguientes:

- PSR y DPSIR (Presión-estado-respuesta y Fuerza Motriz e Impacto). Fundamentada en la intervención humana (presión) sobre el medio y sus recursos (estado) y la réplica de la sociedad (respuesta) con políticas ambientales, económicas o sociales. A esto se le agrego fuerza motriz e Impacto. Tiene un enfoque analítico de causa/efecto de la dimensión ambiental. Su escala de análisis es nacional y regional (OECD, 1999)
- FESLM (framework for evaluating sustainable land management). La evaluación del manejo sustentable de las tierras propuesta se realiza a escala nacional, y evalúa la dimensión económica y ambiental, siendo el periodo de evaluación ex-post. Es fácil de implementar, pero no permite integrar los índices evaluados (Smyth y Dumanski, 1995)
- IICA (Instituto Interamericana de Cooperación para la Agricultura) propuesta por De Camino y Muller el año 1993. Tiene un enfoque analítico de relación causa/efecto y evalúa las dimensiones económica y ambiental. Se utiliza para análisis ex-post institucionales, y no permite integrar los índices evaluados (De Camino y Müller, 1993).

- MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad) está basado en la metodología FESLM el cual incorpora el análisis multicriterio con un enfoque normativo orientado a objetivos, evaluó la sustentabilidad a nivel de las tres dimensiones económica, ambiental y social. El periodo de la evaluación puede ser ex-post o ex-ante, la escala de análisis es a nivel de sistema agrario y de explotación agraria. Es posible integrar los índices obtenidos a través de grafico de ameba (Masera et al., 1999).
- SAFE (Sustainability Assessment of Farming and the environment Framework) La metodología fue diseñada con el objetivo de evaluar bosques estructurándose para sistemas agrarios, tiene un enfoque normativo orientado a objetivos donde se integran aspectos económicos, sociales y ambientales. El periodo de la evaluación es ex-post, la escala de análisis es a nivel de sistema agrario, de explotación agraria y de parcela. Es posible integrar los índices obtenidos (Van Cauwenbergh et al., 2007).
- CIFOR (Centro para la Investigación Forestal Internacional) desarrollado por el CIFOR con propuestas de criterios e indicadores genéticos que pueden formar parte de un conjunto más general de criterios e indicadores económicos, ambientales y sociales para el monitoreo de la sostenibilidad forestal a escala de las unidades de manejo forestal. Propone un criterio para la conservación de los recursos genéticos forestales y cuatro indicadores relacionados con los procesos que mantienen la diversidad genética. Para cada indicador, se sugieren conjuntos de verificadores que difieren en las características biológicamente relevantes que miden, en su precisión y en las instalaciones técnicas que requieren (Namkoong et al., 1996).

Para evaluar la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, Sarandón y Flores (2009) desarrollaron una metodología de análisis multicriterio dentro del marco MESMIS, que tiene una serie de pasos que permiten obtener los indicadores económico, ecológico y sociocultural (los mismos que se obtienen a través de encuestas, entrevistas y evaluaciones de campo), que sirven para calcular el índice general de sustentabilidad.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó en la Provincia de Tambopata del Departamento de Madre de Dios, ubicado en la Amazonia Sur del Perú (**Figura 2**), donde existen dos estaciones bien definidas: la húmeda, que se presenta desde los meses de noviembre hasta abril, caracterizada por la presencia de fuertes precipitaciones y altas temperaturas, y la estación seca que se caracteriza por la ausencia de lluvias y temperaturas más bajas, que se presentan desde los meses de mayo hasta octubre. El rango de precipitación fluctúa entre 1500 y 2500 mm anuales. Los suelos son aluviales antiguos, generalmente arcillosos rojos con baja fertilidad y pH ácido (3,47-6,00).

La población está conformada por 150 agricultores que tienen sistemas agroforestales con más de cuatro años de instaladas en la provincia de Tambopata. La muestra estimada es de 47 agricultores (**Tabla 1**), la misma que fue calculada de acuerdo a la ecuación siguiente (Aguilar, 2005):

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

N = Total de la población

Z_{α}^2 = Nivel de confianza al 90% (1.645)

% Error	Nivel de confianza	Valor de Z calculado en tablas
1	99%	2.58
5	95%	1.96
10	90%	1.645

p = proporción esperada (0.5)

q = 1 – p (en este caso 1-0.5 = 0.5)

d = precisión de 90% (0.1)

%	Valor d
90	0.1
95	0.05
99	0.001

Calculando el valor de n se tiene: $n = 46.8$

Para el presente estudio se consideró trabajar con 48 agricultores

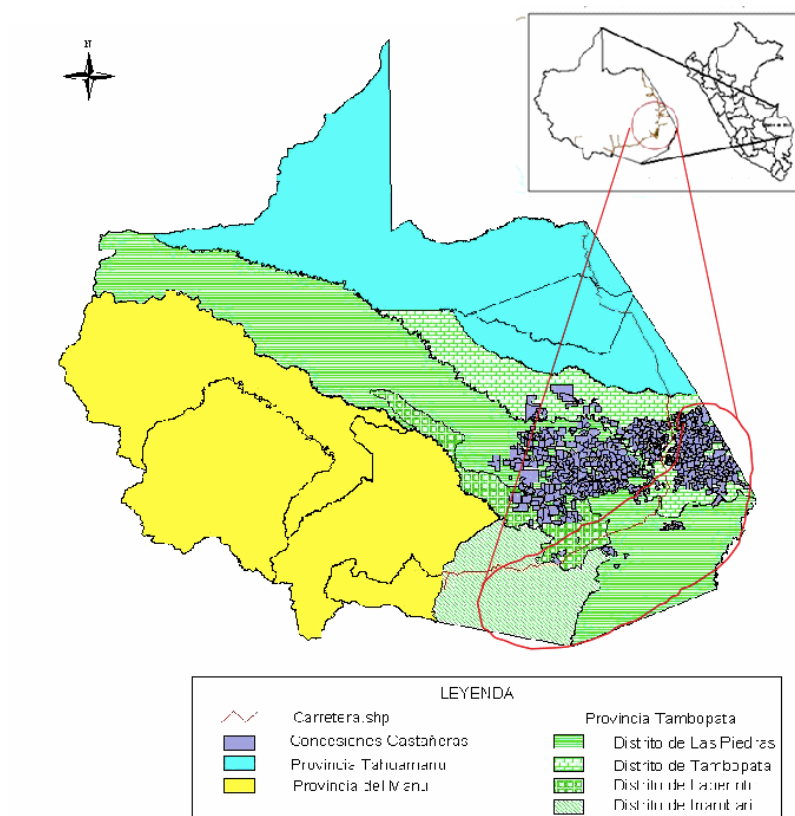


Figura 2. Localización del área de estudio

3.2 TIPIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

Se aplicaron encuestas estructuradas a los agricultores, cuyas variables tienen los siguientes indicadores (Escobar y Berdegue 1990): Tamaño de la finca, capitalización, estructura de la mano de obra disponible y empleada en la finca y fuera de ella, sistemas productivos existentes, nivel de intensificación tecnológica, tipo de tenencia de la tierra, calidad del suelo, composición del ingreso familiar, tipo y grado de articulación con los mercados de productos, localización geográfica y agroecológica, y capacidad de gestión, y de las metas y habilidades de los productores

Tabla 1. Lista de agricultores cuyas fincas fueron evaluadas

Código	Agricultor	Localidad	Código	Agricultor	Localidad
a1	Luciano Quispe Chani	Alegría	a25	Elías Vela Moreno	Infierno
a2	Carmelo Carmen Hanco	Alegría	a26	Gladis Llicahua Llicahua	Nueva Arequipa
a3	Basilides Mamani Puma	Alegría	a27	Víctor Huaman Quispe	Nueva esperanza
a4	Gotardo Roque Guerra	Alegría	a28	Faustino urbano Batallanos	Nueva esperanza
a5	Rosa Mamani Molina	Alegría	a29	Lino Melgar Quispe	Piñal
a6	Víctor Vargas Guerra	Alegría	a30	Carlos López López	Planchón
a7	Ramón Tineo Sandoval	Alegría	a31	Ricardo Torres Fernández	Puerto Trujillo
a8	Charles Tello Papa	Alegría	a32	Pedro Casanova Romero	Rompeolas
a9	Tito Tuesta Ortiz	Alegría	a33	Sabino Huamán Ccopa	Sabaluyoc
a10	Herbert Lobon Pérez	Bajo Tambopata	a34	Yoni Curinambe Leiva	San Francisco
a11	Víctor Zambrano Gonzales	Bajo Tambopata	a35	Jhon Ayala Chacón	San Francisco
a12	Filimon Leon Talaverano	Centromin	a36	Henry Curinambe Leiva	San Francisco
a13	Enock Lazo Peralta	Chorrillos	a37	Fredy Curinambe Leiva	San Francisco
a14	Alfredo Vela Vera	Chorrillos	a38	Estanislao Curinambe Chávez	San Francisco
a15	David Huamán Ramos	Progreso	a39	Agustín Maqqe Huamani	San Juan
a16	Julia Espinoza Valdez	Progreso	a40	Soledad Apaza Mamani	San Juan
a17	Luis Huanca Quispe	Progreso	a41	Cirilo Méndez Villafane	San Juan
a18	Nicolás Huanca Quispe	Progreso	a42	Agueda Calisaya Cervantes	San Juan
a19	Santos Ccuito Flores	Progreso	a43	Morgan Gonzales Chávez	San Juan
a20	Donato Huanca Jaqqehua	Progreso	a44	Alejandrina Mamani Quispe	Santa Rosa
a21	Sixto Huanca Jaqqehua	Progreso	a45	Efraín Pizarro Córdova	Santa Rosa
a22	Rufino Huanca Tocote	Progreso	a46	Andrés Parisaca Ríos	Santa Rosa
a23	Aderly Ccuito Flores	Progreso	a47	Hermenegildo Conza Huallpa	Villa Santiago
a24	María Champi Huamán	Florida Alta	a48	Teodoro Mamani Yanque	Villa Santiago

Para el procesamiento y análisis de la información se efectuaron análisis estadísticos multivariados planteados por Escobar y Berdegúe (1990):

- Descarte de variables que carecen de poder discriminatorio, para lo cual se calculó los coeficientes de variación de cada una de las variables, y fueron descartadas las que tuvieron un coeficiente inferior a 50%.
- El Análisis de Componentes Principales se efectuó con la finalidad de reducir el número de variables, preferentemente a 2 o 3 componentes, de tal manera que pueda facilitar el análisis respectivo. Con estos datos se hizo la rotación de los ejes factoriales por el método de Varimax, donde se generaron las variables sintéticas
- Análisis cluster o análisis de clasificación jerárquica donde se produjo un dendrograma.

- En el dendrograma se trazó una línea de corte para poder identificar los grupos de fincas con caracteres similares, una vez identificados los grupos se procedió a describir las características comunes existentes en ellos.

3.3 EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD

Para evaluar la sustentabilidad se aplicó la metodología propuesta por Sarandón (2002) que propone el uso de indicadores económico, ecológico y sociocultural. Para lo cual se utilizaron los datos de las encuestas estructuradas, observaciones y evaluaciones de campo. En todos los casos se utilizó una escala de 0-4, donde 0 equivale a menos sustentable, y 4 más sustentable (**Tabla 2, 3 y 4**).

Tabla 2. Indicadores y escalas de valoración de la Dimensión Económica

Dimensión Económica	Escala de calificación				
	0	1	2	3	4
A. Nivel de capitalización de la finca.					
A1.- Área de la finca	<8 ha	8-12 ha	12-20 ha	20-40 ha	>40 ha
A2.- Cantidad de especies arbóreas	<2	2-5	5-6	6-7	>7
A3.- Cantidad de especies cultivadas	<5	5-7	7-9	9-11	>11
A4.- Tipo de vivienda	choza/palos	madera deteriorada	madera sin piso	madera con piso	material noble
A5.- Movilidad y transporte	no tiene	motocicleta	trimoto	camioneta	tractor agrícola
B. Riesgo económico					
B1.- Diversificación para la venta	1 producto	2 productos	3 productos	4 productos	+4 productos
B2.- Número de vías de comercialización	1 canal	2 canales	3 canales	4 canales	+4 canales
B3.- Dependencia de insumos externos	80-100%	60-80%	40-60%	20-40%	0-20%
C. Ingresos por actividad AF.					
C1.- Ingreso económico neto mensual	< S/. 600	S/. 600-800	S/. 800-1200	S/. 1200-1600	> S/. 1600

Como indicadores químicos de la calidad del suelo se consideraron al pH, la materia orgánica y la acidez cambiante, ya que su uso fue validado en diferentes regiones del mundo de acuerdo a los siguientes antecedentes:

Orozco et al. (2015) encontró que los indicadores como el pH, C orgánico y acidez intercambiable son adecuados para monitorear la calidad química del suelo para suelos de Colombia, y estos son fáciles de medir y son sensibles a cambios en los sistemas de manejo.

Tabla 3. Indicadores y escalas de valoración de la Dimensión Ecológica

Dimensión Ecológica	Escala de calificación				
	0	1	2	3	4
A. Calidad del suelo					
A1.- Drenaje	mal drenado	débil. drenado	mod. drenado	bien drenados	fuert. drenados
A2.- Espesor del hor. A	< 5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	>20cm
A3.- Erosión	>10cm cárcava	< 10cm cárcava	poca	superficial	no hay señal
A4.- Cobertura del suelo	sin	< 25%	25-50%	50-75%	> 75%
A5.- pH	<3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5	>5
A6.- Materia orgánica	<0.5%	0.5-1%	1-1.5%	1.5-2%	>2%
A7.- Acidez cambiabile	>3	2.1-3	2.1-1	0.5-1	<0.5
B. Capacidad de resiliencia					
B1.- Retención de humedad	seco	seco-sequia	casi seco	casi húmedo	húmedo
B2.- Actividad biológica	no hay	pocas termitas	termitas y lombrices	lombriz + artrópodos	Abundanci lombrices
B3.- Cobertura del suelo	sin	< 25%	25-50%	50-75%	> 75%
B4.- Numero de macroinvertebrados	<50	50-100	100-150	150-200	>200
C. Manejo de diversidad					
C1.- Cantidad de especies arbóreas	<2	2-5	5-6	6-7	>7
C2.- Cantidad de especies cultivadas	<5	5-7	7-9	9-11	>11
C3.- Índice de diversidad macroinvertebrados	< 0.7	0.7-1	1-1.3	1.3-1.7	>1.7
C4.- Numero de ordenes macroinvertebrados	<5	5-6	6-7	7-8	>8
D. Conservación de la vida del suelo					
D1.- Retención de humedad	muy seco	seco	casi seco	casi húmedo	húmedo
D2.- Cobertura del suelo	sin cobertura	< 25%	25-50%	50-75%	> 75%
D3.- Numero de macroinvertebrados	<50	50-100	100-150	150-200	>200
D4.- Biomasa de macroinvertebrados	<5g	5-20g	20-40g	40-70g	>70g
D5.- Carbono almacenado en el SAF	<50 T/ha	50-80 T/ha	80-110 T/ha	110-140 T/ha	<140 T/ha

Tabla 4. Indicadores y escalas de valoración de la Dimensión Socio cultural

Dimensión Socio Cultural	Escala de calificación				
	0	1	2	3	4
A. Satisfacción de necesidades básicas en la localidad					
A1.- Tipo de vivienda	Choza/palos	Madera deteriorada inicial	Madera sin piso primaria	Madera con piso secundaria	Material noble superior
A2.- Acceso a la educación	sin acceso	medico temporal	sin posta medica	medico temp. + posta	con medico
A3.- Acceso a la salud	sin medico	medico temporal	sin posta medica	medico temp. + posta	con medico
A4.- Acceso a servicios básicos	sin acceso	teléfono	teléfono + luz	teléfono + luz+agua	todos los servicios
B. Nivel de intensificación tecnológica.					
B1.- Nivel de formación en agroforesteria	no tiene	1 curso	2 cursos	3 cursos	> 3 cursos
B2.- Adaptación tecnológica	no genera	copia vecino	copia de una ONG	copia de Universidad o Centro de Investigacion	adopta
C. Capacidad de gestión, metas y habilidades de los productores					
C1.- Pertenencia a una organización	independiente	1 org.	2 org.	3 org.	>3 org.
C2.- Grado de dependencia de AF	no depende	<20%	20-40%	41-90%	91-100%

Por otro lado, Camargo (2016) encontró que los niveles de pH, materia orgánica y acidez intercambiable son buenos indicadores físico químicos para evaluar la calidad del suelo en las condiciones de Minas Gerais, Brasil, en sistemas agroforestales agroecológicos. Así mismo, Sarandón y Flores (2009) consideran que la materia orgánica es un buen indicador, ya que su presencia en el suelo puede variar en un plazo relativamente corto (Sarandón y Flores, 2009).

Los macroinvertebrados del suelo también fueron considerados como indicadores, ya que estos intervienen en los procesos de infiltración, aireación e incorporación de materia orgánica en el suelo, su uso también fue validado en diferentes regiones del mundo, según los siguientes reportes:

Santos (2016) observo que las familias de Lumbricidae, Staphylinidae y Formicidae pueden considerarse como indicadores de calidad de suelo, ya que estos responden a diversos estímulos de intensidad de uso de suelo. De la misma forma, Camargo (2016) encontró que

el manejo del suelo es fundamental para la mantención de la macrofauna, y que estas poblaciones fueron fuertemente influenciadas por factores químicos (contenido de materia orgánica) y físicos (densidad del suelo), y estos factores fueron limitantes para la dispersión de estos organismos. La funcionalidad de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo también fue evidenciada por Rendón et al. (2011).

Para construir los indicadores de la calidad del suelo tales como pH, materia orgánica y acidez cambiante de la dimensión ecológica (Tabla 3), se tomaron muestras de suelo de todos los SAFs a 30cm de profundidad (con 10 submuestras en cada caso), y se enviaron para su análisis de caracterización al Laboratorio de suelos “LASPAF” de la UNALM.

Así mismo se evaluó la macrofauna del suelo para construir algunos indicadores de la capacidad de resiliencia, manejo de la diversidad y conservación de la vida del suelo de la dimensión ecológica (Tabla 3), para lo cual se identificó, cuantificó y pesó a todos los individuos visibles del suelo, de acuerdo a la metodología del Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF) (Anderson y Ingram, 1993).

Cálculo del Índice de Sustentabilidad

Para el cálculo de los indicadores de sustentabilidad Económico, Ecológico y Sociocultural (IK, IE y ISC respectivamente), y para el cálculo del índice de sustentabilidad General (ISGen) se utilizaron las formulas del **Tabla 5**.

Tabla 5. Fórmulas para el Cálculo del Índice de sustentabilidad

Indicador	Formula
Económico (IK)	$\frac{\left[\frac{A1 + 2A2 + 2A3 + A4 + A5}{7} \right] + \left[\frac{B1 + B2 + 2B3}{4} \right] + C1}{3}$
Ecológico (IE)	$\frac{\left[\frac{A1 + A2 + A3 + \dots + A7}{7} \right] + 2 \left[\frac{B1 + B2 + B3 + B4}{4} \right] + 2 \left[\frac{C1 + C2 + C3 + C4}{4} \right] + 2 \left[\frac{D1 + D2 + D3 + D4 + D5}{5} \right]}{7}$
Socio-cultural (ISC)	$\frac{2 \left[\frac{A1 + A2 + A3 + A4}{4} \right] + 2 \left[\frac{B1 + B2}{2} \right] + \left[\frac{C1 + 2C2}{3} \right]}{5}$
Índice General	$\frac{IK + IE + ISC}{3}$

Donde una finca es sustentable si $ISGen > 2$. Al mismo tiempo, ninguna de las tres dimensiones (IK, IE y ISC) debe tener un valor < 2 .

Análisis de datos

Con los datos obtenidos de las encuestas y los datos obtenidos en campo (evaluaciones visuales y de laboratorio) se hicieron análisis multivariados con la ayuda del software Excel y R.

3.3 RESERVAS DE CARBONO EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

Procedimiento para determinar la biomasa vegetal

- **Biomasa de los árboles.** Está representado por toda la biomasa (tronco, ramas y hojas) del árbol, con diámetros mayores de 2,5 cm. Para estimar el carbono almacenado en la biomasa leñosa se establecieron aleatoriamente 5 parcelas de 4 x 25 m, donde se determinó la altura con eclímetro y se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos árboles de 2,5 a 30,0 cm DAP, utilizando la cinta biométrica. Cuando se encontró árboles con DAP superiores a 30cm, se estableció una nueva parcela de 5 x 100m superpuesta.
- **Biomasa arbustiva y herbácea.** Es la biomasa de arbustos y herbáceas nativas con menos de 2,5 cm de diámetro, pastos y otras hierbas. Para estimarlo se marcó dos cuadrantes de 1 x 1 m al azar, se colectó toda la vegetación y se pesó, luego se llevó una muestra de 300 g para secar a la estufa.
- **Biomasa de la hojarasca.** Se colectó la hojarasca dentro un área de 0.5 x 0.5m y se llevó a la estufa para secarla.

Procedimiento del cálculo de la biomasa y del carbono de los árboles

Para estimar la biomasa de los árboles de especies identificadas, se utilizaron las ecuaciones alométricas de la **Tabla 6** (que son específicas para un determinado número de especies), las mismas que se detallan a continuación:

- *Calycophyllum spruceanum* (Gorbitz, 2011)
- *Jacaranda copaia* (Montero y Montagnini, 2005)
- *Theobroma cacao* (LARREA, 2007)
- *Cedrella odorata* (Brown y Iverson, 1992).
- *Swietenia macrophylla* (Brown y Iverson, 1992)
- *Bertholletia excelsa* (Schroth et al., 2002)

- *Theobroma grandiflorum* (Brancher, 2010)
- *Inga spp.* (Segura et al., 2006)
- Citricos (Ambia et al., 2003)
- *Bactris gasipes* (Szott et al., 1993).
- *Musa sp* (Hairiah et al., 2001).
- Palmeras (Frangi et al., 2007)
- *Hevea brasiliensis* (Fernandes et al., 2007)
- *Tectona grandis* (Rugnitz et al., 2009)
- *Coffea arabica* (Hairiah et al., 2001)
- Cecropia (Pearson et al., 2005)

Tabla 6. Ecuaciones alometricas para la determinación de la biomasa de algunas especies en los sistemas agroforestales.

Especie	Ecuacion	R ²	Fuente
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	$Y = 0.072 * D^{2.642}$	0.98	Gorbitz, 2011
<i>Jacaranda copaia</i>	$\ln(Y) = -4.398 + 2.765 * \ln(D)$	0.98	Montero y Montagnini, 2005
<i>Theobroma cacao</i>	$Y = 0.4849 D^{1.42}$	ND	Larrea, 2007
<i>Cedrella odorata</i> <i>Swietenia macrophylla</i>	$Y = 21.30 - 6.95 * D + (0.74 D^2)$	ND	Brown e Inverson, 1992
<i>Bertholletia excelsa</i>	$Y = -18.1 + 0.663AB + 0.000384AB^2$	0.99	Schroth et al. 2002
<i>Theobroma grandiflorum</i>	$Y = 4.1194D - 5.7818$	0.92	Brancher, 2010
<i>Inga spp.</i>	$\log_{10} Y = -0.889 + 2.317 (\log_{10} D)$	ND	Segura et al (2006)
Citricos	$Y = 6.64 + 0.279(AB) + 0.000514(AB)^2$	0.94	IPCC, 2001
<i>Bactris gasipaes</i>	$Y = 0,74H^2$	0.95	Szott et al, 1991
<i>Musa sp</i>	$Y = 0.0303D^{2.1345}$	0.99	Hairiah et al., 2001
Palmeras	$Y = 10 + 6.4(H)$	0.96	Frangi and Lugo, 1985
<i>Hevea brasiliensis</i>	$Y = \exp(-4.07305 + 1.63781 \ln(D) + 1.21724 \ln(H))$	0.89	Fernandes et al., 2007
<i>Tectona grandis</i>	$Y = 0.153 * D^{2.382}$	ND	Rüginitz et al., 2009
<i>Coffea arabica</i>	$Y = 0.2811D^{2.0635}$	0.94	Hairiah et al., 2001
Cecropia	$Y = 12.764 + 0.2588 (D)^{2.0515}$	ND	Pearson et al 2005

Y: Biomasa (kg); D: Diametro a la altura del pecho; AB: Area basal; H:Altura total; ln: logaritmo natural

Para otras especies, se utilizó la ecuación alométrica general para especies del Neotrópico propuesta por Chave et al. (2005). Para lo cual también se requiere el DAP, H y la densidad de la madera de las especies (p), donde los autores identificaron la densidad de las maderas de 2456 especies de árboles tropicales para poder efectuar los cálculos respectivos (ver ecuación 1).

$$Ec 1) B = \exp(-2.977 + \ln(\rho * DAP^2 * H))$$

Para el cálculo de la biomasa del sistema radicular de las especies arbóreas y arbustivas (ecuación 2), se utilizó la ecuación planteada por Ambia et al. (2003), donde previamente es necesario haber calculado la biomasa arbórea respectiva (B).

$$Ec 2) \exp(-1.0587 + (0.8836 * \ln(B)))$$

El stock de carbono en la vegetación se obtuvo multiplicando la biomasa forestal por un factor de 0,45 (Brown, 1997).

Procedimiento para determinar la biomasa arbustiva/herbácea (t ha⁻¹)

Para estimar esta biomasa en t/ha, se extrapolo el valor del peso seco de 1m² a 10000m².

Procedimiento para determinar la biomasa de la hojarasca

Para estimar esta biomasa en t/ha, se extrapolo el valor del peso seco de 0.25m² a 10000m², luego se asumió que el 68.5% de esta biomasa es carbono.

Procedimiento para determinar el carbono del suelo

En las fincas del presente estudio se tomaron muestras de suelo de los primeros 30 cm de profundidad y se determinó el contenido de materia orgánica, lo mismo se hizo entre los 30 cm y los 100 cm siguientes. Teniendo en cuenta la densidad aparente, se calculó el peso del suelo, luego se determinó la cantidad de materia orgánica existente en el suelo en t ha⁻¹. Finalmente, este valor se dividió entre 1.71 para convertirlo a carbono.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 TIPIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

De las 48 encuestas efectuadas, todas fueron validas, y cada encuesta tuvo 65 variables evaluadas, con las que se efectuó el análisis de componentes principales.

- **Análisis de Componentes Principales**

Haciendo el cálculo analítico de los factores a partir de las variables originales, y de acuerdo a la **Tabla 7** se puede observar que con la extracción de 4 componentes se tiene el 59.35% de la varianza total.

Tabla 7. Varianza total explicada por cada componente

Componente	Total	Autovalores iniciales	
		% de varianza	% acumulado
1	4.24	22.33	22.33
2	2.89	15.21	37.53
3	2.58	13.58	51.12
4	1.56	8.23	59.35

Se observa que el componente 1 tiene la mayor varianza acumulada (22.33%) seguido del componente 2 que tiene una varianza de 15.21%

El componente 1 tiene correlación elevada con las variables: p16, p17, p18, p19, p21 (que corresponden a las áreas totales de la finca, área de bosque, de purma, de pastizal y del SAF) p36 (título de propiedad) y p52 (biomasa de macroinvertebrados), las mismas que están vinculadas con los tipos de uso, área y propiedad de la finca (**Tabla 8**).

El componente 2 tiene correlación elevada con las variables: p2 (edad del agricultor), p8 (número de personas que viven en la finca) y p10 (tipo de vivienda), las mismas que están vinculadas con aspectos socio culturales.

Tabla 8. Identificación e interpretación de los factores extraídos

Componente	Variable	Carga factorial	Interpretación
Primero	p16	0.97	Tipos de uso, área y propiedad de la finca
	p17	0.83	
	p18	0.75	
	p36	0.34	
	p37	0.97	
	p52	0.33	
	p19	-0.48	
	p21	0.42	
Segundo	p2	0.23	Aspectos sociculturales
	p8	0.28	
	p10	0.90	
Tercero	p9	0.66	Características del SAF
	p41	0.35	
	p50	0.87	
	p51	0.70	
	p55	0.28	

El componente 3 tiene correlación elevada con las variables: p9 (localidad donde está la finca), p41 (tipo de movilidad del agricultor), p50 (cantidad de carbono en la vegetación del SAF), p51 (edad del SAF) y p55 (tipo de SAF), las mismas que están vinculadas a las características del SAF.

Las variables vinculadas al tipo de uso, área y propiedad de la finca, las características del SAF y los aspectos socio culturales fueron importantes para poder hacer la tipificación en el presente estudio, resultados que son similares a los encontrados por Hernández et al. (2013), quienes sugieren que variables como tamaño de la finca, número de individuos, producción, ingresos y nivel educativo son las más útiles para clasificar a los productores. Köbrich et al. (2003) señalan que las diferencias en el tamaño de unidad de producción, tenencia de la tierra, tipo de tierras y nivel de mecanización son factores reconocidos en la formación de conglomerados.

Asimismo, Solano et al. (2001) y Gaspar et al. (2011) reportan hallazgos similares. Por otro lado, Tuesta et al. (2014) en la tipificación de Sistemas Agroforestales con cacao encontraron que las variables más importantes son tecnología y gestión, económico, familiar, actividad agrícola y recursos naturales.

- **Análisis de Clusters o Conglomerados**

Con las variables sintéticas generadas en el análisis de componentes principales se procedió al análisis cluster, con el propósito de formar grupos de sistemas agroforestales similares. Se utilizó la medida de distancia también llamada medida de disimilitud y desemejanza, aplicándose la distancia de Chord, con el cual se tuvo 6 clusters o grupos de agricultores (**Figura 3**).

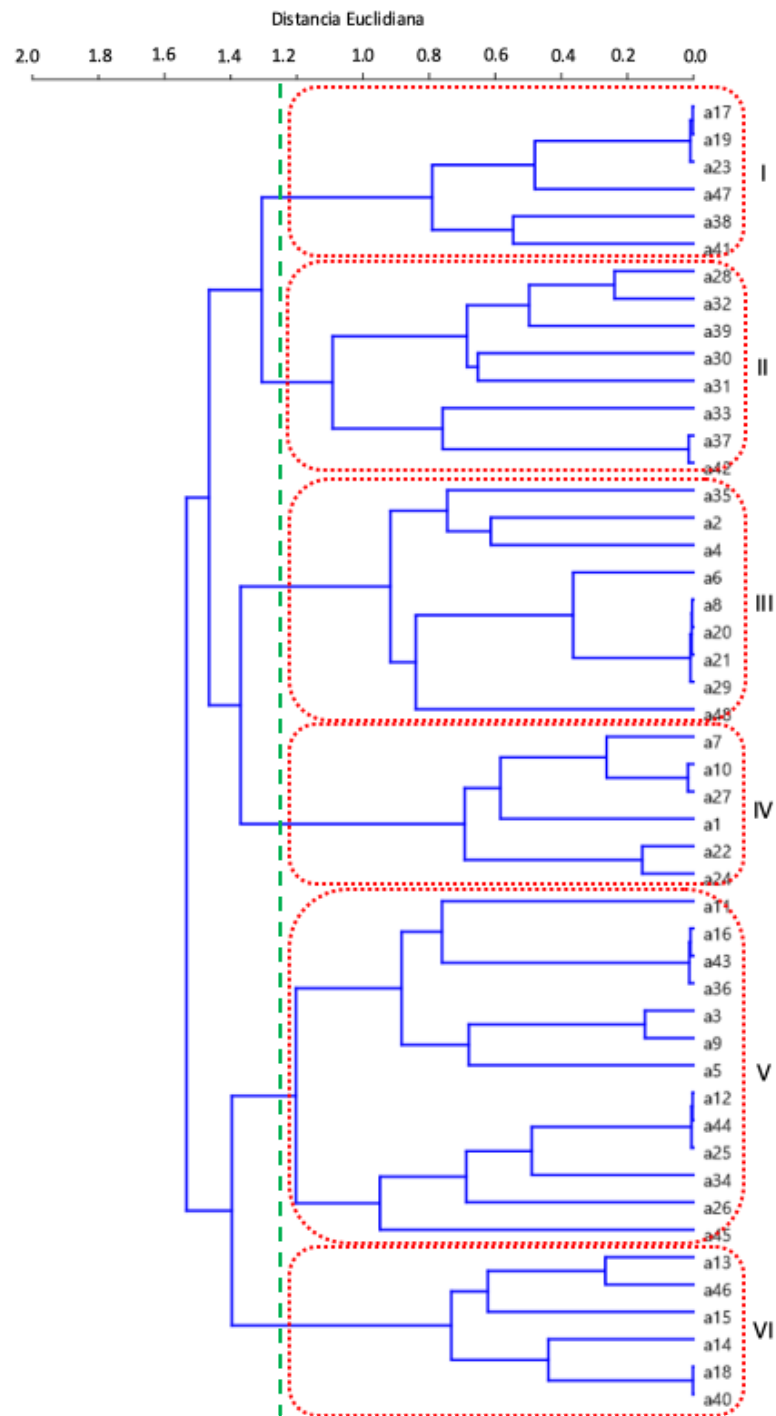


Figura 3. Análisis cluster y formación de grupos de SAFs.

Tipos de Unidades de Producción Agroforestal

En los SAFs evaluados se identificaron las siguientes especies cultivadas: cacao (*Theobroma cacao*), copoazu (*Theobroma grandiflorum*), naranja (*Citrus sinensis*), plátano (*Musa paradisiaca*), piña (*Ananas comosus*) y arazá (*Eugenia stipitata*) con la combinación de especies forestales como: castaña (*Bertholletia excelsa*), achihua (*Jacaranda copaia*), pashaco (*Schizolobium amazonicum*), guaba (*Inga sp*), sapote (*Matisia cordata*), tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), teca (*Tectona grandis*), caucho (*Hevea brasiliensis*), cetico (*Cecropia sp*), tahuari (*Tabebuia serratifolia*), pijuayo (*Bactris gasipaes*), aguaje (*Mauritia flexuosa*), huasai (*Euterpe precatoria*), capirona (*Calicophyllum megistocaulum*), shimbillo (*Inga sp*) y lupuna (*Cavanillesia umbellata*).

El grupo I está conformado por 6 agricultores (**Tabla 9**), los mismos que tienen sus fincas en los Distritos de Inambari, Tambopata, y Las Piedras a base de las especies de cacao, copoazu, naranjas y plátanos con las especies forestales de ishpingo, tahuari, pashaco, lupuna y guaba. El área total de la finca tiene un promedio de 25.83 ha, y el área destinada a sistemas agroforestales en promedio es de 4.75 ha. La edad promedio del SAF es 7 años, el agricultor tiene ingresos mensuales entre S/. 400-2500/mes (**Figuras 4 y 5**).

Tabla 9. Ubicación de las parcelas del grupo I

Código	Agricultor	Localidad	Distrito	Asociación de especies
a17	Hermenegildo Conza Huallpa	Villa Santiago	Inambari	cacao-plátano-pacay-pashaco
a19	Gladis Llicahua	Nueva Arequipa	Inambari	cacao-copoazu-guaba-pashaco
a23	Sabino Huamán Ccopa	Sabaluyoc	Las Piedras	copoazu-plátano-pashaco
a38	Tito Tuesta Ortiz	Alegria	Las Piedras	cacao-plátano-shimbillo-lupuna
a41	Alfredo Vela Vera	Chorrillos	Tambopata	copoazu-naranja-guaba
a47	Herbert Lobon	Bajo Tambopata	Tambopata	cacao-plátano-ishpingo-tahuari

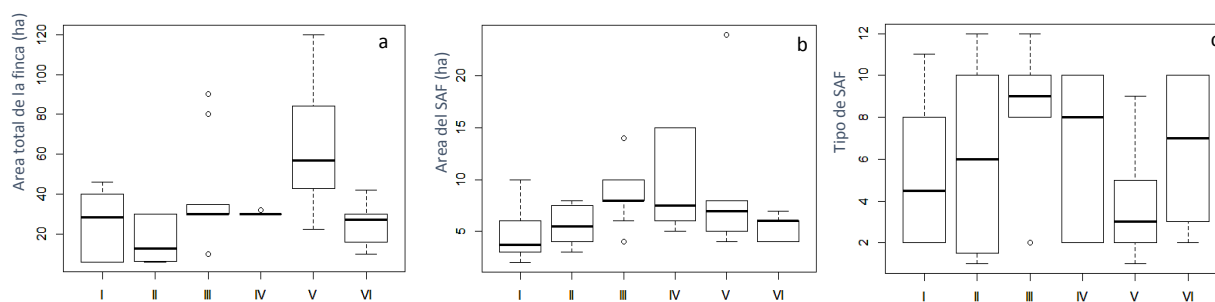


Figura 4. Características de la finca: a) Área total de la finca, b) Área del SAF y c) Tipo de SAF

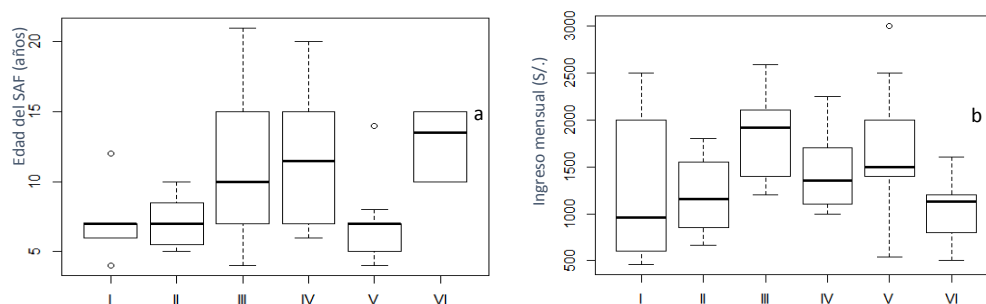


Figura 5. Características de la finca: a) Edad del SAF y b) Ingreso mensual del agricultor

El grupo II (**Tabla 10**) conformado por 8 agricultores que tienen sus fincas en los Distritos de Las Piedras, Inambari y Tambopata a base de las especies de cacao, copoazu, piña y limon con las especies forestales de castaña, tornillo, pashaco, tahuari, cetico, chimicua, caoba, quillabordon y guaba.

Tabla 10. Ubicación de las parcelas del grupo II

Código	Agricultor	Localidad	Distrito	Asociación de especies
a28	Jhon Ayala Chacón	San Francisco	Las Piedras	cacao-guaba
a30	Fredy Curinambe Leiva	San Francisco	Las Piedras	cacao-guaba-tornillo
a31	Estanislao Curinambe Chavez	San Francisco	Las Piedras	cacao-guaba
a32	Basilides Mamani Puma	Alegria	Las Piedras	cacao-naranja-castaña
a33	Gotardo Roque Guerra	Alegria	Las Piedras	copoazu-naranja-castaña-pashaco
a37	Charles Tello Papa	Alegria	Las Piedras	limon-pasahaco-tahuari
a39	Aderly Ccuito Flores	El Progreso	Inambari	piña-cetico-tornillo
a42	Pedro Casanova Romero	Rompeolas	Tambopata	copoazu-chimicua-caoba-quillabordon

El área total de la finca tiene un promedio de 16.88 ha, y el área destinada a sistemas agroforestales en promedio es de 5.63 ha. La edad promedio del SAF es 7 años, el agricultor tiene ingresos mensuales entre S/. 700-1800/mes, tal como se mostró anteriormente en las Figuras 4 y 5.

El grupo III está conformado 9 agricultores (**Tabla 11**) que tienen sus fincas en los Distritos de Inambari, Las Piedras y Tambopata a base de las especies de copoazu, cacao, naranja, platano y pijuayo con las especies forestales de castaña, achihua, tornillo, leucaena, pashaco, pacay, sapote y mamey. El área total de la finca tiene un promedio de 40.56 ha, y el área destinada a sistemas agroforestales en promedio es de 8.67 ha. La edad promedio del SAF es 11 años, el agricultor tiene ingresos mensuales entre S/. 1300-2700/mes, tal como se mostró anteriormente en las Figuras 4 y 5.

Tabla 11. Ubicación de las parcelas del grupo III

Código	Agricultor	Localidad	Distrito	Asociación de especies
a2	Agustin Maqqe Huamani	San Juan	Inambari	copoazu-piña-pijuayo-castaña
a4	Cirilo Mendez Villafane	San Juan	Inambari	piña-achihua-castaña-tornillo
a6	Julia Espinoza Baldez	El Progreso	Inambari	copoazu-pashaco-castaña-tornillo
a8	Nicolas Huanca Quispe	El Progreso	Inambari	copoazu-castaña
a20	Donato Huanca Jaquehua	El Progreso	Inambari	copoazu-castaña-leucaena
a21	Sixto Huanca Jaquehua	El Progreso	Inambari	copoazu-platano-achihua-castaña-pacay
a29	Henry Curinambe Leiva	San Francisco	Las Piedras	cacao-tornillo-achiu
a35	Victor Vargas Guerra	Alegria	Las Piedras	cacao-guaba-achihua-pashaco
a48	Victor Zambrano Gonzales	Bajo Tambopata	Tambopata	cacao-naranja-castaña-sapote-mamey

El grupo IV está conformado por 6 agricultores (**Tabla 12**), los mismos que tienen sus fincas en los Distritos de Inambari y Las Piedras a base de las especies de cacao, copoazu, platano y naranja con las especies forestales de guaba, castaña, aguaje, pashaco, tornillo, sacsa, teca, achuhua, caucho y pijuayo. El área total de la finca tiene un promedio de 30.33 ha, y el área destinada a sistemas agroforestales en promedio es de 9.33 ha. La edad promedio del SAF es 12 años, el agricultor tiene ingresos mensuales entre S/. 1000-2300/mes, tal como se mostró anteriormente en las Figuras 4 y 5.

Tabla 12. Ubicación de las parcelas del grupo IV

Código	Agricultor	Localidad	Distrito	Asociación de especies
a1	David Huamán Ramos	El Progreso	Inambari	cacao-guaba-castaña
a7	Luis Huanca Quispe	El Progreso	Inambari	copoazu-aguaje-castaña-tornillo
a10	Víctor Huamán Quispe	Nva. esperanza	Inambari	cacao-copoazu-pashaco-sacsa-teca
a22	Rufino Huanca Tocote	El Progreso	Inambari	copoazu-naranja-achihua-castaña-pijuayo
a24	Carlos López López	Planchon	Las Piedras	copoazu-platano-caucho-castaña
a27	Yoni Curinambe Leiva	San Francisco	Las Piedras	cacao-guaba-achiu

El grupo V conformado por 13 agricultores (**Tabla 13**), los mismos que tienen sus fincas en los Distritos de Inambari, Las Piedras y Laberinto a base de las especies de cacao, copoazu, naranja, plátano y macambo con las especies forestales de guaba, pashaco, tornillo, castaña, shimbillo, lupuna, pijuayo y caucho El área total de la finca tiene un promedio de 64.42 ha, y el área destinada a sistemas agroforestales en promedio es de 7.69 ha. La edad promedio del SAF es 7 años, el agricultor tiene ingresos mensuales entre S/. 600-3000/mes, tal como se mostró anteriormente en las Figuras 4 y 5.

Tabla 13. Ubicación de las parcelas del grupo V

Código	Agricultor	Localidad	Distrito	Asociación de especies
a3	Soledad Apaza Mamani	San Juan	Inambari	cacao-copoazu-platano-guaba
a5	Agueda Calisaya Cervantes	San Juan	Inambari	cacao-guaba
a9	Alejandrina Mamani Quispe	Santa Rosa	Inambari	cacao-aguaje-pashaco-tornillo
a11	Faustino Urbano Batallanos	Nva. esperanza	Inambari	cacao-capirona-cast-lupuna-pijuayo-torn.
a12	Efraín Pizarro Cordova	Santa Rosa	Inambari	cacao-naranja-guaba
a16	Ricardo Torres Fernandez	Puerto Trujillo	Inambari	cacao-platano-pijuayo-guaba-pashaco
a25	Luciano Quispe Chani	Alegría	Las Piedras	copoazu-plátano-caucho
a26	Carmelo Carmen Hanco	Alegría	Las Piedras	cacao-naranja-guaba-castaña
a34	Rosa Mamani Molina	Alegría	Las Piedras	copoazu-plátano-teca-castaña
a36	Ramón Tineo Sandoval	Alegría	Las Piedras	cacao-plátano-guaba
a43	Lino Melgar Quispe	Piñal	Las Piedras	cacao-guaba-pashaco
a44	Morgan Gonzales Chávez	San Juan	Inambari	cacao-copoazu-guaba
a45	María Champi Huamán	Florida Alta	Laberinto	copoazu-macambo-carambola-castaña

El grupo VI conformado por 6 agricultores (**Tabla 14**), los mismos que tienen sus fincas en los Distritos de Inambari, y Tambopata a base de las especies de cacao, copoazu, naranja, plátano y araza con las especies forestales de guaba, pashaco, tornillo, castaña, lupuna, pijuayo, caucho, cedro y sapote. El área total de la finca tiene un promedio de 25.50 ha, y el área destinada a sistemas agroforestales en promedio es de 5.50 ha. La edad promedio del SAF es 13 años, el agricultor tiene ingresos mensuales entre S/. 500-1700/mes, tal como se mostró anteriormente en las Figuras 4 y 5.

Tabla 14. Ubicación de las parcelas del grupo VI

Código	Agricultor	Localidad	Distrito	Asociación de especies
a13	Andrés Parisaca	Santa Rosa	Inambari	cacao-naranja-guaba
a14	Santos Ccuito Flores	El Progreso	Inambari	copoazu-achihua-castaña-tornillo
a15	Filimon León Talaverano	Centromin	Inambari	copoazu-araza-achihua-pashaco-lupuna
a18	Teodoro Mamani Yanque	Villa Santiago	Inambari	cacao-castaña-cedro-lupuna-pijuayo
a40	Enock Lazo	Chorrillos	Tambopata	copoazu-castaña-cedro-pashaco
a46	Elías Vela Moreno	Infierno	Tambopata	copoazu-plátano-teca-sapote

El área de los SAFs III y IV es mayor que en el resto de los SAFs, mientras que los SAFs I y VI tienen áreas más pequeñas (**Figura 4b**). En forma general se reportan predominantemente 6 especies cultivadas combinadas con 16 especies forestales, encontrándose más diversidad de especies de plantas y macrofauna en el suelo en el SAF III, donde tal como plantean (Buyer et al., 2017), podría haber mejoras en la salud del suelo y

más sostenibilidad en estos agroecosistemas, así mismo; este tipo de SAF tiene estructuras bióticas-sociales funcionalmente complejas, útiles para satisfacer múltiples necesidades de bienes, uso y cambio (Navarro et al., 2012). La combinación de especies forestales y cultivadas en el SAF V es menos diversa. Por otro lado, los SAFs I, II y V son los más jóvenes que tienen entre 6 y 7 años de instalados (Figura 5a). Los mayores ingresos económicos mensuales se observan en el SAF III, mientras que en los SAFs II y VI se tienen los ingresos mensuales más bajos (**Figura 5b**).

Académicamente los tipos de SAFs encontrados son elementos básicos para futuras investigaciones tales como diversidad, stock de carbono y otros útiles para entender mejor los bienes y servicios que estos ofrecen, y como lo sugieren Tuesta et al. (2014) si en el futuro se implementan proyectos de mejora tecnológica u otros, estos deberían considerar las tipologías encontradas en la zona de estudio.

4.2 SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

- **Sustentabilidad Económica**

Se encontró que los sistemas agroforestales I, III, IV, V y VI son sustentables económicamente, teniendo el índice de sustentabilidad más alto el tipo de SAF V, esto puede ser explicado por la estrategia de diversificación económicamente eficiente planteada por Paul et al. (2017), donde hay interacciones beneficiosas entre árboles fertilizantes (Coulibaly et al. 2017) y cultivos y por lo tanto una mayor diversificación de ingresos. Los índices más bajos se observan en los SAFs II, VI y I (**Tabla 15**).

El índice de sustentabilidad económico del SAF II es 1.97, valor inferior a 2 que lo hace no sustentable, debido principalmente a que el área destinada al SAF es pequeña (5.63 ha promedio) con respecto a los SAFs III, IV y V. Así mismo está dominado principalmente por el cultivo de cacao y naranja bajo sombra de guaba y otras pocas especies forestales, y sus ingresos mensuales fluctúan entre S/. 700-1800. Para mejorar los ingresos de los productores agroforestales por los servicios prestados a la sociedad (cuya conciencia debe ser reforzada), Gaspar et al. (2016) plantean que es necesario implementar políticas específicas y complementar las existentes.

Tabla 15. Índices de Sustentabilidad Económica por SAF

Indicadores	Tipo de SAF					
	I	II	III	IV	V	VI
A. Nivel de capitalización de la finca						
A1 Área de la finca	1.50	0.88	2.33	2.00	3.31	1.67
A2 Cantidad de especies arbóreas	2.17	2.00	2.11	2.00	1.38	2.17
A3 Cantidad de especies cultivadas	3.00	2.13	2.56	2.33	2.62	2.83
A4 Tipo de vivienda	3.17	1.50	2.11	0.33	1.23	1.33
A5 Movilidad y transporte	1.33	1.00	1.44	1.50	1.62	1.67
B. Riesgo Económico						
B1 Diversificación para la venta	3.33	2.38	2.78	3.17	2.85	2.83
B2 Número de vías de comercialización	2.33	0.88	1.56	1.50	1.23	1.67
B3 Dependencia de insumos externos	2.67	2.63	3.00	3.50	2.92	3.17
C. Ingreso por actividad AF						
C1 Ingreso económico mensual	2.00	2.13	3.56	2.83	3.08	1.67
Índice de Sustentabilidad Económico (IK)	2.36	1.97	2.77	2.51	2.53	2.16

La **Figura 6** demuestra que el SAF II tiene el área de finca más pequeña, utiliza pocas especies cultivadas, los agricultores en general viven en viviendas precarias, tienen limitado acceso a la movilidad y transporte, y sus vías de comercialización son pocas, coincidiendo con lo reportado por la FHIA (2016), donde buena parte de las frutas producidas en los SAFs sencillamente se pierde por falta de oportunidades adecuadas de mercado, así mismo; un 70% de la producción del cacao se vende a intermediarios informales, reduciendo los ingresos de los agricultores.

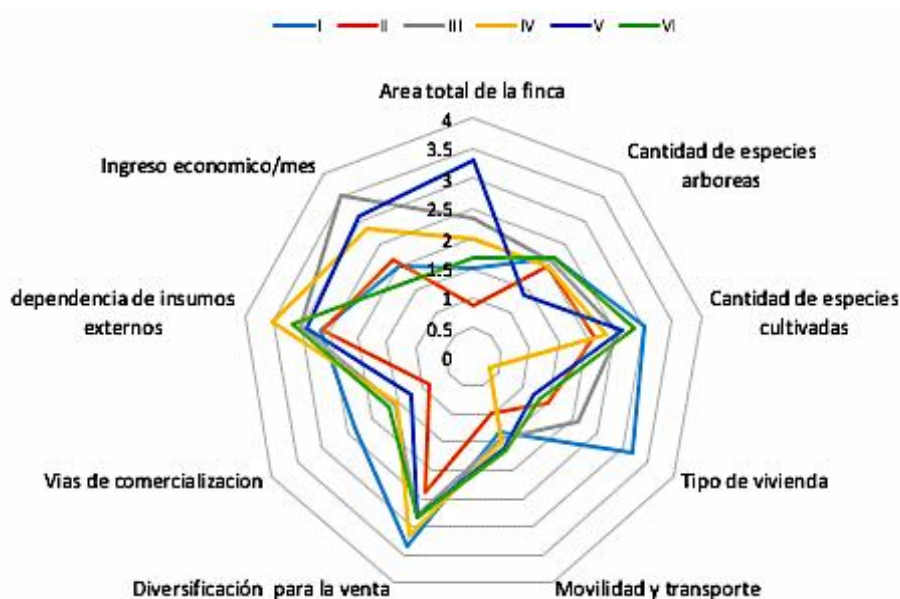


Figura 6. Indicadores de sustentabilidad económica

- **Sustentabilidad Ecológica**

De acuerdo al **Tabla 16**, los 6 tipos de sistemas agroforestales tienen índices superiores a 2, por lo tanto, son sustentables ecológicamente, observándose los índices de sustentabilidad más altos los tipos de SAF III, y IV y el índice más bajo se observa en el SAF II.

Tabla 16. Índices de Sustentabilidad Ecológica por SAF

Indicadores	Tipo de SAF					
	I	II	III	IV	V	VI
A. Calidad del suelo						
A1 Drenaje	3.33	3.25	3.33	3.00	3.31	3.33
A2 Color y espesor del horizonte A	1.67	0.88	1.00	1.17	1.23	1.67
A3 Erosión	3.83	4.00	3.78	4.00	3.69	4.00
A4 Cobertura del suelo	3.67	3.75	4.00	4.00	4.00	3.83
A5 ph	3.17	2.63	1.44	1.67	2.62	2.17
A6 Materia orgánica	2.00	1.75	2.67	2.00	2.31	3.17
A7 Acidez cambiabile	3.17	3.13	1.67	1.83	2.31	2.50
B. Capacidad de resiliencia						
B1 Retención de humedad	3.00	2.88	3.67	3.50	3.31	3.83
B2 Actividad biológica	3.00	2.63	3.00	2.83	2.62	2.67
B3 Cobertura del suelo	3.67	3.75	4.00	4.00	4.00	3.83
B4 Cantidad de macrofauna	2.50	2.38	2.78	3.67	2.46	1.33
C. Manejo de la diversidad						
C1 Cantidad de especies arbóreas	2.83	2.13	2.11	2.00	1.38	2.50
C2 Cantidad de especies cultivadas	3.00	2.38	2.56	2.33	2.62	2.83
C3 ID de Shannon de macrofauna	3.00	2.75	3.67	2.00	2.69	3.00
C4 Numero de ordenes	3.00	2.75	3.67	3.33	2.46	2.50
D. Conservación de la vida del suelo						
D1 Retención de humedad	3.00	2.88	3.67	3.50	3.31	3.83
D2 Cobertura del suelo	3.67	3.75	4.00	4.00	4.00	3.83
D3 Cantidad de macrofauna	2.50	2.38	2.78	3.67	2.46	1.33
D4 Biomasa de la macrofauna	1.67	1.50	2.11	1.83	2.31	1.00
D5 Carbono almacenado	1.50	1.25	2.11	2.17	1.54	3.50
Índice de Sustentabilidad Ecológico (IE)	2.84	2.61	3.02	2.92	2.71	2.80

Respecto a la calidad del suelo, el SAF II tiene suelos con una delgada capa de materia orgánica (tierra negra) cerca de la superficie, hecho que explica su bajo contenido de materia orgánica. El pH de los suelos de los SAFs III y IV es extremadamente ácido, los mismos que

contienen aluminio a niveles tóxicos, siendo mejores las condiciones de pH y de acidez cambiables para las plantas en los SAFs I, V y II (**Figura 7**).

Todos los SAFs tienen una buena cobertura del suelo con abundante hojarasca que mejora las condiciones de conservación del suelo y del agua, así como las condiciones de vida en él (Udawatta et al. 2017). Asimismo, cubre y protege el suelo de la erosión, tal como puede apreciarse en la **Figura 7**.

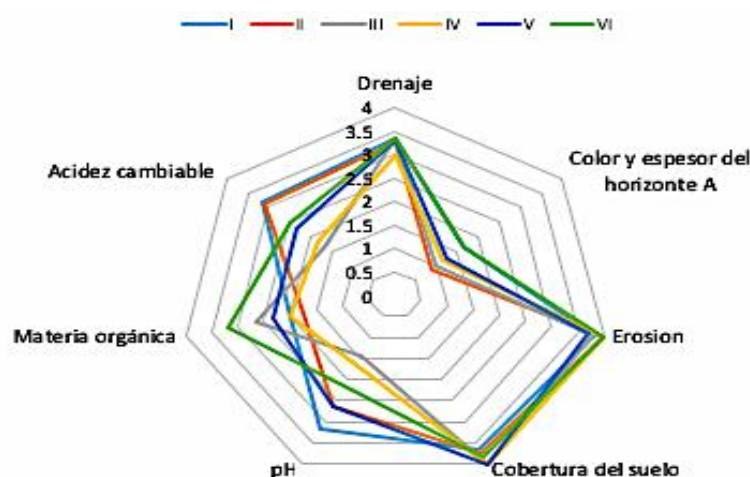


Figura 7. Indicadores de la calidad del suelo

El SAF III tiene mejor capacidad de retención de humedad por la presencia de abundante hojarasca en el suelo en forma de cobertura (que le hace soportar en mejores condiciones a la planta durante el periodo de sequía). Asimismo, se ha encontrado mayor actividad biológica en el suelo con la presencia de más cantidad de ordenes macroinvertebrados, y un índice de diversidad de Shannon de macroinvertebrados también alto y que en concordancia con (Nair et al. 2008) esta diversidad que está encima y debajo del suelo proporciona más estabilidad y resiliencia al sistema, así mismo proporcionan conectividad con los bosques y otras características del paisaje a nivel de paisaje y cuenca.

En los SAFs I, VI y III hay una mayor diversificación de cultivos, donde se tiene una mayor presencia de especies forestales y cultivadas. El SAF IV tiene mayor cantidad de macroinvertebrados en el suelo; sin embargo, el índice de diversidad de macroinvertebrados es el más bajo de todos los SAFs, siendo este valor el más alto en el SAF III, donde también se encontró una mayor cantidad de órdenes de macroinvertebrados (**Figuras 8 y 9**).

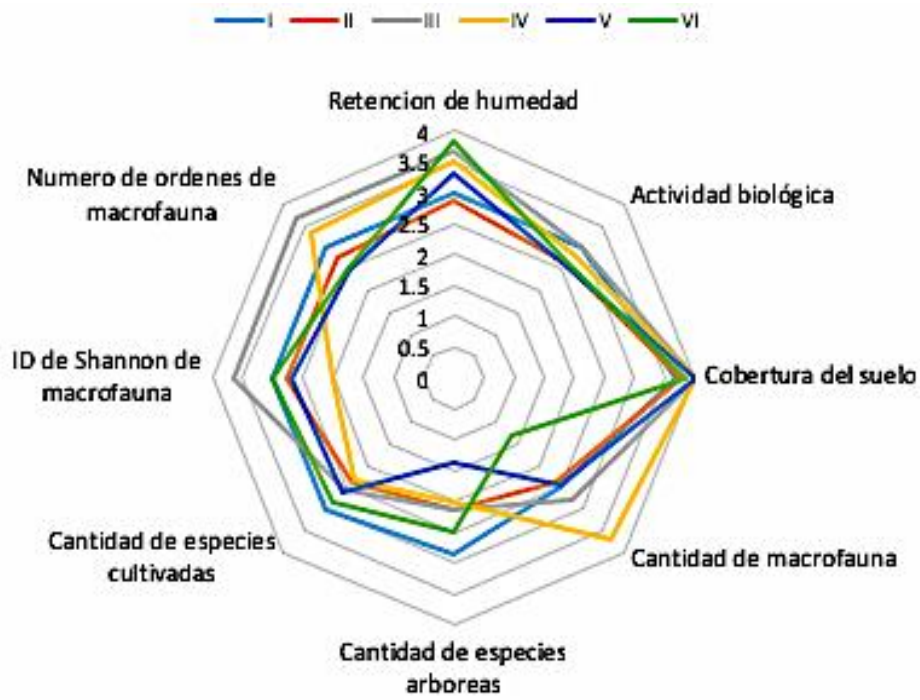


Figura 8. Indicadores de la capacidad de resiliencia y manejo de la diversidad

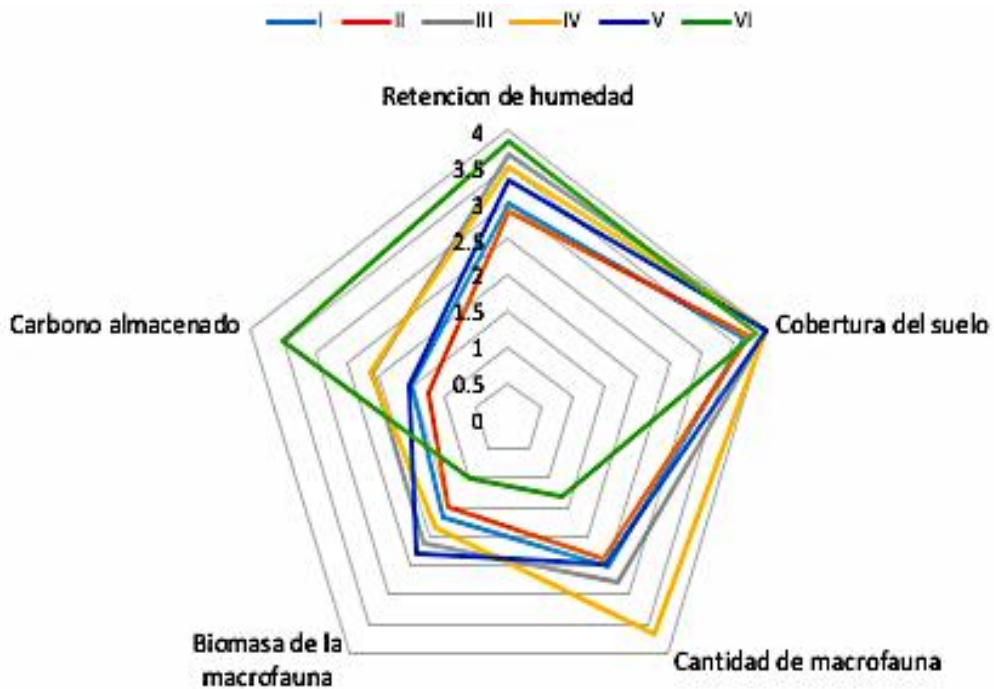


Figura 9. Indicadores de la conservación de la vida en el suelo.

- **Sustentabilidad Sociocultural**

Los 6 tipos de sistemas agroforestales son sustentables socioculturalmente, teniendo los índices de sustentabilidad más altos los SAFs I y II, y el índice más bajo se observa en el SAF IV (**Tabla 17**).

Tabla 17. Índices de Sustentabilidad Sociocultural por SAF

Indicadores	Tipo de SAF					
	I	II	III	IV	V	VI
A. Satisfacción de necesidades básicas						
A1 Tipo de vivienda	3.17	1.75	2.11	0.33	1.23	1.33
A2 Acceso a la educación	2.67	1.88	1.22	1.00	2.69	2.50
A3 Acceso a servicios de salud	2.83	1.13	0.56	0.33	0.92	2.33
A4 Acceso a servicios básicos	1.50	1.00	1.00	0.67	0.62	1.00
B. Nivel de intensificación tecnológica						
B1 Nivel de formación en agroforestería	3.67	3.38	3.22	3.67	3.38	3.17
B2 Adaptación tecnológica	3.50	3.88	3.33	3.00	3.08	2.67
C. Capacidad de gestión, metas y habilidades						
C1 Pertenencia a una organización	1.67	1.38	1.44	1.33	1.31	1.17
C2 Grado de dependencia de AF	3.17	3.13	3.56	3.67	3.23	3.17
Índice de Sustentabilidad Sociocultural (ISC)	2.98	2.53	2.37	2.14	2.36	2.38

En todos los SAFs no se han satisfecho las necesidades básicas tales como el acceso a servicios básicos de luz agua y teléfono, así como el acceso a servicios de salud y educación. Según Barbieri y Valdivia (2010), estos sistemas ofrecen varios servicios recreativos para los miembros de su hogar y otros que no han sido evaluados en este estudio, así como la existencia de sinergias entre la función recreativa de las tierras de cultivo y las prácticas agroforestales, en consonancia con la transición a una multifuncionalidad fuerte.

El tipo de vivienda es otro problema, ya que, en la mayoría de los casos, con excepción del SAF I, se encuentran en condiciones precarias (**Figura 10**). Se observa también que a nivel organizacional están muy debilitados, y como lo plantea Quisoboni (2014), esta situación no permitiría a los agricultores tener los beneficios de asistencia técnica, capacitación, apoyo financiero vía microcrédito, gestión para el mercadeo y la exportación de sus productos, entre otros. Por lo tanto, hay mucho trabajo que hacer en ese sentido.

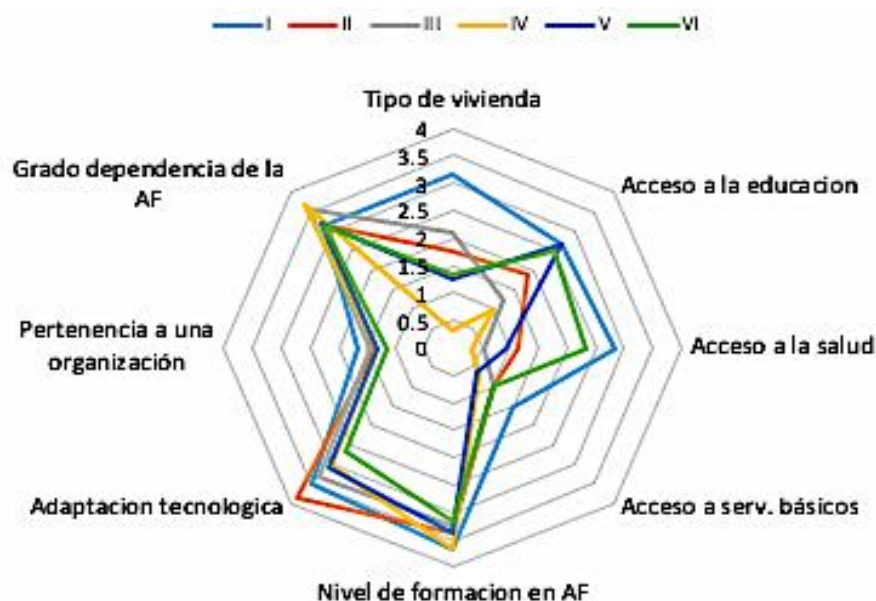


Figura 10. Indicadores socioculturales por cada tipo de SAF.

- **Sustentabilidad General**

De acuerdo al **Tabla 18**, se observa que los índices de sustentabilidad para cada dimensión de los SAFs I, III, IV, V y VI son superiores a 2, mientras que en el SAF II el indicador económico tiene un valor de 1.97 inferior a 2.

Tabla 18. Índices de Sustentabilidad General por SAF

Indicadores	Tipo de SAF					
	I	II	III	IV	V	VI
Económico (IK)	2.36	1.97	2.77	2.51	2.53	2.16
Ecológico (IE)	2.84	2.61	3.02	2.92	2.71	2.80
Sociocultural (ISC)	2.98	2.53	2.37	2.14	2.36	2.38
Índice de Sust. General (IS Gen)	2.73	2.37	2.72	2.52	2.53	2.45

El SAF II no es sustentable, aunque su índice de sustentabilidad general (IS Gen) sea 2,37, ya que el valor de su indicador económico no alcanza a 2.

Los SAFs I, III, IV, V y VI se consideran sustentables, encontrándose los indicadores más altos en los SAFs IV y V, donde ocurre un uso eficiente y sinérgico de los recursos naturales y económicos, donde mejora la eficiencia biológica del sistema y donde el sistema es más resiliente a las perturbaciones en el tiempo (Masera et al. 1999, Altieri 1994), tal como ocurre en los SAFs con más edad.

4.3 CARBONO DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

- **Carbono fijado por las especies vegetales**

Las especies vegetales tanto en su parte aérea como en su sistema radicular tienen almacenado en promedio 31.86 y 6.55 t C respectivamente (**Figura 11**), siendo el carbono total promedio almacenado por las especies vegetales igual a 38.41 t ha⁻¹, el mismo que está en un rango de 142.24 y 8.37 t C (**Tabla 19**).

Tabla 19. Carbono capturado por las especies vegetales (t ha⁻¹)

Agricultor	C. aéreo	C. raíces	CTotal	Agricultor	C. aéreo	C. raíces	CTotal
a1	11.682	2.774	14.457	a25	18.905	4.244	23.149
a2	120.444	21.799	142.242	a26	10.288	2.479	12.768
a3	6.681	1.693	8.375	a27	13.506	3.153	16.659
a4	43.570	8.876	52.446	a28	11.744	2.787	14.531
a5	7.534	1.883	9.417	a29	13.200	3.090	16.291
a6	23.733	5.189	28.923	a30	15.495	3.560	19.055
a7	37.886	7.845	45.731	a31	11.744	2.787	14.531
a8	11.585	2.754	14.339	a32	8.226	2.035	10.261
a9	40.194	8.266	48.459	a33	21.057	4.669	25.726
a10	37.950	7.857	45.806	a34	24.815	5.398	30.213
a11	13.681	3.189	16.870	a35	15.962	3.655	19.617
a12	24.974	5.428	30.402	a36	26.703	5.759	32.463
a13	64.894	12.621	77.515	a37	18.853	4.234	23.087
a14	53.311	10.609	63.920	a38	22.431	4.937	27.368
a15	51.348	10.263	61.611	a39	25.183	5.469	30.652
a16	38.568	7.970	46.538	a40	98.966	18.326	117.292
a17	38.110	7.886	45.996	a41	16.571	3.778	20.349
a18	43.883	8.933	52.816	a42	26.326	5.687	32.014
a19	9.440	2.298	11.738	a43	17.324	3.929	21.254
a20	23.675	5.178	28.854	a44	16.314	3.726	20.040
a21	17.439	3.952	21.391	a45	53.960	10.723	64.683
a22	21.442	4.744	26.187	a46	106.280	19.517	125.797
a23	47.795	9.633	57.428	a47	27.049	5.825	32.874
a24	45.571	9.236	54.806	a48	72.963	13.999	86.961

Estos valores están dentro de la media estimada por Albrecht y Kandji (2003), quienes indican que el potencial de secuestro de carbono por la vegetación de los SAFs para América del Sur está entre 39-103 t ha⁻¹, y Brancher (2010) quien reporto entre 30.78-41.61 t ha⁻¹. Por otro lado, los valores promedio hallados son inferiores a los reportados por Bolfe et al. (2009), quienes encontraron un valor promedio de 74.31 t ha⁻¹, a los reportados por Montagnini y Nair (2004) quienes indican que el almacenamiento promedio de carbono en los SAFs para las regiones tropicales es de 50 t ha⁻¹.

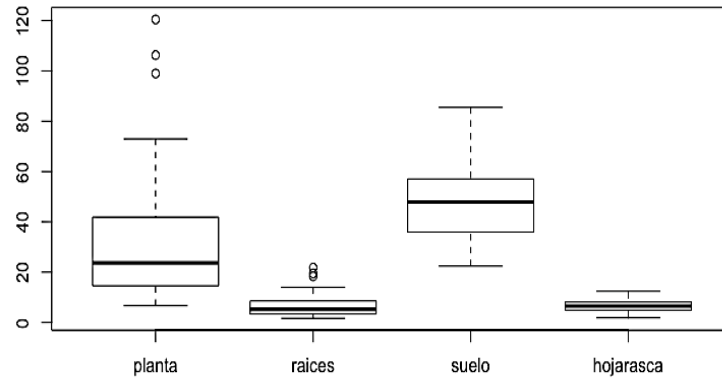


Figura 11. Carbono hallado en la parte aérea de las plantas, en las raíces, en el suelo y en la hojarasca ($t\ ha^{-1}$) de los SAFs

En San Martín, Perú, Lapeyre et al. (2004) encontraron que el sistema de café-guaba (4 años) y el sistema de cacao con especies forestales (15 años), presentan valores de $19\ t\ C\ ha^{-1}$ y $47\ t\ C\ ha^{-1}$ respectivamente.

Carbono fijado por el suelo de los SAFs

Los valores promedio de carbono encontrados a profundidades de 0-30cm y 30-100cm del suelo fueron de 36.50 y $11.96\ t\ C\ ha^{-1}$ respectivamente (**Tabla 20**), por lo que hasta 100cm de profundidad del suelo se encontró $48.47\ t$ promedio de $C\ ha^{-1}$, tal como se mostró en la Figura 11. Estos valores son inferiores a los reportados por Brancher (2010), quien encontró desde $82.38 - 90.69\ t$ promedio de C hasta 50cm de profundidad del suelo.

Asimismo, en promedio se hallaron $6.74\ t\ C\ ha^{-1}$ retenidas en la hojarasca del suelo, tal como se observó en la Tabla 20 y **Figura 11 y 12**), los mismos que concuerdan con Brancher (2010), quien encontró entre $2.54-7.34\ t$ promedio de $C\ ha^{-1}$. El carbono total promedio encontrado en el suelo es de $54.91\ t/ha$, se mencionan en las arriba descritas, así como la figura.

- **Carbono total fijado por los SAFs**

El carbono total fijado por los sistemas agroforestales evaluados fluctúa entre 45.84 y $232.47\ t\ ha^{-1}$, siendo el promedio total para el presente estudio $93.95\ t\ ha^{-1}$ (**Figura 13**). Estos valores coinciden con los hallados por Brancher (2010) quien reportó $127.90-145.20\ t\ ha^{-1}$ y por (Dixon, 1995) que reporta valores hasta $228\ t\ C\ ha^{-1}$.

Tabla 20. Carbono capturado por el suelo y la hojarasca del suelo (t ha⁻¹)

Agric.	Hojarasca del suelo		Suelo		CTotal	Agric.	Hojarasca del suelo		Suelo		CTotal
			0 - 30	70 -100					0 - 30	70 -100	
A1	10.873	32.816	17.378	61.067	A25	3.900	23.421	11.454	38.775		
A2	4.752	72.702	12.774	90.227	A26	2.693	26.842	15.351	44.886		
A3	4.588	39.553	11.538	55.679	A27	5.067	18.316	54.567	77.949		
A4	6.481	50.351	17.001	73.833	A28	2.813	26.842	9.112	38.766		
A5	10.614	42.395	14.305	67.313	A29	4.841	30.018	9.530	44.388		
A6	6.580	38.921	22.671	68.172	A30	6.470	47.895	8.965	63.329		
A7	12.412	30.018	9.906	52.336	A31	5.133	26.316	7.322	38.771		
A8	8.645	21.123	9.294	39.062	A32	1.873	20.526	13.180	35.579		
A9	10.341	46.298	8.811	65.451	A33	8.279	30.781	8.634	47.694		
A10	10.019	45.281	11.952	67.251	A34	3.943	37.368	6.930	48.241		
A11	5.095	38.158	13.237	56.490	A35	2.971	30.526	5.392	38.889		
A12	5.488	41.211	12.006	58.704	A36	4.802	20.526	10.473	35.801		
A13	6.429	54.947	10.432	71.809	A37	2.282	20.526	12.747	35.555		
A14	10.221	47.404	10.398	68.022	A38	7.355	20.263	8.981	36.599		
A15	5.668	42.395	10.090	58.153	A39	4.820	36.842	11.556	53.219		
A16	11.795	31.544	15.579	58.918	A40	7.108	37.105	5.985	50.198		
A17	6.852	14.737	7.669	29.258	A41	2.886	29.000	5.691	37.577		
A18	7.517	61.561	13.494	82.572	A42	6.737	31.842	15.502	54.081		
A19	7.925	50.263	13.603	71.791	A43	6.865	29.254	10.663	46.783		
A20	11.950	49.351	10.290	71.591	A44	7.733	33.649	15.940	57.322		
A21	10.644	24.316	9.234	44.193	A45	7.330	47.842	22.291	77.463		
A22	7.958	36.632	10.725	55.315	A46	7.510	43.474	5.931	56.915		
A23	6.384	31.842	2.264	40.490	A47	3.497	43.965	5.121	52.582		
A24	8.366	34.851	12.289	55.506	A48	6.460	60.289	6.129	72.879		

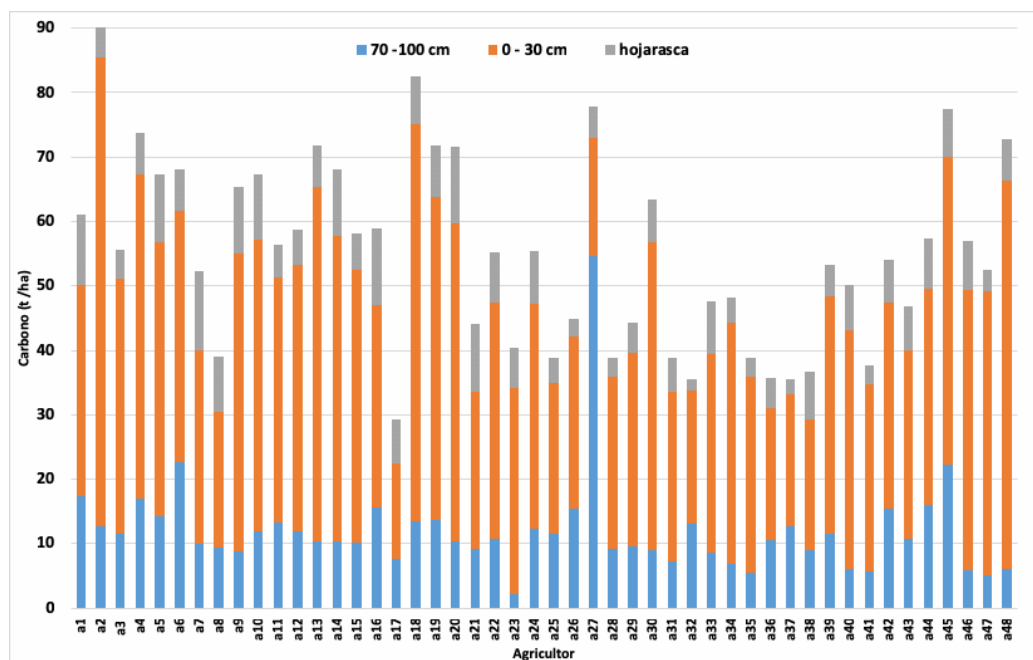


Figura 12. Cantidad de carbono retenido en el suelo

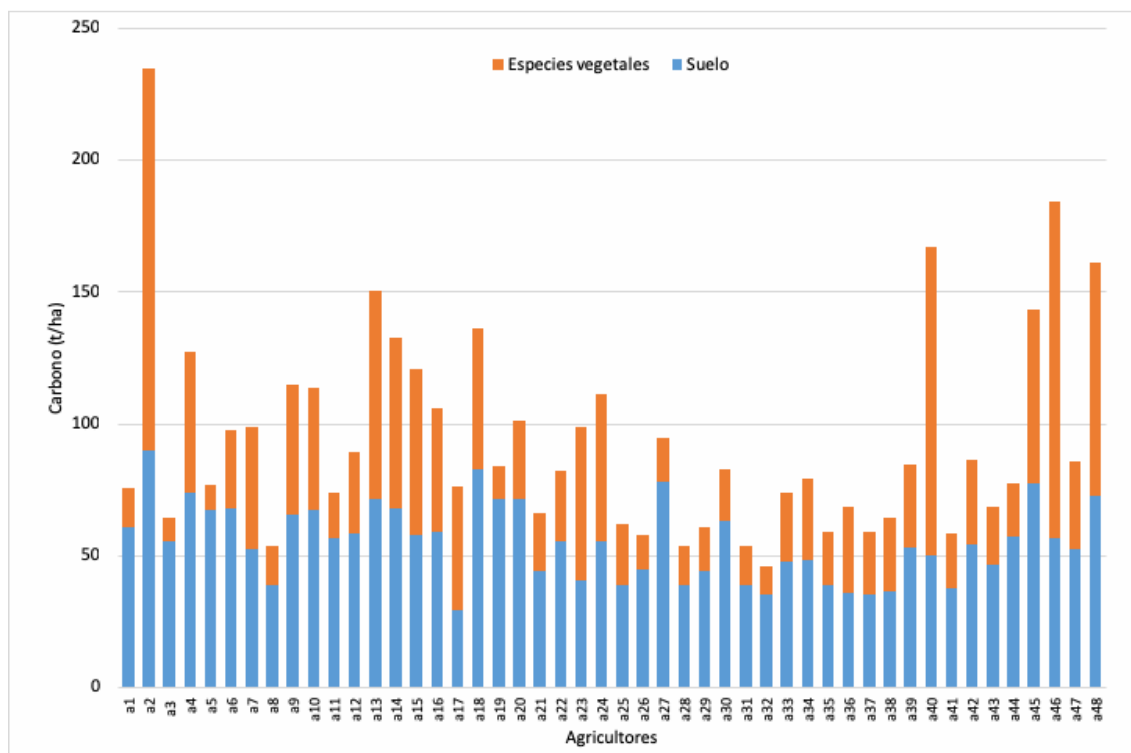


Figura 13. Cantidad de carbono capturado por los SAFs

- **Relación existente entre algunas características físicas, químicas y biológicas del suelo con los niveles de carbono**

Efectuando un análisis de correlación entre las variables: edad del SAF, materia orgánica, fósforo, potasio, acidez cambiante y pH versus el carbono total retenido por los SAFs (**Tabla 21**), se encontró una correlación directa y positiva entre la edad del SAF y el carbono total de los SAFs, con un coeficiente de correlación $r = 0.78$ que es alto, y un coeficiente de determinación $r^2=0.60$.

Tabla 21. Correlación de Pearson (r) entre el carbono total y algunos indicadores de la finca

Indicadores de la finca	Coefficiente de correlación r
Materia orgánica del suelo	0.75
Número de árboles/finca	0.32
Numero de cultivos/finca	0.03
Fosforo (ppm)	0.18
Potasio (ppm)	-0.01
Aluminio (meq/100g)	0.26
pH	-0.12
Edad del SAF	0.78

También se encontró una correlación directa y positiva entre la materia orgánica del suelo y el carbono total de los SAFs, con un coeficiente de correlación $r = 0.75$ que es alto, y un coeficiente de determinación $r^2 = 0.5653$ (**Figura 14b**), indicándonos que mientras más materia orgánica tengamos en el suelo de un SAF, este va a tener la capacidad de retener más carbono en el sistema, así mismo nos indica que mientras más edad tenga el SAF, este va a tener la capacidad de retener más carbono en el sistema, haciéndose un círculo virtuoso positivo en el tiempo.

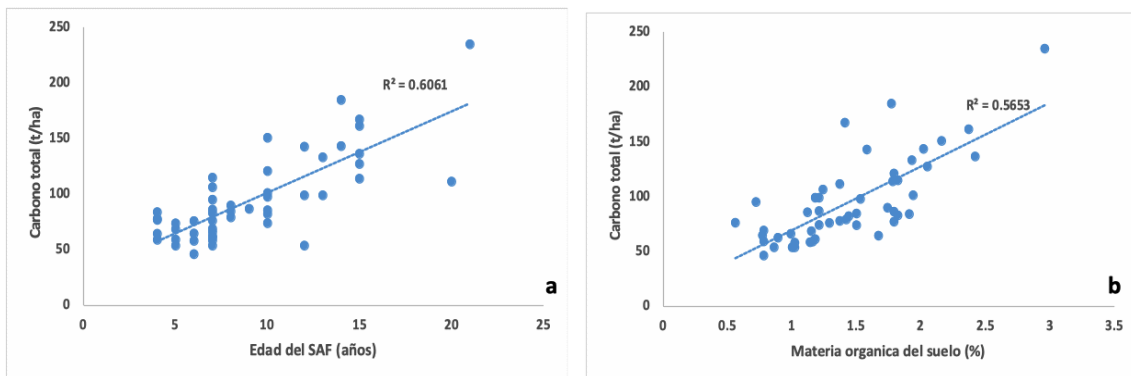


Figura 14. Correlación entre el carbono total del SAF y a) la edad del SAF, y b) el contenido de materia orgánica del suelo.

V. CONCLUSIONES

- Se logró identificar 6 tipos de sistemas agroforestales en la Provincia de Tambopata, y las variables útiles para la tipificación fueron: a) el tipo de uso, área y propiedad de la finca, b) Aspectos socioculturales y c) características del SAF. Las especies forestales en los SAFs son un activo importante para los productores no sólo por su valor económico, sino por los servicios que ofrece al agroecosistema, hecho que contribuye a su conservación considerando que todas las especies con excepción de la teca son oriundas de la Amazonía.
 - El SAF I tiene una edad promedio de 7 años y 4.5 ha destinadas a la agroforestería, con cultivos principales de cacao, copoazu, naranjas y plátanos asociado hasta con 5 especies forestales.
 - El SAF II tiene una edad promedio de 7 años y 5.63 ha destinadas a la agroforestería, con cultivos principales de cacao, copoazu, piña y limón asociado hasta con 9 especies forestales.
 - El SAF III tiene una edad promedio de 11 años y 8.67 has destinadas a la agroforestería, con cultivos principales de copoazu, cacao, naranja, plátano y pijuayo asociado hasta con 8 especies forestales.
 - El SAF IV tiene una edad promedio de 12 años y 9.33 has destinadas a la agroforestería, con cultivos principales de cacao, copoazu, plátano y naranja asociado hasta con 10 especies forestales.
 - El SAF V tiene una edad promedio de 7 años y 7.69 ha destinadas a la agroforestería, con cultivos principales de cacao, copoazu, naranja, plátano y arazá asociado hasta con 9 especies forestales.
 - El SAF VI tiene una edad promedio de 13 años y 5.50 ha destinadas a la agroforestería, con cultivos principales de cacao, copoazu, piña y limón asociado hasta con 9 especies forestales.

- Los índices de sustentabilidad general de los sistemas agroforestales I, II, III, IV, V y VI son 2.73, 2.37, 2.72, 2.52, 2.53 y 2.45 respectivamente, de los cuales los SAFs I, III, IV, V y VI calificaron como sustentables, debido a que los valores de sus indicadores económico, ecológico y sociocultural fueron superiores a 2. Los índices más altos se encontraron en los SAFs I y III, donde el índice del SAF I fue influenciado positivamente por la dimensión sociocultural debido a los buenos niveles de formación de los agricultores en agroforestería, y a su buena capacidad de adaptación tecnológica, por otro lado, se encontró que el índice del SAF III fue influenciado positivamente por la dimensión ecológica.
 - El SAF II calificó como no sustentable, debido a que el valor de su indicador económico fue 1.97, valor inferior a 2, índice que fue influenciado negativamente por la dimensión económica debido a la pequeña área que tiene la finca, y a los escasos canales de comercialización que tienen los agricultores.
- El carbono total promedio almacenado por los SAFs es de 93.57 t ha^{-1} , de los cuales la parte aérea de las plantas y la parte de su sistema radicular tienen la capacidad de almacenar en promedio 33.42 t ha^{-1} , y los suelos de los SAFs almacenan $55.15 \text{ t C ha}^{-1}$. Se encontró la existencia de una correlación directa entre la cantidad de carbono almacenado por los SAFs, la materia orgánica del suelo y la edad de los mismos, mostrándonos un círculo virtuoso que nos indica que mientras más edad tenga el sistema y mientras más materia orgánica haya en él, mayor será la cantidad de carbono secuestrado.

VI. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta las debilidades encontradas en los diferentes tipos de sistemas agroforestales, efectuamos las siguientes recomendaciones de acuerdo a los diferentes indicadores estudiados:

- Para la dimensión Económica. Es necesario aumentar el número de canales de comercialización de la producción agroforestal para evitar ser vulnerables y tener mejores ingresos económicos. Para lograr esto es necesario mejorar las condiciones de la movilidad y transporte para que los productores puedan llegar a diferentes tipos de mercados en mejores condiciones.
-
- Para la dimensión Ecológica. El aumento del espesor del horizonte superficial del suelo (que es de color oscuro por la presencia de materia orgánica) se puede lograr con una constante incorporación de materia orgánica en los suelos a través del uso de especies arbóreas que tengan la capacidad de generar abundante biomasa que se incorpore al suelo, y que al mismo tiempo mejore la nutrición de las plantas con las bacterias nitrificantes y las micorrizas arbóreas.
- Para la dimensión Sociocultural. Como políticas de estado se debe mejorar el acceso a la educación y a los servicios de salud, agua potable y electricidad de los agricultores. Así mismo al ser pocas las organizaciones a las que pertenecen los agricultores, estos pierden la capacidad de intercomunicarse y actuar en redes entre ellos.
- Por otro lado, se recomienda incrementar y promover el uso de especies forestales de rápido crecimiento en asociación con cultivos perennes, así mismo promover el uso de enmiendas en suelos extremadamente ácidos para reducir los niveles tóxicos de aluminio, y promover una cultura de reposición de nutrientes al suelo, sobre todo en aquellos que son pobres en nutrientes.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agevi, H; Tsingalia, M; Wabusya, M; Kigen, C; Kawawa, R; Obiet, L. 2016. Diversity and Biomass Variation In: Masinde Muliro University Of Science And Technology 3(3):1-11.

Aguilar, S. 2005. Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de la salud (en línea). Salud en Tabasco 11(1405-2091):333-338.

Alarcón, G; Díaz, J; Vela, M; García, M; Gutiérrez, J. 2016. Deforestación en el sureste de la amazonia del Perú entre los años 1999 - 2013; caso Regional de Madre de Dios (Puerto Maldonado – Inambari). (en línea). Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research 18(3):319-330.

Albrecht, A; Kandji, S. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. Agriculture, Ecosystems & Environment 99(1–3):15-27.

Alegre, J; Cassel, D. 1996. Dynamics of soil physical properties under alternative systems to slash- and-burn. Agriculture, Ecosystems and Environment 58(1):39-48.

Altieri, M. 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012110-121302>.

Ambia, V; Braatz, B; Kanninen, M; Krug, T; Martino, D; Oballa, P; Tipper, R; Wong, JLP. 2003. Supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto protocol (en línea). In Penman, J; Gytarsky, M; Hiraishi, T; Krug, T; Kruger, D; Pipatti, R; Buendi, L; Miwa, K; Ngara, T; Tanabe, K; Wagner, F (eds.). Kamiyamaguchi, Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. p. 590.

Anderson, J; Ingram, J. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. The Journal of Ecology 78(2):547-548.

Atta-Krah, K; Kindt, R; Skilton, JN; Amaral, W. 2004. Managing biological and genetic diversity in tropical agroforestry. *In Agroforestry Systems*. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000028998.32732.65>.

Barbieri, C; Valdivia, C. 2010. Recreation and agroforestry: Examining new dimensions of multifunctionality in family farms (en línea). *Journal of Rural Studies* 26(4):465-473.

Basuki, TM; van Laake, PE; Skidmore, AK; Hussin, YA. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 257(8):1684-1694.

BCRP (Banco Central de Reserva del Perú). 2018. Caracterización del departamento de Madre De Dios (en línea). Cusco, s.e. Visitado el 21 de enero del 2019. Disponible en <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Cusco/Madre-de-Dios-Characterizacion.pdf>.

Bolfe, EL; Ferreira, MC; Batistella, M. 2009. Biomassa Epígea e Estoque de Carbono de Agroflorestas em Tomé-Açu , PA (en línea). *Rev. Bras. De Agroecologia* 4(2):2171-2175.

Brancher, T. 2010. Estoque e ciclagem de carbono de sistemas agroflorestais em Tomé-Açu, Amazônia Oriental. s.l., Tesis M.Sc. Belem Brasil. Universidad Rural de Para. 54 p.

Brown, BJ; Hanson, ME; Liverman, DM; Merideth, RW. 1987. Global sustainability: Toward definition. *Environmental Management*. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01867238>.

Brown, S. 1996. Present and potential roles of forests in the global climate change debate. *Unasylva*. FAO. United States Environmental Protection Agency's National Health, Corvallis, OR (USA). Western Ecology Div.

Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. Rome, FAO Forestry paper. 57 p.

Brown, S; Iverson, LR. 1992. Biomass Estimates for Tropical Forests. *Global Warming: Proceedings of the Third International Conference World Resource Review* 1992 4(3):366-384.

Buyer, JS; Baligar, VC; He, Z; Arévalo-Gardini, E. 2017. Soil microbial communities under cacao agroforestry and cover crop systems in Peru. *Applied Soil Ecology*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.009>.

Cabrera, D; Garcia, A; Cruz, RD La; Castaldo, A; Perea, J; Peinado, J. 2004. Metodología Para la caracterización y tipificación de Sistemas Ganaderos. (en línea). Documentos de trabajo. Producción animal y gestión. 1:1-9. Disponible en http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/14_19_10_sistemas2.pdf.

Camargo, FF. 2016. Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos na área de preservação ambiental Serra da Mantiqueira, MG.(en línea). s.l., Tesis Dr. Minas Gerais. Brasil. Universidade Federal de Lavras. 241 p. Disponible en [http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/12194/1/TESE_Indicadores físicos%2C químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/12194/1/TESE_Indicadores%20físicos%20químicos%20e%20biológicos%20da%20qualidade%20do%20solo%20em%20sistemas%20agroflorestais.pdf).

De Camino, R; Müller, S. 1993. Sostenibilidad de la agricultura y los Recursos Naturales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Cannavo, P; Sansoulet, J; Harmand, JM; Siles, P; Dreyer, E; Vaast, P. 2011. Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.005>.

Catenazzi, A; Lehr, E; May, R von. 2013. The amphibians and reptiles of Manu National Park and its buffer zone, Amazon basin and eastern slopes of the Andes, Peru. *Biota Neotropica*. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000400024>.

CESVI. 2006. Especies Comerciales de los Bosques de Tahuamanu. Identificación Botánica. Madre de Dios, s.e. 114 p.

Chave, J; Andalo, C; Brown, S; Cairns, MA; Chambers, JQ; Eamus, D; Fölster, H; Fromard, F; Higuchi, N; Kira, T; Lescure, J-P; Nelson, BW; Ogawa, H; Puig, H; Riéra, B; Yamakura,

T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests (Online). *Oecologia*, 145(1):87-99.

Chave, J; Réjou-Méchain, M; Búrquez, A; Chidumayo, E; Colgan, MS; Delitti, WBC; Duque, A; Eid, T; Fearnside, PM; Goodman, RC; Henry, M; Martínez-Yrizar, A; Mugasha, WA; Muller-Landau, HC; Mencuccini, M; Nelson, BW; Ngomanda, A; Nogueira, EM; Ortiz-Malavassi, E; Péliissier, R; Ploton, P; Ryan, CM; Saldarriaga, JG; Vieilledent, G. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10):3177-3190.

Chicaiza, NJ. 2013. Análisis de la funcionalidad tecnológica y productividad en fincas lecheras del norte de Cayambe. s.l., Universidad Politecnica Salesiana. 135 p.

CIFOR. 2003. Review of forest rehabilitation initiatives. Lessons from the past. (Online). s.l., s.e. Disponible en https://www.cifor.org/rehab/_ref/countries/Peru/Initiatives.madre.de.dios.htm.

Conway, GR. 1985. Agroecosystem analysis. Agricultural Administration. DOI: [https://doi.org/10.1016/0309-586X\(85\)90064-0](https://doi.org/10.1016/0309-586X(85)90064-0).

Cotta, JN. 2017. Revisiting Bora fallow agroforestry in the Peruvian Amazon: Enriching ethnobotanical appraisals of non-timber products through household income quantification. *Agroforestry Systems*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9892-4>.

Coulibaly, J; Chiputwa, B; Nakelse, T; Kundhlande, G. 2017. Adoption of agroforestry and the impact on household food security among farmers in Malawi (en línea). *Agricultural Systems*, 155:52-69.

Dawoe, EK; Isaac, ME; Quashie-Sam, J. 2010. Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana (en línea). *Plant and Soil*, 330(1):55-64.

Detlefsen, G; Somarriba, E. 2015. Producción agroforestal de madera en fincas agropecuarias de centroamérica. In *Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Eibl, B (eds.)*. Turrialba/Cali, Editorial CIPAV.

Dixon, RK. 1995. Agroforestry systems: sources of sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems*. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00711719>.

DRA-MDD. 2018. Superficie cosechada de los principales cultivos. Puerto Maldonado, s.e. Visitado el 15 de mayo del 2018. Disponible en: <https://www.dramdd.gob.pe/wp-content/uploads/delightful-downloads/2018/12/Superficie-Cosechada-Agr%C3%ADcola-y-Siembra-Noviembre-2018.pdf>

Escobar, G; Berdegue, J. 1990. Tipificación sistemas producción. Tipificación de sistemas de producción agrícola 282. DOI: <https://doi.org/ISBN.956.7110-01-07>.

FAO. 1991. The den bosch declaration and agenda for action on sustainable agriculture and rural development (Online). In: FAO/Netherlands conference on agriculture and the environment, 'S-Hertogenbosch. The Netherlands, s.e. Visited on: July 28, 2018. Available on: http://agris.fao.org/agris-search/search.do;jsessionid=0A671515207E7373A12F06C0BE9F2E50?request_locale=es&recordID=XF19920050804&sourceQuery=&query=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=¢erString=&enableField=.

Farrell, J; Altieri, M. 1999. *Sistemas Agroforestales* (en línea). New York, s.e. p. 325. Visitado el 20 de diciembre del 2018. Disponible en: <http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf>.

Fernandes, J; Soares, C; Jacovine, A; Alvarenga, A. 2007. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea sp.*, aos 12 anos de idade, na zona da mata mineira (en línea). *R. Árvore* 31(4):657-665.

FHIA. 2016. Cacao en sistemas agroforestales en Honduras: Percepciones de productores y productoras Informe final (en línea). s.l., s.e. Visitado el 11 de noviembre del 2018. Disponible en: https://www.academia.edu/31054292/Cacao_en_sistemas_agroforestales_en_Honduras_Percepciones_de_productores_y_productoras?auto=download.

Figueroa, J; Stucchi, M. 2010. Biodiversidad de los alrededores de Puerto Maldonado. Línea base ambiental del EIA del lote 111, Madre de Dios, Perú. (en línea). Primera Ed. Figueroa, J; Stucchi, M (eds.). Lima, s.e. 224 p.

Frangi, JL; Lugo, AE; Monographs, E; Sep, N. 2007. Ecosystem Dynamics of a Subtropical Floodplain Forest ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest1 (en línea). Ariel, 55(3):351-369.

Gaspar, P; Escribano, AJ; Mesías, FJ; Escribano, M; Pulido, AF. 2011. Goat systems of Villuercas-Ibores area in SW Spain: Problems and perspectives of traditional farming systems (en línea). Small Ruminant Research, 97(1-3):1-11.

Gaspar, P; Escribano, M; Mesias, FJ. 2016. A qualitative approach to study social perceptions and public policies in dehesa agroforestry systems (en línea). Land Use Policy 58:427-436.

Gebreegiabher, Z; Mekonnen, A; Kassie, M; Köhlin, G. 2010. Household Tree Planting in Tigray, Northern Ethiopia: Tree Species, Purposes, and Determinants. Discussion Paper, Series, 2473(432):30.

Gómez, E; Mavisoy, H; Rocha, H; Corrêa, ML; Alves, MF; Rousseau, GX; Gehring, C. 2015. Species richness increases income in agroforestry systems of eastern Amazonia. Agroforestry Systems, 89(5):901-916.

Gonzales, JA. 2007. Caracterización y Tipificación de Sistemas Productivos de Leche en la décima Región de Chile: un Análisis Multivariable. s.l., Universidad Austral de Chile. 114 p.

Gorbitz, G. 2011. Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea en Plantaciones de 8 años de *Calycophyllum spruceanum* b. en el Valle del Aguaytía. s.l., Tesis Ingeniero Forestal. Lima Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 72 p.

GOREMAD. 2015. Estrategia Regional de Diversidad Biológica de Madre de Dios al 2021 (en línea). Puerto Maldonado, s.e. Visitado el 5 de julio del 2018. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/nbsap/sbsap/pe-sbsap-madre-de-dios-revised-es.pdf>.

Hairiah, K; Noordwijk, M Van; Palm, C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground.pdf. Bogor, International Centre for Research in Agroforestry. 32 p.

Hernández, P; Estrada, J; Avilés, F; Yong, G; López, F; Solís, A; Castelán, O. 2013. Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del Estado de México. (en línea). Universidad y Ciencia Trópico Húmedo, 29(1):19-31.

Hunter, MO; Keller, M; Victoria, D; Morton, DC. 2013. Tree height and tropical forest biomass estimation. *Biogeosciences*, 10(12):8385-8399.

IIAP; CTAR-MDD. 2001. Madre de Dios, camino al desarrollo sostenible: Propuesta de Zonificación Ecológica Económica como base para el Ordenamiento Territorial. Puerto Maldonado, s.e.

IPCC. 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (en línea). Climate Change. Visited on: May 25, 2018. Available on: http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/pdf/WG1_TAR-FRONT.PDF.

King, K. 1987. The History of Agroforestry (en línea). In *Howard, S; Nair, PK (eds.)*. Nairobi, Printfast Kenya Limited. p. 345.

Köbrich, C; Rehmanb, T; Khanc, M. 2003. Typification of farming systems for constructing representative farm models: two illustrations of the application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan (en línea). *Agricultural Systems*, 76(1):141-157.

Köhler, SJ; Buffam, I; Laudon, H; Bishop, KH. 2008. Climate's control of intra-annual and interannual variability of total organic carbon concentration and flux in two contrasting boreal landscape elements. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 113(3):140-165.

Kuyah, S; Rosenstock, TS. 2015. Optimal measurement strategies for aboveground tree biomass in agricultural landscapes (en línea). *Agroforestry Systems*, 89(1):125-133.

Lapeyre, T; Alegre, J; Arévalo, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología aplicada*, 3:35-44.

Larrea, C. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* y determinación de la ecuación alométrica para el cacao. s.l., Tesis Ingeniera Ambiental. Lima Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 46 p.

Leblanc, HA; McGraw, RL; Nygren, P. 2007. Dinitrogen-fixation by three neotropical agroforestry tree species under semi-controlled field conditions. *Plant and Soil*. Visited December 27, 2018. Available on: <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9186-0>.

Litynski, JT; Klara, SM; McIlvried, HG; Srivastava, RD. 2006. An overview of terrestrial sequestration of carbon dioxide: The United States Department of Energy's fossil energy R&D program. *Climatic Change*. Visited on January 6, 2018. Available on: <https://doi.org/10.1007/s10584-005-6960-6>.

Liu, C; Westman, CJ; Berg, B; Kutsch, W; Wang, GZ; Man, R; Ilvesniemi, H. 2004. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. *Global Ecology and Biogeography*, 13(2):105-114.

Makumba, W; Akinnifesi, FK; Janssen, B; Oenema, O. 2007. Long-term impact of a gliricidia-maize intercropping system on carbon sequestration in southern Malawi. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118(1-4):237-243.

Martínez, J. 1991. La pobreza como causa de la degradación ambiental. Un comentario al Informe Brundtland. *Documents d'Analisi Geografica*, 18:55-73.

Masera, O; Astier, M; Lopez-Ridaura, S. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluacion MESMIS. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropriada, Patzcuaro (Mexico) s.e.

Mbow, C; Van Noordwijk, M; Luedeling, E; Neufeldt, H; Minang, PA; Kowero, G. 2014. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. s.l., s.e. Visited on march, 1, 2018. Available on: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.014>.

Mercer, DE. 2004. Adoption of agroforestry innovations in the tropics: A review. *Agroforestry Systems*, 61(1):311-328.

Montagnini, F; Nair, PKR. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61(1):281.

Montambault, JR; Alavalapati, JRR. 2005. Socioeconomic research in agroforestry: A decade in review. *Agroforestry Systems*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-005-0124-6>.

Montero, M; Montagnini, F. 2005. Modelos alométricos para (en línea). *Recursos naturales y medio ambiente*, 45:112-119.

Murovhi, NR; Materechera, SA; Mulugeta, SD. 2012. Seasonal changes in litter fall and its quality from three sub-tropical fruit tree species at Nelspruit, South Africa. *Agroforestry Systems*, 86(1):61-71.

Mutuo, PK; Cadisch, G; Albrecht, A; Palm, CA; Verchot, L. 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics (en línea). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 71(1):43-54.

Nair, PK. 1993. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3:9 7-128.

_____. 2007. Agroforestry for Sustainability of Lower-Input Land-Use Systems. *Journal of Crop Improvement*, 19(1-2):25-47.

Nair, PK; Kumar, BM; Nair, VD. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(1):10-23.

Nair, PKR; Gordon, AM; Mosquera, R. 2008. Agroforestry (en línea). s.l., s.e. p. 101-110. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00038-0>.

Nair, R; Nair, V; Kumar, BM; Showalter, JM. 2010. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Advances in Agronomy*, 108(C):237-307.

Namkoong, G; Gregorius, H-R; Joly, H; Savolainen, O; Ratnam, W; Yonug, A; Boyle, T. (1996). Testing Criteria and Indicators for Assessing the Sustainability of Forest Management: Genetic Criteria and Indicators. 10. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.17528/cifor/000070>.

Navarro, H; Santiago, A; Musálem, MÁ; Vibrans, H; Pérez, MA. 2012. La Diversidad De Especies Útiles Y Sistemas Agroforestales (en línea). *Revistas Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 43(1):71-86.

Negash, M. 2013. The indigenous agroforestry systems of the south-eastern Rift Valley escarpment, Ethiopia: Their biodiversity, carbon stocks, and litterfall (en línea). s.l., s.e., 44:15-75.

Negash, M; Kanninen, M. 2015. Modeling biomass and soil carbon sequestration of indigenous agroforestry systems using CO2FIX approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 203:147-155.

OECD. 1999. Concepts and Framework. *Environmental Indicators for Agriculture*. Volume 1, OECD Publishing, Paris, Visited on march 2, 2018. Available on: <https://doi.org/10.1787/9789264173873-en>.

Oelbermann, M; Voroney, RP. 2007. Carbon and nitrogen in a temperate agroforestry system: Using stable isotopes as a tool to understand soil dynamics. *Ecological Engineering*, 29(4):342-349.

Orozco, DDJ; Flores, JCM; Sanabria, YR. 2015. Indicadores químicos de calidad de suelos en sistemas productivos del Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Acta Agronómica*, 64(4):302-307.

Paul, C; Weber, M; Knoke, T. 2017. Agroforestry versus farm mosaic systems – Comparing land-use efficiency, economic returns and risks under climate change effects. *Science of the Total Environment*, 587-588:22-35.

Pearson, T; Walker, S; Brown, S. 2005. Sourcebook for Land use, Land-use change and forestry projects, 21:1-64.

Pocomucha, V; Alegre, J; Abregú, L. 2016. Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huánuco (en línea). *Ecología aplicada* 15. DOI: <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.750>.

Por la Tierra. 2015. Asociación de Productores El Progreso: Yanaocas en los andes y la amazonia. Estudio de caso (en línea). s.l., s.e. Visitado el 20 de enero del 2018. Disponible en: <https://porlatierra.org/docs/e3fb9b6e75b8561e3c8fd71f4a8032e9.pdf>.

Quisoboni, Y. 2014. Identificación de bondades en sistemas agroforestales de café especial en familias de productores asociadas a la organización Asprobalboa, en el municipio de Balboa, departamento del Cauca-Colombia. s.l., Tesis Ingeniero Agroforestal. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. 171 p.

Rapidel, B; Allinne, C; Cerdán, C; Meylan, L; Filho, E de MV; Avelino, J. 2015. Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales. In *Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Beatriz Eibl (eds.)*. Turrialba/Cali, Editorial CIPAV.

Rendón, S; Artunduaga, F; Ramírez, R; Quiroz, A; Leiva, I. 2011. The Macroinvertebrates as Indicators of the Quality of Soil in Blackberry, Grass and Avocado Crops. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 64(1):5793-5802.

Rugnitz, M; Chacón, M; Porro, R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales-- (en línea). s.l., s.e. 79 p. DOI: <https://doi.org/ISBN: 978-92-9059-254-9>.

Sanchez, PA. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*, 30: 5-55.

Santos, SJ. 2016. Comunidades de macroinvertebrados edáficos indicadores de la calidad del suelo, para evaluar un modelo agroecológico en un sistema de hortalizas, Los Planes, El Salvador, (en línea). s.l., Tesis Ingeniera Agronomo. Universidad de El Salvador. Visitado el 14 de febrero del 2018. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/12706/1/13101623.pdf>.

Sarandón, S; Flores, C. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica (en línea). *Agroecología (March)*. Visitado el 14 de octubre del 2017. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Santiago_Sarandon/publication/265987456_EVALUACION_DE_LA_SUSTENTABILIDAD_EN_AGROECOSISTEMAS_UNA_PROPUESTA_METODOLOGICA/links/551af42b0cf2fdce84383ebd/EVALUACION-DE-LA-SUSTENTABILIDAD-EN-AGROECOSISTEMAS-UNA-PROPUESTA-ME.

Sarandón, SJ. 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable*. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.293>.

Schroth, G; D'Angelo, SA; Teixeira, WG; Haag, D; Lieberei, R. 2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: Consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. *Forest Ecology and Management*, 163(1-3):131-150.

Segura, M; Kanninen, M; Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry Systems*, 68(2):143-150.

SERFOR. 2015. Interpretación de la dinámica de la deforestación en el Perú y lecciones aprendidas para reducirla (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/Interpretacion-de-la-dinamica-de-la-deforestacion-en-el-Peru-y-lecciones-aprendidas-para-reducirla-1.pdf>.

Silva, AKL; Vasconcelos, SS; de Carvalho, CJR; Cordeiro, IMCC. 2011. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* plantations and regrowth forest in Eastern Amazon (en línea). *Plant and Soil*, 347(1):377-386.

Simons, AJ; Leakey, RRB. 2004. Tree domestication in tropical agroforestry. *In Agroforestry Systems*, 61: 167–181.

Smyth, AJ; Dumanski, J. 1995. A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science*.

Solano, C; Leon, H; Pérez, E; Herrero, M. 2001. Who makes farming decisions? A study of Costa Rican dairy farmers (en línea). *Agricultural Systems* 67. DOI: <https://doi.org/10.40/3da2536bb42647f6f6082e01aba68f418b72>.

Subía, C; Paredes, N; Caicedo, W; Fernández, F; Díaz, A; Bastidas, F; Chávez, J. 2014. Análisis socioproductivo de los sistemas de producción agropecuaria en la zona norte y centro de la Amazonía Ecuatoriana (en línea). s.l., s.e. p. 105. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/271203962_Agroforesteria_Sostenible_en_la_Amazonia_Ecuatoriana.

Szott, LT; Arevalo, L; Pérez, J. 1993. Allometric relationships in pijuayo (*Bactris gasipaes* H.B.K.) (en línea). *In IV Congreso internacional sobre biología, agronomía e industrialización del pijuayo*. s.l., s.e. Visitado el 17 de octubre del 2018. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PE9500253>.

Tscharntke, T; Milder, JC; Schroth, G; Clough, Y; Declerck, F; Waldron, A; Rice, R; Ghazoul, J. 2015. Conserving Biodiversity Through Certification of Tropical Agroforestry Crops at Local and Landscape Scales. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.1111/conl.12110>.

Tuesta, O; Julca, A; Borjas, R; Rodríguez, P; Santistevan, M. 2014. Tipología de fincas cacaoteras en la subcuenca media del río Huayabamba, distrito de Huicungo (San Martín, Perú). *Ecología aplicada*, 13(2):71-78.

Udawatta, RP; Gantzer, CJ; Jose, S. 2017. *Agroforestry Practices and Soil Ecosystem Services* (en línea). s.l., Elsevier Inc. 305-333 p.

Van Cauwenbergh, N; Biala, K; Bielders, C; Brouckaert, V; Franchois, L; Garcia Ciudad, V; Hermy, M; Mathijs, E; Muys, B; Reijnders, J; Sauvenier, X; Valckx, J; Vanclooster, M; Van der Veken, B; Wauters, E; Peeters, A. 2007. SAFE-A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120(2-4):229-242.

Vega, M; Somarriba, E. 2005. Planificación agroforestal de fincas cacaoteras orgánicas del Alto Beni, Bolivia 1. *Agroforestería en las Américas*.

Vera, JA. 2013. Estudio de factibilidad para la instalación de una planta procesadora de aceite de castaña. s.l., Universidad Católica de Santa María. 267 p.

Winjum, JK; Dixon, RK; Schroeder, PE. 1992. Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon. *Water, Air, & Soil Pollution*, 64: 213-227.

Zhang, C; Peng, DL; Huang, GS; Zeng, WS. 2016. Developing aboveground biomass equations both compatible with tree volume equations and additive systems for single-trees in poplar plantations in Jiangsu Province, China. *Forest* 7(2). DOI: <https://doi.org/10.3390/f7020032>.

Zomer, R; Trabucco, A; Coe, R; Place, F. 2009. Trees on farm: Analysis of global extent and geographical patterns of agroforestry. ICRAF Working Paper no. 89. Nairobi, Kenya: World Agroforestry Centre.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Formato de Encuestas

I.- ENCUESTA PARA CARACTERIZACION Y TIPIFICACION DE SISTEMAS AGROFORESTALES

A. Datos generales y localización geográfica

1	Nombre del agricultor:			
2	Sexo:	Masculino ()	Femenino ()	
3	Edad:			
4	Familiares:	Esposa (o) ()	Conviviente ()	Nro de hijos ()
5	Grado de instrucción:	Ninguno ()	Primaria ()	Universitario ()
		Inicial ()	Secundaria ()	Postgrado ()
6	Procedencia:	Local ()	Migrante ()	Ciudad ()
7	Lengua materna:	Español ()	Quechua ()	Otro ()
8	Numero de personas que viven en la finca:	Nadie ()	Familiares ()	
		Agricultor ()	Trabajadores ()	
9	Localidad:	Distrito:	Provincia:	

B. Satisfacción de necesidades básicas en la localidad

10	Tipo de vivienda: 0-4	Material noble ()	Madera sin piso ()	Choza con palos ()
		Madera con piso ()	Madera deteriorado ()	
11	Acceso a la educación 0-4	Superior ()	Primaria ()	sin acceso ()
		Secundaria ()	Inicial ()	
12	Acceso a servicios de salud: 0-4	Con medicos e infraest. ()	Mal equipado, medico temp. ()	
		Con medicos temporal ()	Mal equipado, sin medico ()	
		Sin Centro Sanitario ()		
13	Acceso a servicios de luz, agua y telefono	Luz ()	Telefono ()	
		Agua ()		

C. Tamaño de la finca.

14	Area total de la finca:			
15	Utilizacion del espacio	Bosque ()	Cultivo agroforestal ()	Pastos ()
		Purma ()	Cultivo en limpio ()	

D. Composición del hogar y fuerza de trabajo

16	Miembros de hogar que trabajan en la finca	Agricultor ()	Esposa ()	Hijos ()
		Hermano ()	Trabajadores ()	Otros ()
17	Edad de los hijos que trabajan en la finca	Hijo 1 ()	Hijo 2 ()	Hijo 3 ()

E. Tipo de tenencia de la tierra.

18	Situación de la finca	Es de su propiedad ()	Es alquilada ()
19	Tiene titulo de propiedad	Si ()	No ()

F. Calidad del suelo

20	Pendiente del suelo	Superior al 50% ()	30- 50% ()	29- 15% ()	14-5% ()	menos 5% ()
21	Estructura y consistencia	Sin estructura, suelo polvoso sin gránulos visibles (0)				
		Debil (1) Moderada, suelo suelto pocos gránulos tamaño medio que se rompen al aplicar presión (2) Fuerte (3) Muy fuerte, suelo friable y granular, agregados se mantienen aplicando presión (4)				
22	Textura	Arenosa (0)				
		Arcillosa (1)				
		Franco Arenoso (2)				
		Franco arcilloso (3)				
		Franco (4)				
23	Drenaje	Mal drenados (0)				
		Debilmente drenados (1)				
		Moderadamente drenados (2)				
		Bien drenados (3) Fuertemente drenados (4)				
24	Color y espesor del horizonte A	Suelo negro o pardo oscuro, menor a 5 cm de espesor (0)				
		Suelo negro o pardo oscuro, entre 5 - 10 cm de espesor (1)				
		Suelo negro o pardo oscuro, entre 10- 15 cm de espesor (2)				
		Suelo negro o pardo oscuro, entre 15- 20 cm de espesor (3)				
		Suelo negro o pardo oscuro, mayor a 20 cm de espesor (4)				
25	Profundidad del suelo	Subsuelo casi expuesto (0)				
		Suelo superficial delgado, con menos de 10 cm (1)				
		Suelo superficial mas profundo de 10-50 cm de profundidad (2)				
		Suelo superficial mas profundo de 50-100 cm de profundidad (3) Suelo superficial mas profundo mas de 100 cm de profundidad (4)				

26	Retencion de humedad	Suelo se seca rapido (0) Suelo permanece seco durante la epoca seca (1) Suelo permanece seco casi toda la epoca seca (2) Suelo mantiene la humedad casi toda la epoca seca (3) Suelo mantiene la humedad durante la epoca seca (4)
27	Erosion	Erosion severa, arrastre de suelo con presencia de carcavas de mas 10cm de prof (0) Erosion severa, arrastre de suelo con presencia de carcavas de menos 10cm de prof (1) Erosion evidente, pero poca (2) Erosion superficial (3) No hay mayores señales de erosion (4)
28	Actividad biologica	No hay signos de actividad biológica (0) Se observan pocas termitas en el suelo (1) Se observan muchas termitas y algunas lombrices en el suelo (2) Se observan algunas lombrices y otros artrópodos (3) Mucha actividad biológica, abundante presencia de lombrices y artrópodos (4)
29	Cobertura del suelo	Sin cobertura (0) menos del 25% de cobertura del suelo (1) 25-50% del suelo con cobertura viva o muerta (2) 50-75% del suelo con cobertura viva o muerta (3) Mas del 75% del suelo con cobertura viva o muerta (4)
30	Diversificacion de cultivos	Monocultivo (1 especie) (0) Poca diversificación de cultivos, sin asociaciones (2 especies) (1) Diversificación media, con muy bajo nivel de asociación entre ellos (2-3 especies) (2) Diversificación media, con asociación media entre ellos (3-4 especies) (3) Alta diversificación de cultivos, con asociación media entre ellos (mas de 4 especies) (4)
31	Orientación de los surcos	Surcos paralelos a la pendiente (0) Surcos a 30° con respecto a la pendiente (1) Surcos a 60° con respecto a la pendiente (2) Surcos perpendiculares a la pendiente (3) Curvas de nivel o terrazas (4)

G. Manejo de la Biodiversidad

32	Diversidad de plantas	
33	Diversidad de macroinvertebrados	

H. Nivel de capitalización de la finca

34	Tiene titulo de propiedad	Si ()	No ()
35	Numero de Has		
36	Cantidad de especies de arboles en la finca	1 especie () 2-3 especies ()	3-4 especies () 5-6 especies () mas de 6 especies ()

Especie	edad

Especie	edad

37	Cantidad de especies cultivadas en la finca	1 especie () 2-3 especies ()	3-4 especies () 5-6 especies ()	mas de 6 especies ()
----	---	-----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------

Especie	edad

Especie	edad

38	Tipo de vivienda: 0-4	Choza con palos () Madera deteriorado ()	Madera con piso () Madera sin piso ()	Material noble ()
39	Movilidad y transporte	no tiene () motocicleta ()	trimoto () camioneta ()	tractor agrícola ()

I. Producción Agrícola y comercialización

Cultivo	Area	Edad	Rend. Kg/Ha	Precio de venta(S/Kg)	Numero de jornales usados/año			
					Plantacion	Manten.	Cosecha	Comerc.

J. Producción Animal y comercialización

50	Numero de animales en la finca	Vacuno: Ovino:	Porcino: Aves:	Cuyes: Otros:
51	Precio de venta por animal (S/)	Vacuno: Ovino:	Porcino: Aves:	Cuyes: Otros:
52	Ingreso bruto por animal por año (S/.)	Vacuno: Ovino:	Porcino: Aves:	Cuyes: Otros:
53	Egresos por animal por año (S/.)	Vacuno: Ovino:	Porcino: Aves:	Cuyes: Otros:
54	Ingreso neto/finca/año			

K. Tipo y grado de articulación con los mercados de productos.

55	Diversificación para la venta	1 producto () 2 productos ()	3 productos () 4 productos ()	mas de 4 productos ()
56	Número de vías de comercialización	1 canal () 2 canales ()	3 canales () 4 canales ()	mas de 4 canales ()
57	Dependencia de insumos externos	80 -100% () 60 -80% ()	40 -60% () 20 -40% ()	0 -20% ()

L. Nivel de intensificación tecnológica.

58	Nivel de formación en agroforestería	No tiene ninguna formación () Por lo menos asistio a un curso ()	Asistio a 2 cursos () Asistio a 3 cursos ()	Asistio a mas de 3 cursos ()
59	Adaptación tecnológica	No genera/adapta tecnologías en SAF () Copia lo que hacen sus vecinos () Recibe tecnología de una ONG () Recibe tecnología de universidades y centros de investigación () Recibe y adopta transferencia de conocimiento y tecnología ()		

M. Capacidad de gestión, y de las metas y habilidades de los productores

60	Pertenencia a una organización	Productor indep. () una organización ()	2 organizaciones () 3 organizaciones ()	mas de 3 organizaciones ()
61	Grado de dependencia de la actividad AF.	No depende () Hasta 20% ()	20 - 40% () 41 - 90% ()	91- 100% ()

N. Estructura de la mano de obra disponible y empleada en la finca

62	Disponibilidad de mano de obra	No existe () Es limitada ()	Es media () Es suficiente ()	es abundante ()
63	Tipo de mano de obra	El total de mano de obra utilizada es contratada () La mano de obra es solo del agricultor La mano de obra es familiar Utilización de mano de obra contratada y familiar () Utilización de mano de obra contratada, familiar y participación comunitaria()		

Ñ. Composición del ingreso familiar

64	Ingresos del agricultor	Agricultura () Madera () Castaña ()	Minería () Otros ()
65	Ingresos familiares de esposa e hijos	Agricultura () Madera () Castaña ()	Minería () Otros ()

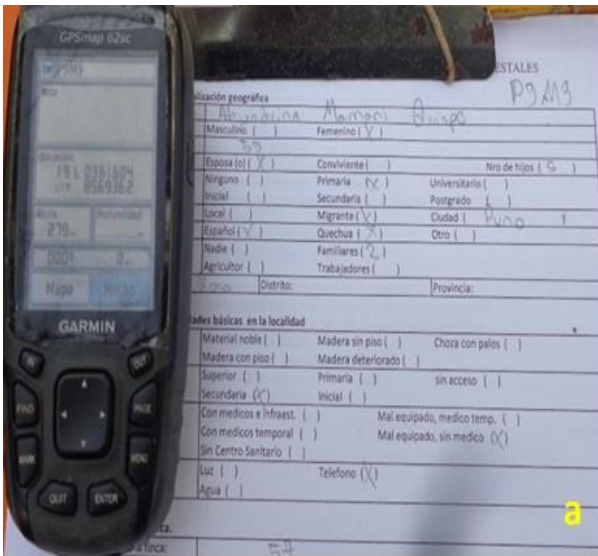
ANEXO 2. Fotos de los Sistemas Agroforestales



a) Aghihua con piña, b) Piña con cecropia, c) Copoazu con castaña y plátano y d) Condiciones de la vivienda



a) y b) Muestreo de suelos en sistemas agroforestales, c) Pijuaño como cerco vivo de parcela agroforestal y d) Castaña con naranja.



a) Registro y georeferenciación de parcelas, b) Cacao con pashaco, c) y d) Agricultores visitados



a) Cacao con guaba, b) Agricultor en su vivienda, y c) Copoazu con achihua