

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**Valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la
biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales - en la Región
San Martín - Perú**

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales

AUTOR:

Cesar Enrique Chappa Santa María

ASESOR:

Dr. Aquilino Mesías García Bautista

Tarapoto - Perú

2019



Esta obra está bajo una [Licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/)

Vea una copia de esta licencia en
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**Valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en
la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales – en la Región
San Martín - Perú**

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales

AUTOR:

Cesar Enrique Chappa Santa María

ASESOR:

Dr. Aquilino Mesías García Bautista

Tarapoto - Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**Valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en
la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales – en la Región
San Martín - Perú**

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales

AUTOR:

Cesar Enrique Chappa Santa María

ASESOR:

Dr. Aquilino Mesías García Bautista

Tarapoto - Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**Valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en
la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales – en la Región
San Martín - Perú**

AUTOR:

Cesar Enrique Chappa Santa María

Sustentada y aprobada el día 24 de abril del 2019, por los siguientes jurados:

.....
Dr. Manuel Padilla Guzman

Presidente

.....
Dr. Jaime Walter Alvarado Ramirez

Secretario

.....
Dr. Winston Franz Ríos Ruíz

Miembro

.....
Dr. Aquilino Mesías García Bautista

Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**Valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en
la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales – en la Región
San Martín - Perú**

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales

**El suscrito declara que el presente trabajo de tesis es original, en su contenido
y forma.**

.....
Ing. M. Sc. Cesar Enrique Chappa Santa María

Ejecutor

.....
Dr. Aquilino Mesías García Bautista

Asesor

Declaratoria de autenticidad

Cesar Enrique Chappa Santa María, con DNI N° 01089862, egresado de la Escuela de Posgrado, Programa de Doctorado en Gestión Ambiental, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la Tesis titulada: **Valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales – en la Región San Martín - Perú**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción se ha realizado respetando las citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La información plasmada en esta tesis no ha sido auto plagiada.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado asumo la responsabilidad y las consecuencias que de mi accionar deriven, sometiéndome a las normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto 24 de abril del 2019.



.....
Ing. M. Sc. Cesar Enrique Chappa Santa María

DNI N° 01089862

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Chappa Santa María, César Emigüe		
Código de alumno :		Teléfono:	945786230
Correo electrónico :	cchappas@hotmail.com		DNI: 01089862

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales
Escuela Profesional de:	Escuela de Postgrado

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Valoración económica del servicio Ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales - en la Región San Martín - Perú
Año de publicación:	2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.



.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

14 / 06 / 2019



.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

Dedico esta Tesis:

A la memoria de mis padres Víctor Manuel y Bonifacia y a mi memorable hermano Agustín Eliseo

A mi amada esposa Carmen Rocío, por su enorme apoyo espiritual guiándome siempre con su ejemplo, por la senda de la justicia, libertad y fraternidad

A mis hijos queridos Corita Pamela Bonifacia, Cesar Augusto, Camila Yolanda y Claudia Samantha por brindarme su comprensión y apoyo en el logro de las metas y objetivos de mi vida.

A mis respetables hermanos Jaime, Jack Euler, Víctor, Milagros, Elena, Martha, Hernán y Fernando para quienes deseo, que sigan siempre por el sendero del conocimiento y la verdad.

A mi yerno Werner Percy, a mi nuera Sandra Helena y a mis nietas Italia Apolonia, Shiva Elena y Victoria Valentina.

Agradecimiento

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Martín-T, por su valiosa contribución en mi formación profesional.

A mi asesor, al Dr. Aquilino Mesías Garcia Bautista, por su constante orientación.

A todos mis familiares y amigos por su colaboración y apoyo desinteresado que me dieron el ánimo para cumplir con el presente proyecto.

Índice de contenidos

	Página
Introducción	1
CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	
1.1. Referentes generales sobre el secuestro de carbono en bosques y sistemas agroforestales a nivel global	8
1.2. Referentes sobre el secuestro de carbono en sistemas agroforestales a nivel Regional	11
1.3. Marco teórico	17
1.4. Marco conceptual	20
1.4.1. Métodos de estimación de la biomasa y contenido de carbono	20
1.4.2. Precio social del carbono	23
1.4.3. Marco legal	23
1.4.4. Los servicios ambientales	30
1.5. Conclusiones Capítulos I	31
CAPÍTULO III DETERMINACIÓN DEL MODELO Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
2.1. Referentes de investigaciones experimentales	32
2.2. La modelación en la investigación	38
2.3. Determinación del modelo	39
2.4. Modelo propuesto para la investigación	40
2.5. Conclusiones Capitulo II	44
CAPÍTULO III MATERIAL Y MÉTODOS	
3.1. Descripción del área de estudio	45
3.2. Tipo de investigación	45
3.2.1. Diseño de Investigación	45

3.2.2. Área de estudio	46
3.2.3. Localización geográfica	46
3.2.4. Características generales del área	46
3.3. Materiales de campo y gabinete	48
3.4. Metodología para su implantación	49
3.4.1. Fase de pre – campo	49
3.4.2. Fase de Campo	49
3.4.2.1. Muestra de los sistemas agroforestales	49
3.4.2.2. Muestra de las encuestas	51
3.4.2.3. Biomasa y carbono secuestrado	51
3.4.2.4. Monitoreo del aire	55
3.4.2.5. Monitoreo meteorológico	56
3.4.2.6. Valoración económica	57
3.5. Procesamiento de datos	59
3.6. Validación del modelo	59

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ubicación de la cuenca	60
4.2. Cuantificación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales, el oxígeno liberado y el agua utilizada	61
4.3. Reservas de carbono en sistemas agroforestales, oxígeno liberado y agua utilizada	62
4.4. Monitoreo del aire	65
4.5. Monitoreo meteorológico	66
4.6. Estimación del valor económico de la biomasa aérea por el servicio de secuestro de carbono, oxígeno liberado y el agua utilizada	68
4.7. Estimación del valor de uso indirecto (VUI)	69
4.8. Estimación del valor opción (VO)	75
4.9. El beneficio económico por captura de carbono en sistemas no agroforestales versus los sistemas agroforestales evaluados	79
4.10. Estimación del Valor Económico Total de los sistemas agroforestales en la cuenca	80
4.11. El beneficio económico de los sistemas agroforestales frente al beneficio	

	xi
económico de la conservación.	81
4.12. Instrumento económico para contribuir a detener el incremento de la deforestación y a la promoción de los sistemas agroforestales.	81
4.13. Impuesto Ecológico sobre el Valor Agregado (IVA)	83
4.14. Situación propuesta	84
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
ANEXOS	110

Índice de cuadros

	Página
Cuadro 1. Precio Social del Carbono (En Dólares Americanos)	23
Cuadro 2. Parcelas georeferenciadas y evaluadas en la Cuenca Alta del Río Cumbaza	50
Cuadro 3. Parcelas georeferenciadas y evaluadas en la Cuenca Media del Río Cumbaza	50
Cuadro 4. Puntos De Monitoreo De Calidad De Aire	55
Cuadro 5. Métodos de monitoreo de gases	56
Cuadro 6. Métodos de monitoreo con el tren de muestreo	56
Cuadro 7. Equipos de monitoreo	56
Cuadro 8. Puntos de Monitoreo meteorológico - Mayo, 2018	57
Cuadro 9. Resultado de los parámetros gaseosos	65
Cuadro 10. Tarifa y canon de acuerdo al volumen de agua para consumo Humano	71
Cuadro 11. Volumen de agua captado para riego en m ³ /año y tarifa en S/. / m ³ por año	71
Cuadro 12. Volumen de agua captado para piscigranjas en m ³ /año y tarifa en S/. /m ³ por año.	72
Cuadro 13. Precios de los tipos de agua en S/. /m ³	73
Cuadro 14. Prueba de Duncan (P<0,05) para la disposición a pagar (DAP), según procedencia.	76
Cuadro 15. Prueba de Duncan (P<0,05) para la disposición a pagar (DAP), según ocupación.	77
Cuadro 16. Prueba de Duncan (P<0,05) para la disposición de pago a futuro (DAPF) según ocupaciones.	78
Cuadro 17. Cooperación internacional y proyectos ejecutados en la cuenca	79
Cuadro 18. Resumen de pagos (canon) desde el 2008 hasta el año 2016.	84
Cuadro 19. Estimación del Impuesto ecológico sobre el Valor Agregado, (IVA) de agua para consumo humano.	84
Cuadro 20. Estimación del Impuesto ecológico sobre el Valor Agregado, (IVA) de agua para riego.	85
Cuadro 21. Canon, que aportaría el Distrito de riego y la Junta de usuarios	85
Cuadro 22. Estimación del Impuesto ecológico sobre el Valor Agregado, (IVA) de agua para piscigranja.	86
Cuadro 23. Resumen del Impuesto ecológico sobre el Valor Agregado (IVA).	86
Cuadro 24. Financiamiento y número de hectáreas instaladas con Agroforestería	87

Índice de figuras

	Página
Figura 1. Modelo teórico para predicción de la biomasa aérea, captura de carbono y valoración económica de sistemas agroforestales	42
Figura 2. Cuenca del Río Cumbaza	46
Figura 3. Cuadrantes de 1m x 1m para material herbáceo y arbustivo y cuadrantes interiores de 0.5m x 0.5 m para hojarasca y para la muestra de suelo	53
Figura 4. Mapa de vegetación de la Cuenca del Río Cumbaza	60
Figura 5. Prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0,05$) para promedios Obtenidos de C en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ en los sistemas agroforestales en la cuenca alta y cuenca media (CA, CM) y en bosques en la cuenca alta y media (BCA, BCM)	61
Figura 6. Prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0,05$) para promedios de C, H_2O utilizada y oxígeno liberado en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ obtenidos en los sistemas agroforestales en la cuenca alta y cuenca media (CA, CM)	63
Figura 7. Mapa de bosques y sistemas agroforestales en la cuenca del Río Cumbaza	65
Figura 8. Temperatura interna ($^{\circ}\text{C}$), según puntos referenciales y según monitoreo	66
Figura 9. Temperatura externa ($^{\circ}\text{C}$), según puntos referenciales y según monitoreo	66
Figura 10. Humedad interna (%), según puntos referenciales y según monitoreo	67
Figura 11. Humedad externa (%), según puntos referenciales y según monitoreo	67

Resumen

La tesis titulada “Valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales – en la región San Martín – Perú”, tuvo como objetivo: Estimar el valor económico total del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales.

El presente trabajo de investigación se realizó identificando sistemas agroforestales en la cuenca alta y media ubicada en la cuenca del Río Cumbaza (Provincias de Lamas y San Martín). Se utilizó un Diseño de investigación de carácter No Experimental de tipo seccional, La muestra considerada fueron los sistemas agroforestales identificados en la Cuenca Alta (5) y media (5). Los sistemas agroforestales instalados por el Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo a partir del 2011 en la Cuenca Alta y el 2012 en la Cuenca Media, asimismo, se consideró un bosque primario en la cuenca alta y un bosque primario en la cuenca media. La muestra para las encuestas fue de 500 personas (residentes, estudiantes, comerciantes, profesionales y turistas). Se evaluaron la Biomasa Arbórea, la biomasa Arbustiva y Herbácea, la biomasa de Hojarasca, el carbono en el suelo, el carbono Total. La Valoración económica, referida al valor de uso directo, el valor de uso indirecto, el valor de opción propiamente dicho, el valor de cuasi opción, el valor legado y el valor de existencia.

Las conclusiones fueron: El carbono promedio estimado en los sistemas agroforestales de cuenca media y cuenca alta del Río Cumbaza fue de 21,551 t.ha⁻¹ y 15,395 t.ha⁻¹ respectivamente. El valor económico total de los sistemas agroforestales en la cuenca del Río Cumbaza es de S/. 78 086 986,2745 (S\$ 23 662 723,113) y el VET promedio por hectárea es de S/. 220 995,0 (S\$ 66 968,18). El beneficio económico ambiental por secuestro de C en los sistemas agroforestales contribuye en 220 995,0 S/.ha⁻¹ frente al beneficio económico de la conservación de S/. 725,54 por hectárea y es comparativamente superior a los sistemas no agroforestales y el impuesto ecológico sobre el valor agregado (IVA), se estimó en S/. 2 455 645,2 para 9 años (2008 a 2016) o S/. 272 849,5 anuales, con éste monto anual se propone el instrumento económico en la instalación de 69,32 ha.año⁻¹ de sistemas agroforestales en la cuenca del Río Cumbaza.

Palabras clave: Sistemas agroforestales, captura de carbono, valor económico, servicio ambiental

Abstract

The following thesis titled as "Economic valuation of the environmental service for carbon capture and sequestration in the aerial biomass of different agroforestry systems - in the San Martín region - Peru", had as objective: To estimate the total economic value of the environmental service by carbon sequestration in the biomass of different agroforestry systems (SAF).

A non-experimental research design of a sectional type was used, 5 SAF was considered in the Upper Basin and 5 in the middle basin. The total carbon in the aerial biome was determined and economically valued to the SAF. The conclusions were: The average carbon estimated in the SAF of the middle basin and upper basin of the Cumbaza River was 21,551 t.ha⁻¹ and 15,395 t.ha⁻¹ respectively. The total economic value of the average SAF per hectare is S /. 220 995.0 (S\$ 66 968.18). The environmental economic benefit for sequestration of C in the SAF is comparatively superior to non-agroforestry systems and the ecological tax on value added (VAT), was estimated at S /. 272,849.5 per year, being proposed as an economic instrument in the installation of 69.32 ha.año⁻¹ of SAF in the Cumbaza River basin.

Keywords: Agroforestry systems, carbon capture, economic value, environmental service



Introducción

La región San Martín fue creada con el Decreto Ley 25666, del 17 de agosto de 1992, con una superficie aproximada de 51 253.31 km². Alrededor de 1,6 millones de hectáreas (30% de la región) de bosques primarios han sido deforestados en los últimos 50 años. En relación a la deforestación, el año 2011, ésta se determinó en 1 075 275 ha, con una tasa anual de 0,625% (2000-2005) y 0,696% (2005-2010). El bosque residual contiene un área estimada de 3 278 904,64 ha. Los efectos de la deforestación acelerada, el cambio de uso de la tierra, las malas prácticas agropecuarias y la degradación de tierras en la región y muy en especial en las Provincias de Lamas y San Martín, vienen causando problemas ambientales y sociales que se manifiestan en el desabastecimiento de agua, la erosión acelerada de suelos, la pérdida de diversidad genética, niveles crecientes de contaminación del aire y efectos del cambio climático, iniciándose un proceso de deterioro de calidad de vida de la población (Gobierno Regional de San Martín – GORESAM, 2014)

Según la Plataforma de monitoreo de cambios sobre la cobertura de los bosques - Geo Bosques (2018), la superficie deforestada el año 2005 alcanzó 34 253 has, el 2010 fue de 34 882 has, el 2015 fue de 22 111 has y el 2017 alcanzó los 12 501 has. Información que si bien nos indica que en los últimos 17 años la deforestación viene disminuyendo, no implica que el uso inadecuado de los recursos naturales ni mucho menos el riesgo desaparezca, puesto que el nivel de deforestación en San Martín viene afectando seriamente la provisión y calidad del agua contribuyendo al cambio climático. Esta preocupación viene generando consenso sobre la necesidad de implementar sistemas productivos mas sostenibles en pro de la conservación de la biodiversidad, conservación de los suelos, reciclaje de nutrientes, diversidad productiva por encima de otros usos alternativos de la tierra.

Una forma de mitigar estos efectos y reducir las emisiones, es fijándolo o capturándolo y manteniéndolo el mayor tiempo posible en la biomasa vegetal y en el suelo. En el primer caso se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica. Los bosques naturales son el principal sumidero para el CO₂, sin embargo, los sistemas agroforestales y forestales también que además de

secuestrar carbono, proporcionan bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que deforesten más hectáreas de bosques, reduciendo la presión sobre los recursos naturales.

La valoración económica del contenido de carbono capturado y consecuentemente el oxígeno liberado y el agua utilizada en los diferentes sistemas agroforestales en las Provincias de Lamas y San Martín permitirá definir el sistema de uso de la tierra más apropiado para las condiciones edafoclimáticas en la zona de estudio, determinando así sistemas agroforestales en función a la ZEE, redefiniendo un modelo económico sostenible en armonía con el ambiente.

Formulación del problema

¿Cuánto es el valor económico total por secuestro de carbono en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales en la Cuenca alta y media del Río Cumbaza?

Objeto de investigación

El contenido de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales ubicados en la cuenca alta y media del Río Cumbaza.

Objetivo general

Estimar el valor económico total del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales – región de San Martín - Perú

Objetivos específicos

- a) Cuantificar las reservas de carbono de la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales en la cuenca alta y media del Río Cumbaza y consecuentemente el oxígeno liberado y el agua utilizada.
- b) Estimar el valor económico de la biomasa aérea por el servicio de secuestro de carbono, oxígeno liberado y el agua utilizada.
- c) Comparar el beneficio económico por captura de carbono de los sistemas agroforestales con los sistemas no agroforestales.

- d) Proponer un instrumento económico para contribuir a la promoción de los sistemas agroforestales.

Campo de acción de la tesis

Gestión ambiental para la valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales.

Hipótesis

Hipótesis: H₀

El beneficio económico ambiental que se obtiene por la captura de carbono en sistemas agroforestales contribuye con el beneficio económico por conservar los bosques.

El instrumento económico planteado contribuye significativamente a la promoción de los sistemas agroforestales.

Hipótesis: H₁

El beneficio económico ambiental que se obtiene por la captura de carbono en sistemas agroforestales no contribuye con el beneficio económico por conservar los bosques.

El instrumento económico planteado no contribuye significativamente a la promoción de los sistemas agroforestales.

Desarrollo de la investigación

En la presente investigación se desarrollaron las siguientes etapas:

Primera etapa: Facto - Perceptible.

- Estudiar las características generales e históricas de los procesos de actividades antrópicas en la Cuenca del Río Cumbaza y estudios desarrollados relacionados al estudio del caso.
- Plantear alternativas de procesos metodológicos para desarrollar el objeto, en busca del

objetivo de la tesis.

Segunda etapa: Determinación del modelo y metodología de investigación

- Se desarrollaron las experiencias adecuadas y las premisas y lineamientos para la elaboración del modelo teórico.
- Se elaboró la metodología para construir el modelo teórico de la valoración económica total de los SAFs en la Cuenca del Río Cumbaza, empleando el modelo análogo.

Tercera etapa: Implantación del modelo análogo en la investigación (propuesta).

- Se validaron las herramientas a utilizar e implementaron la operatividad de los equipos y variables en estudio
- Se estableció el modelo analógico experimental para el proceso de valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa de los sistemas agroforestales
- Se realizó la recolección y análisis de datos y validación de los resultados mediante método estadístico.

Cuarta etapa: Resultados y discusiones, conclusiones y recomendaciones.

Se elaboró los resultados y discusiones, las conclusiones y recomendaciones obtenidas.

Métodos empleados: Se consideró cuatro etapas:

Primera etapa: Facto perceptible

- **Método bibliográfico - documental:** Para establecer el contexto en el cual se desarrollaron los estudios, investigaciones y experimentos con referencia al presente trabajo de investigación.
- **Método estadístico:** Para procesar la información de los resultados del experimento y presentarlo en tablas y gráficos a fin de efectuar el análisis de los resultados. Así como para efectuar el análisis de la información estadística disponible.

Segunda etapa: Determinación del modelo y metodología de investigación

- **Método de modelación:** Para la construcción del modelo, a fin de reproducir el objeto que se está estudiando. Reproducción simplificada de la realidad; mediante instrumentos, símbolos o esquema.
- **Método sistémico - estructural:** Clasifica las etapas de los procesos y establece las relaciones existentes en cada uno de ellos y sus elementos.

Tercera etapa: Implantación del modelo análogo en la investigación (propuesta).

- **Método de modelación:** Empleado para la construcción del modelo a fin de reproducir el objeto de estudio, mediante el uso de equipos e instrumentos.
- **Método experimental:** Utilizado para concentrar el objetivo en la inspección del objeto en estudio, empleando el razonamiento hipotético deductivo. Se utilizan muestras representativas experimentales como estrategia de control y metodología cuantitativa para el análisis de datos mediante el análisis estadístico.
- **Método sistémico - estructural:** Establecer relaciones entre las diferentes variables que intervendrán durante el proceso de la valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa de los sistemas agroforestales planteado en el modelo teórico.

Cuarta etapa: Resultado y discusión, conclusion y recomendacion.

- **Método hipotético inductivo – descriptivo:** Desarrolla el análisis de las discusiones en relación a los resultados obtenidos, elabora las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación realizada.

Aportes de la investigación

- **Aporte teórico**

El diseño del modelo, genera nuevos conocimientos referentes a la valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa de los

sistemas agroforestales, a través del procedimiento teórico de la gestión ambiental, partiendo de las referencias bibliográficas, la toma de datos, sistematización, procedimiento del método científico, interpretación y como resultado el instrumento de gestión ambiental necesario para la toma de decisiones a nivel local y regional.

- **Aporte práctico**

El aporte práctico, referido a la facilidad de la implantación del modelo, la aplicabilidad metodológica y las consideraciones necesarias a tener en cuenta en el proceso de puesta en marcha de la metodología teórica, de los estudios sobre la valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa de los sistemas agroforestales y de la experiencia en la evaluación, procesamiento e interpretación de los resultados..

- **La novedad del estudio de investigación**

Permitió obtener un mayor conocimiento referido a los servicios ambientales ecosistémicos implícitos como el carbono capturado, reduciendo la oferta del carbono atmosférico; adicionalmente servicios ambientales como el oxígeno liberado, oxigenando permanentemente el aire circundante y el agua transpirada, refrigerando el ecosistema que no son valorados dada la enorme importancia en la existencia y preservación de todos los seres vivos del planeta. Proceso elemental para la gestión y el desarrollo de estrategias sostenibles en el manejo y conservación de los recursos naturales y sus componentes agroforestales.

- **Relevancia social**

El presente trabajo de investigación es de vital importancia para la población en general, autoridades locales, regionales y nacionales, las mismas que permite analizar y explicar la valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales y específicamente para todos los seres vivos superiores. De igual manera cuenta con un proceso metodológico establecido en el modelo diseñado, de simple aplicabilidad en los diferentes centros de educación superior con especialidades en las carreras profesionales de agronomía, forestal, ambiental, biología y otros afines, aportando al conocimiento para el manejo y conservación sostenible de estos ecosistemas agroforestales.

Resumen de los capítulos

La presente investigación está distribuida en cuatro capítulos resumidos en:

- Primer capítulo

Muestra la revisión bibliográfica de las referencias generales sobre el secuestro de carbono en bosques y sistemas agroforestales a nivel global y a nivel regional. Asimismo, se consideran el marco legal correspondiente y ligada a la presente investigación. En ellas se ha revisado y analizado los resultados, discusiones y conclusiones que se obtienen, reflexionando y considerando los aspectos más importantes que contribuyeron al estudio desarrollado (procedimientos, equipos, valores de variables, etc). La información conseguida se relacionó a los marcos de antecedentes, teórico y conceptual.

- Segundo capítulo

En este capítulo se indican referencias bibliográficas sobre investigaciones experimentales, la modelación, modelos de biomasa aérea, el modelo propuesto de la investigación respecto a los lineamientos y el diseño metodológico. Asimismo, se fundamenta el modelo en las variables independientes y dependientes que intervienen en la valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales. La metodología del modelo fue elaborada en base a los materiales, equipos, selección de la muestra y recolección de datos. Asimismo, para la validación de los resultados en el estudio se planteó la aplicación del método estadístico.

- Tercer capítulo

Utilizando el modelo análogo, se describe el modelo experimental para la valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales en base a una metodología experimental expresada en el presente documento, las que permitió evaluar y realizar mejoras en el documento antes su implementación respectiva, con la finalidad de reproducir el objeto de estudio, permitiéndonos efectuar una reproducción simplificada de la realidad. Se realizó la recolección de datos, su tratamiento y validación de los

resultados, todo esto marcado en un modelo estadístico planteado en el capítulo II del presente trabajo.

- **Cuarto capítulo**

Se presentan los resultados y discusiones, considerando el análisis de los resultados comparadas con otras investigaciones, mediante fundamentos teóricos para la valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales. Así mismo se elaboró las conclusiones y recomendaciones del trabajo respectivo.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Referentes generales sobre el secuestro de carbono en bosques y sistemas agroforestales a nivel global

Los bosques primarios intactos brindan servicios ambientales significativos a nivel mundial como el secuestro y almacenamiento de carbono, la regulación y abastecimiento de agua y la conservación de la biodiversidad. Por estas razones, la conservación y la restauración de la integridad de los bosques son una prioridad en los actuales esfuerzos para detener la crisis de la biodiversidad, mitigar el cambio climático y lograr objetivos de desarrollo sostenible (WATSON et al., 2018). Uno de los servicios ecosistémicos más importantes de los bosques intactos tropicales es que son importantes reservorios de carbono a nivel mundial ('stock' de carbono; p.e. Saatchi et al. 2011, Aguilar-Amuchastegui et al. in review).

La cubierta forestal a nivel mundial alcanza casi 4,000 millones de hectáreas, y cubre cerca del 30% de la superficie terrestre. Entre 1990 y 2005, el mundo perdió el 3 por ciento de su superficie forestal, con una reducción media del 0,2 por ciento anual, según los datos de la FAO. Entre 2000 y 2005, 57 países experimentaron un incremento de su superficie forestal, mientras que 83 señalaron una reducción.

El IPCC (2005, pg. 28) en su informe especial sobre la captación y almacenamiento del dióxido de carbono manifiesta que las emisiones de CO₂ originadas por actividades humanas proceden de diversas fuentes, en su mayor parte de la combustión de combustibles fósiles utilizados en la generación de energía, el transporte, los procesos industriales, y los edificios residenciales y comerciales. El CO₂ también se emite en el curso de ciertos procesos industriales, como la fabricación de cemento o la producción de hidrógeno, y durante la combustión de biomasa (deforestación y quema).

El aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera es el principal impulsor del cambio climático. Las concentraciones

atmosféricas de estos gases constituyen el balance entre las emisiones provocadas por las actividades humanas y la absorción neta por la biosfera y los océanos (**Organización Meteorológica Mundial - OMM, 2017**).

La OMM (2017), también informa que en el 2016, las concentraciones de los gases de efecto invernadero alcanzaron nuevos valores máximos, a saber: $403,3 \pm 0,1$ partes por millón (ppm) el CO_2 , 1853 ± 2 partes por mil millones (ppmm) el CH_4 y $328,9 \pm 0,1$ ppmm el N_2O , que representan respectivamente el 145 %, el 257 % y el 122 % de los niveles preindustriales (antes de 1750). El CO_2 creció a un ritmo más rápido entre 2015 y 2016 que el observado entre 2014 y 2015 y que la media del último decenio, y fue el mayor crecimiento anual observado desde 1984. El episodio de El Niño contribuyó a la aceleración de la tasa de aumento del CO_2 en 2016 debido al aumento de las emisiones de fuentes terrestres (p. ej., incendios forestales) y a una disminución de la captación de este gas por la vegetación en las zonas afectadas por las sequías. El episodio de El Niño de 2015/2016 propició la aceleración de la tasa de aumento a través de complejas interacciones recíprocas entre el cambio climático y el ciclo del carbono.

Los bosques cubren una superficie de $41,70 \times 10^6 \text{ km}^2$ (27 % de la superficie terrestre) con proporciones de 25%, 33% y 42% respectivamente para los bosques templados, boreales y tropicales y contienen el 77% de la biomasa viva. Se estima que el 80% del carbono que vegetación y suelos intercambian con la atmósfera corresponde a los bosques. Estos, al incorporarse el carbono en el crecimiento de los árboles, actúan como sumideros ($2,30 \text{ Gt C año}^{-1}$ en términos muy amplios) y juegan un papel importante en el balance de carbono, contribuyendo a reducir el contenido en la atmósfera del CO_2 procedente de las emisiones antropogénicas (**PARDOS, 2010**).

PARDOS (2010), basados en WBGU (German Advisory Council on Global Change - 1998) revelan apreciables diferencias entre tipos de bosques. Existe un contenido de carbono en el suelo mayor que en la vegetación para todos los biomas, salvo en los bosques tropicales en los que el contenido en la vegetación se iguala con el del suelo y sobrepasa con mucho al de la vegetación de cualquier otro bioma.

La estimación del contenido en carbono en un bosque tropical de Colombia, da un valor medio de 383,70 Mg C.ha⁻¹ (59% en suelo, 29 % en vuelo, 10% en biomasa de raíces, 2% en necromasa) en bosques primarios y 228,20 ± 13,10 Mg C ha⁻¹ (84% en el suelo, 9% en el vuelo, 5% en biomasa de raíces) en bosques secundarios. Los autores (**SIERRA et al, 2007**) concluyen que los valores de biomasa del vuelo conducen a subestimar el contenido total de carbono en el ecosistema.

En un estudio realizado en bosques maduros de la Amazonía, el incremento de la biomasa es equivalente a una captación neta de 0,62 ± 0,37 t-ha⁻¹.año⁻¹ de carbono (**LINO, 2009**).

RODRÍGUEZ et al. (2006), desarrollaron una investigación para cuantificar la cantidad de carbono almacenado en los bosques de niebla de la Reserva de la Biosfera “El Cielo”, en Tamaulipas, México. Mediante modelos no lineales estos autores mostraron que la especie *Liquidambar styraciflua* “estoraque” aportó más de 28,5 Mg.ha⁻¹ de biomasa, seguida de *Pinus montezumae* “ocote” y *Quercus xalapensis* “petzaláhuatl” con más de 18,4 Mg/ha y, el estrato arbustivo, con diámetros entre 5 y 10 cm y con dominancia de tres especies, 13,5 Mg.ha⁻¹.

1.2. Referentes sobre el secuestro de carbono en sistemas agroforestales a nivel regional

En el Perú, se estima que existen 6.9 mil millones de toneladas de carbono almacenadas arriba del suelo en los bosques, de los cuales un 26% se encuentra almacenado en bosques al interior de 174 áreas naturales protegidas de administración nacional, regional y privada (**Carnegie Institute y MINAM, 2015**).

Mientras tanto, también, se conoce que los bosques primarios intactos han actuado como sumideros de carbono durante las últimas décadas (**PHILLIPS et al., 1998, BAKER et al., 2004B, LEWIS et al., 2009, BRIENEN et al., 2015, QIE et al., 2017, PHILLIPS Y BRIENEN, 2017**). Este sumidero ha ocurrido porque la cantidad almacenada de carbono ha aumentado con el tiempo: es decir, el cambio en el stock de carbono ha sido positivo, lo cual ocurre cuando los flujos que agregan

carbono al stock, como el crecimiento de los árboles, son más altos que los flujos que disminuyen el stock, como la mortalidad. La presencia de este sumidero de carbono demuestra claramente el importante rol de la conservación de las ANP al contribuir preservar el stock de carbono en los bosques, pero también para la mitigación del cambio climático.

En el Perú basándose en datos de 70 parcelas de monitoreo permanente instaladas al interior del bosque amazónico en áreas naturales protegidas y zonas de amortiguamiento, se ha estimado un sumidero promedio de 0.52 toneladas de carbono $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (1990-2017). Este valor representa un sumidero de 9.7 millones de toneladas de carbono por año en los bosques intactos de las áreas naturales protegidas equivalente a 86% de lo que el país emitió por la quema de combustibles fósiles en 2012 (MINAM, 2016a). Sin embargo, este sumidero de carbono no está considerado en el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel nacional. Según el inventario nacional de GEI elaborado por el MINAM para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), el sector uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS), contribuyó con el 51% de las emisiones nacionales de CO_2 en el 2012 (MINAM, 2016a). En esta categoría se incluye las emisiones debido a la deforestación y las remociones de CO_2 debido al crecimiento de los bosques secundarios y las plantaciones. Mientras tanto, la remoción de los bosques primarios no está incluida: los bosques primarios están considerados con un flujo neto cero de carbono (MINAM, 2016a).

Si el sumidero de carbono de los bosques intactos de Perú sería reconocido, podría abrir nuevas oportunidades para el financiamiento de la conservación a través de mecanismos de redistribución por servicios ecosistémicos basado en carbono (Baker et al., 2010). Estos mecanismos buscan la mitigación del cambio climático a través de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero producidos por la deforestación o degradación evitada (GRASSI et al., 2017). Estas iniciativas podrían ser una fuente clave para cubrir la brecha financiera que el SERNANP requiere para alcanzar una gestión efectiva que garantice la conservación de los bosques dentro de las ANPs.

El Perú tiene 73 millones de hectáreas de bosques que se caracterizan por una amplia diversidad, de la cual se distinguen los bosques amazónicos que comprenden la mayor superficie con 94% del área forestal, los bosques secos que abarcan el 5% y los bosques andinos con 0.5%. Tanto los bosques amazónicos como los no amazónicos experimentan fuertes presiones, ya que la deforestación afecta también las vertientes occidentales, oriental andina y laderas de valles interandinos (**MINAN y MINAGRI, 2011**).

Los bosques húmedos amazónicos en el Perú evidencian una pérdida acumulada de 10 millones de hectáreas desde 1900, lo cual representa una reducción de 12% de la cobertura total desde principios de siglo (**FIP, 2013**). El análisis de los datos de cobertura de bosques húmedos amazónicos durante el periodo 2001 - 2013 muestra, a pesar de reducciones de corta duración, una tendencia de la tasa de deforestación que continúa en aumento con una pérdida promedio de 113 000 hectáreas anuales, que sobrepasó las 140 000 hectáreas en los años 2005, 2009, 2012 y 2013 (**MINAM y MINAGRI, 2015**).

La absorción neta de carbono por los ecosistemas terrestres (principalmente los sistemas forestales) es el resultado de la diferencia entre el carbono absorbido ($1,60 - 4,80 \text{ Gt C.año}^{-1}$) y el emitido a la atmósfera por cambios de uso de la tierra ($1,40 - 3,00 \text{ Gt C.año}^{-1}$), diferencia positiva ($0,20 - 1,80 \text{ Gt C.año}^{-1}$), aunque lejos de $6,30 \text{ Gt C año}^{-1}$ emitidas por quema de combustibles fósiles (House *et al*, 2003); cantidades que, según otras fuentes (**MARLAND *et al.*, 2007**) ascienden a $7,00 \text{ Pg C año}^{-1}$ para la quema de combustibles fósiles y $1-2 \text{ Pg C.año}^{-1}$ por deforestación tropical ($1 \text{ Pg} = 1\text{Gt}$). Valores medios, que al tener amplios márgenes de error (no siempre explicitados), conducen a diferencias en los datos dados por los diferentes autores que producen cierta confusión

En un estudio sobre evaluación de carbono en la cuenca del río Nanay se evaluó bosques sin intervenir y se reportaron valores que oscilan entre $13\,208,32 \text{ t.ha}^{-1}$ en varillales y $452,38 \text{ t.ha}^{-1}$ en aguajales, para la biomasa sobre la superficie y para carbono $104,03 \text{ t.ha}^{-1}$ en varillales y $226,19 \text{ t.ha}^{-1}$ en aguajales (**IIAP 2002 citado por LINO, 2009**). Dado al mayor volumen de biomasa de los bosques tropicales, se

destaca su especial aptitud como sumidero de carbono, pues los bosques amazónicos mantienen entre 155 y 187 t t.ha⁻¹; 34 veces más en promedio, que las tierras dedicadas a la agricultura (LINO, 2009).

En la evaluación de 7 sistemas de uso de la tierra en el ámbito de la provincia de Mariscal Cáceres, región de San Martín. Tres sistemas de 3 años, dos de 6 años y dos de 8 años de edad del cultivo principal es el cacao, realizado por LARREA (2007), y en donde cada uno de los sistemas se encontró dotado de diferentes sombras, distanciamiento y manejo particular. Así mismo, determinó la ecuación alométrica (modelo de biomasa): $Biomasa = 0.4849 \text{ Diámetro}^{1.42}$, con el fin de estimar la biomasa específica para la especie de cacao en función a la información levantada mediante inventarios en Mariscal Cáceres, dicha ecuación fue elaborada en base a 30 árboles de diferentes zonas con similares condiciones ambientales. De los resultados, se puede concluir que los sistemas de cacao con especies forestales maderables y frutales, presentaron una mayor acumulación de carbono almacenado en la biomasa aérea arbórea, a su vez, estos favorecen de manera constante la presencia de abundante hojarasca, funcionando como principal agente de conservación del suelo y excelente controlador de maleza. Los flujos fijación de carbono para cada uno de los sistemas fluctuaron desde 0.99 a 8.02 t C.ha⁻¹ año⁻¹. El sistema mas rentable para esta actividad es el de Cacao de 8 años con sombra de capirona, bolaina y caoba, con un ingreso anual aproximado de US\$ 150.33 dólares americanos, por t CO₂.ha⁻¹ año⁻¹.

LAPEYRE *et al* (2004), evaluaron la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de la tierra en la región de San Martín-Perú, con la finalidad de conocer el potencial de captura de carbono. Los sistemas de uso de la tierra evaluados fueron: Bosque primario, Bosque secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas locales maíz (*Zea mays*), arroz (*Oriza Sativa*), pastos (*Brachiaria*) y sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) bajo sombra y cacao (*Cacao* sp.). El carbono total en el bosque primario fue de 485 tm C ha⁻¹, superando ampliamente las reservas del bosque secundario de 50 años y de bosque descremado de 20 años. Con relación al bosque primario se observa una reducción de reservas en más de 50% del bosque secundario de 50 años (234 t C.ha⁻¹). El bosque descremado de 20 años perdió más

del 80% de reservas (62 t C.ha⁻¹). El nivel de reservas de carbono en la biomasa de hojarasca de los sistemas boscosos, no es significativo al compararlo con el total de las reservas de carbono de la biomasa aérea; sin embargo si es significativo para sistemas agroforestales. Los sistemas agroforestales secuestraron entre 19 a 47 t C.ha⁻¹, dependiendo de la cantidad de especies forestales, tipo de cultivo, edad y tipo de suelo y recuperan el potencial de captura en forma productiva. Los sistemas agrícolas capturaron poco C (5 t C.ha⁻¹), además generan fugas de gases efecto invernadero (GEI) cuando se usan agroquímicos y quema de rastrojos, entre otros.

CONCHA et al (2007), evaluaron la biomasa aérea en seis diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) asociado con especies forestales maderables y frutales; con el propósito de conocer el potencial de captura de carbono por cada sistema. El estudio se realizó en dos diferentes sitios ubicados en la región San Martín (provincias de San Martín y Mariscal Cáceres). Los sistemas agroforestales estimados presentaron edades de 5, 12 y 20 años. Los resultados en captura de carbono en cada sistema agroforestal variaron desde 26.2 t C.ha⁻¹ para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 45.07 t C.ha⁻¹ del sistema agroforestal de Pachiza de 12 años; Así mismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12.09 t.ha⁻¹ hasta 35.5 t.ha⁻¹, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t.ha⁻¹ hasta 9.97 t.ha⁻¹; mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos. Los sistemas agroforestales de 12 y 20 años representan el 66.7% de los sistemas que presentan reservas de carbono por encima de los 40 t C.ha⁻¹; mientras que los sistemas de 5 años se encuentran con reservas de carbono por debajo de los 30 t C.ha⁻¹. Los sistemas agroforestales de 5 años ubicados en Juanjui y Pachiza presentaron el mayor flujo de carbono anual, generando el mayor beneficio económico con créditos por CO₂ equivalente.

La cuantificación del carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo, en cinco sistemas de uso de la tierra: bosque primario, bosque secundario, pijuayo (*Bactris gasipaes* Kunth), Cacao (*Theobroma cacao L.*) y Café (*Coffea arabica L.*) (**DIAZ et al, 2016**), donde se instalaron tres transectos de 100 m² (4 m x 25 m), en cada sistema. Se evaluó la biomasa aérea viva, la hojarasca y el suelo (0 - 30 cm).

Se utilizó la metodología desarrollada por el ICRAF. El carbono total en el bosque primario y secundario fue de 398.78 y 396.78 t.ha⁻¹, mientras que los sistemas de pijuayo, cacao y café presentaron valores de 22.68, 17.46 y 17.88 t.ha⁻¹; respectivamente. Tanto el bosque primario como el bosque secundario superaron por 20 veces más a los demás sistemas estudiados. En el componente suelo el bosque secundario tuvo un total de carbono almacenado de 113.94 t.ha⁻¹, el bosque primario tuvo el 81%; y los sistemas de pijuayo, cacao y café presentaron valores de 43.4%, 48.7% y 49.81% respectivamente, con relación al bosque primario. Estos resultados indican que el cambio de bosques a plantaciones y de una sola especie, disminuyen la capacidad de capturar carbono y por ende de CO₂ uno de los gases causante del cambio climático.

Buscando contribuir a la generación de información base para la elaboración de proyectos de comercialización de créditos de carbono, a través del aprovechamiento de sistemas agroforestales de café en la amazonía, como sumideros de gases de efecto invernadero y como posible motor de desarrollo para los productores cafetaleros, **QUIÑE y CHAPPA (2009)**, realizó un estudio sobre la Cuantificación de Biomasa y Reserva de Carbono en Sistemas Agroforestales de Café (*Coffea arabica* L.) en dos pisos altitudinales, para lo cual utilizaron una estadística descriptiva y comparativa. Los resultados muestran en la parcela del Fundo Juan Bernito, la cantidad de carbono total (biomasa aérea y del suelo) almacenado fue de 119,37 t.ha⁻¹; donde la mayor aportación fue el carbono en el suelo con 74, 76 t.ha⁻¹; seguida de los árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo y arbustos-herbáceas con 32,85; 5,32; 4,87; 1,89 t.ha⁻¹ respectivamente. En el Fundo Sananguillo, la cantidad de carbono almacenado fue 165,81 t.ha⁻¹ superando al total de carbono almacenado en el Fundo Juan Bernito. La mayor aportación fue el carbono en el suelo con 114,99 t.ha⁻¹; seguida de los árboles vivo, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo, arbustos y las herbáceas con 27,83; 17,65; 2,98; 2,35 t.ha⁻¹ respectivamente.

GARCIA y CHAPPA (2010), evaluaron el impacto de 05 diferentes sistemas de uso de la tierra sobre indicadores ecológicos como el CO₂, Carbono, agua y oxígeno y determinar el impacto económico de sistemas agroforestales en 03 comunidades

de la cuenca del Río Cumbaza. Las actividades se desarrollaron en las localidades de la Cuenca Alta (Chiricyacu), Media (Aucaloma) y Baja (Rumizapa) del Río Cumbaza. Se consideraron 5 sistemas de uso de la tierra, como tratamientos. El diseño fue no experimental de tipo seccional. Los tratamientos en estudio fueron: Sistema de uso de la tierra (SUT) con Paliperro, SUT con Café y Guaba, SUT con Cacapana, SUT con Capirona y SUT Café bajo sombra de bosque raleado. Las conclusiones más relevantes fueron: 1. *Calicophyllum spruceanum* (Capirona) arrojó el mayor contenido promedio de carbono con 60.172,00 kg.ha⁻¹ seguido de *Vitex pseudolea* (Paliperro) con 51.063,80 kg.ha⁻¹. 2. El mayor contenido de Carbono en la biomasa aérea, fue en la materia seca en herbáceas y hojarascas fue obtenido por el SUT con café – guaba (Aucaloma) con 28.398.70 kg.ha⁻¹, seguido del SUT café – guaba (Rumizapa) con 21.002.58 kg.ha⁻¹. 4. Los sistemas agroforestales tienen un considerable beneficio económico, pues muestra en todos los casos estar por encima de la relación S/1.3

1.3. Marco teórico

En el presente trabajo, se revisan algunos aportes respecto al valor económico del servicio ambiental por captura de CO₂ y del mercado de gases de efecto invernadero y valoración económica del almacenamiento de carbono, para luego proponer un modelo pertinente para la estimación del valor económico total del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales.

1.3.1. Estimación del valor económico de servicio ambiental por captura de CO₂

Los servicios ambientales son aquellos beneficios que proveen los ecosistemas a las personas, para que estas a su vez hagan uso de ellos con el fin de mejorar su calidad de vida. Los ecosistemas ofrecen una amplia gama de bienes y servicios. Un servicio ambiental de gran relevancia a nivel global es el que brindan los bosques que a través del proceso de fotosíntesis capturan el dióxido de carbono atmosférico (CO₂), lo fijan en sus estructuras vivas y parte de este lo acumulan en su biomasa, como reservas de carbono. De esta forma, la concentración excesiva de CO₂ se reduce y, por lo tanto, disminuye el efecto invernadero (**MENESES y ZAMORA, 2018**).

El aire limpio, las vistas panorámicas, paisajísticas y alrededores agradables son bienes públicos, sin embargo raramente se disponen para ellos de precios directos en el mercado, los cuales en muchos casos es posible estimar un valor implícito para un bien o servicio ambiental por medio del precio pagado por otro bien que esta en el mercado. A pesar que hay limitaciones a estas técnicas, ellas pueden ser muy útiles para valorar una gama amplia de cualidades ambientales (**DIXON *et al.*, 1994**).

El concepto de Valor Económico Total (VET), que es el agregado de todos los valores que se generan de la interacción de las preferencias de los individuos con los diversos servicios provistos por un bien (**BATEMAN *et al.*, 2003**). En general, el valor económico de incrementar (o preservar) una cantidad de un bien o servicio se define como cuánto están los individuos dispuestos a renunciar de otros recursos para obtener este incremento o status quo (**TURNER *et al.*, 2000**).

Así, el VET se compone de valores de uso y no uso: los primeros suponen una interacción del ser humano con el recurso, o sea, un uso real del medio ambiente; es en éstos donde se ha concentrado mayoritariamente el análisis económico. Los segundos son aquellos valores actuales y venideros (potenciales) relacionados con un recurso ambiental que descansan únicamente en su existencia continua y no tienen que ver con su utilización (**PEARCE y TURNER, 1995; BATEMAN *et al.*, 2003; BARBIER *et al.*, 1997**).

A su vez, los valores de uso se dividen en directos e indirectos. Los valores de uso directos se obtienen principalmente de bienes que se pueden extraer, consumir o disfrutar directamente; por ello se les conocer también con el nombre de extractivos, consuntivos o estructurales (**DE GROOT *et al.*, 2007**). Estos bienes pueden ser comerciales –y por ello el valor que generan puede estar basado en precios de mercado– o no comerciales, pero que generan un beneficio para su usuario así no exista un precio monetario presente para acceder a éste (**BATEMAN *et al.*, 2003; BARBIER *et al.*, 1997**).

Los valores de uso indirecto son aquellos no extractivos, o conocidos como funcionales, los cuales se obtienen principalmente de los servicios que genera el

ambiente, es decir, de las funciones ecológicas reguladoras. Estos valores se derivan del sustento o protección que dan a actividades económicas, tanto de producción como de consumo, o a poblaciones. No obstante, como esta contribución no se comercializa ni se remunera y sólo se relaciona indirectamente con las actividades económicas, estos valores de uso indirecto son difíciles de cuantificar y no suelen estar presentes en las decisiones de manejo/gestión de un recurso (**BARBIER *et al.*, 1997; DE GROOT *et al.*, 2007**).

Dentro del valor de uso se encuentra el valor de opción, el cual nace cuando un individuo decide valorar un recurso para un uso futuro para sí mismo. O sea, el individuo mantiene la opción de aprovechar el recurso en una fecha posterior. Por otro lado, los valores de no uso se obtienen de los beneficios que puede proporcionar el medio ambiente sin que se utilice de ninguna manera, ya sea directa o indirectamente (**DE GROOT *et al.*, 2007**).

Dentro de los valores de no uso consta el valor de existencia o valor intrínseco, es decir, el valor que tiene la naturaleza por derecho propio; se manifiesta a través de las preferencias del ser humano que valora en nombre de otras especies. Finalmente, está el valor de legado, el cual se obtiene del deseo de transmitir valores a las generaciones futuras. Sin embargo, el valor de legado puede ser considerado un valor tanto de uso como de no uso, ya que implica la posibilidad de su uso del recurso en el futuro por otras generaciones (**DE GROOT *et al.*, 2007; BATEMAN *et al.*, 2003**).

PALOMINO y CABRERA (2008), en su estudio “Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo”, determinaron el servicio ambiental de captura de CO₂, de mayor a menor, la especie que más capta CO₂ es la totora con 73.7 t CO₂.ha⁻¹, seguido por el junco con 40.6 t CO₂.ha⁻¹, que son especies de valor artesanal, de allí la importancia de estas especies en la captura de CO₂, y el almacenaje de carbono es directamente proporcional a la captura de CO₂. Por lo tanto, de realizarse una práctica de quema de estas especies se emitirían concentraciones de dióxido de carbono a la atmósfera. Las especies herbáceas estudiadas de los Humedales de Puerto Viejo

contribuyen significativamente con la retención de carbono, brindando a la vez un servicio ambiental. El CO₂ atmosférico es uno de los gases de efecto invernadero que si se perdería, estas especies vegetales contribuirían al incremento del efecto invernadero; por ello, es necesario el mantenimiento de estas especies de flora. Los Humedales de Puerto Viejo nos benefician con el servicio ambiental que nos brinda; sin embargo, se ve claramente afectado traduciéndose en su deterioro y pérdida de la misma por la falta de conciencia ambiental en la población.

1.3.2. Mercado de gases de efecto invernadero y valoración económica del almacenamiento de carbono

En el Protocolo de Kyoto se establecieron los mecanismos que facilitarían el cumplimiento de las reducciones de emisiones de GEI en los países industrializados (partes del anexo I) de un modo costo-efectivo. Estos mecanismos son: 1) Comercio de Emisiones (CE), 2) Implementación Conjunta (IC) y 3) Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

1.4. Marco conceptual

1.4.1. Métodos de estimación de la biomasa y contenido de carbono

La evaluación del ciclo del carbono y su emisión y absorción por cambios en el uso de la tierra en los tres últimos siglos, han sido revisadas en el estudio de **VAN MINNEN *et al*, (2009)**. La aplicación del modelo IMAGE 2 (Integrated Model to Assess the Global Environment) junto con la base de datos HYDE (History Database of the Global Environment) pone de manifiesto las diferencias entre regiones en relación con el periodo de años considerado y las discrepancias con las cifras consignadas en estudios anteriores. Los resultados muestran altas emisiones en Europa y Norte América al final del siglo XIX (0,17 Pg C.año⁻¹ en 1900 y un descenso a 0,13-0,15 Pg C.año⁻¹ para 1980 y 1990); en contraposición, en las regiones tropicales (especialmente América del Sur y África) las mayores emisiones se producen hacia 1980 para luego descender. Estos valores son más bajos que los consignados por **HOUGHTON (2003)** y similares a los dados por **HOUSE *et al* (2003)**.

Según **MADGWICK (1973)**, el Método de Árbol Medio, consiste en buscar el árbol que presente el promedio aritmético del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) del rodal o cualquier otra variable del estado del árbol. Este ejemplar se voltea y se determina su peso seco. Con este valor se calcula la biomasa total acumulada en una superficie, como el producto del número de árboles por la biomasa total medio. Este método es aplicado en bosques homogéneos, como son las plantaciones, no ocurriendo lo mismo en bosques naturales, debido a la heterogeneidad estructural de ellos, diferencias de edades y de posición sociológica de los árboles. En este caso es recomendable usar el Método Regresional.

Para **BROWN (1997)**, el muestreo de la biomasa total almacenada en los bosques, se calcula sobre la base de la aplicando la siguiente fórmula:

$$BT = BAP + BACM + BAH$$

BT = Biomasa total almacenado en cada tipo de bosque (t.ha⁻¹)

BAP = Biomasa de arboles en pie por unidad de área en cada tratamiento (t.ha⁻¹)

BACM = Biomasa de arboles caídos muertos por unidad de área en cada tratamiento (t.ha⁻¹)

BAH = Biomasa de hojarasca por unidad de área en cada tratamiento (t.ha⁻¹)

Estimandose la biomasa de cada árbol individual en kg. (Y) mediante la siguiente ecuación alométrica:

$$Y = 0.118 D^{2.53}$$

Donde:

Y = Biomasa del árbol individual (kg)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

De acuerdo a la “Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales” (2009), metodología perteneciente al World Agroforestry Center (ICRAF) para la determinación de carbono se siguen los procedimientos del manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierra (**ARÉVALO et al., 2003**), donde en cada sistema de uso de tierra se hacen tres transectos como mínimo al azar, con dimensiones de 4 x 25 m. Se

miden el DAP (cm) y altura total (m), de árboles dentro de los transectos, para la aplicación de las formulas alométricas concretas para cada sistema. Para el caso del cacao, cafeto y pijuayo se toman el diámetro a 30 cm desde el suelo (ANDRADE, 2003) y en caso de los bosques primario y secundario, se mide el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.30 m. Para efectos de utilizar esta metodología, se calculó la biomasa de cada uno de los árboles vivos y árboles muertos en pie, utilizando el siguiente modelo: $BA = 0,1184 \text{ DAP}^{2,53}$

Donde:

BA	= Biomasa de árboles vivos y árboles muertos en pie
0,1184	= Constante
DAP	= Diámetro a la Altura del Pecho (cm)
2,53	= Constante exponencial

La fracción de carbono de la biomasa tiene un valor por defecto de 0,5 de la biomasa total; aunque en niveles metodológicos superiores hay un margen de variación en función de las especies, de los componentes de un árbol o de un rodal (tallo, raíces y hojas) y de la edad del rodal (IPCC, 2003). $CA = Bvt * 0,5$

Dónde:

CA = carbono aéreo en toneladas de carbono (tC).

Bvt = peso verde de la biomasa total (t).

Para calcular el secuestro de dióxido de carbono se empleó la siguiente fórmula propuesta por VALLEJO (2009), ALEGRE (2008), IPCC (2003) y GAMARRA (2001). Esta fórmula es empleada para cada edad de la plantación:

$$CO_2 = CT * 3,6663$$

Dónde:

CO₂ = Dióxido de carbono secuestrado, t/ha.

CT = Carbono total almacenado, en t/ha.

3,6663 = Factor de conversión a CO₂, resultante del cociente de los pesos moleculares del dióxido de carbono y del carbono.

(Peso de las emisiones)/(Peso atómico del Carbono).

* Peso del CO₂ = C+2*O = 43,999915

*Peso atómico del carbono= 12,001115

1.4.2. Precio social del carbono

La elaboración de un precio social para el dióxido de carbono, denominado Precio Social del Carbono, en el contexto de la evaluación social permite incorporar dentro de la evaluación el costo o beneficio social neto que tiene aumentar y/o disminuir las emisiones de Gases de Efecto invernadero (GEI). Este precio social se podría utilizar para cualquier tipología de proyectos en que exista una medida de sus emisiones de GEI, tales como proyectos de residuos sólidos, sistemas de transporte público masivo, carreteras, electrificación rural, plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros y que puedan ser expresados en equivalentes de carbono. El cálculo que se obtiene para el Precio Social del Carbono para efectos de la evaluación social de proyectos en Perú es de US\$ 7.17 por tonelada de CO₂.

Cuadro 1

Precio Social del Carbono (En Dólares Americanos)

	US\$ por tonelada de carbono	S/. por tonelada de carbono (Tc= S/.3,3)
Precio social del carbono (CO ₂)	7.17	23,661

Fuente: Estimación del Precio Social del Carbono para la Evaluación Social de Proyectos en el Perú. CIUP, 2016. Resolución Directoral N° 002-2017-EF/63.01. Ministerio de Economía y Finanzas, 2017.

1.4.3. Marco legal

1.4.3.1. Protocolo de Kyoto

Firmado en 1997 en Kyoto tiene como objetivo que los países desarrollados reduzcan en promedio 5.2% de las emisiones de GEI con respecto a las emitidas en 1990, el primer periodo de compromiso está fijado entre los años 2008 y 2012. Dentro de las herramientas propuestas en el protocolo de Kyoto se encuentra el mecanismo de desarrollo Limpio (MDL), este permite a países desarrollados invertir en proyectos en países en vías de desarrollo, que mitiguen o capturen gases invernadero, esto se lograría a través de la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CER's).

El propósito del MDL es ayudar a los países en desarrollo a lograr un desarrollo

sostenible, así como ayudar a los países con metas de reducción a cumplir con sus compromisos (disponible en <http://www.conanp.gob.mx/contenido/pdf/Protocolo%20de%20Kyoto%20a%20la%20Convencion%20Marco%20de%20las%20Naciones%20Uni.pdf>).

1.4.3.2. Ley N° 29763 – Ley Forestal y de Fauna Silvestre.

Según la **Ley Forestal y de Fauna Silvestre y sus reglamentos (2015)**, en su sexto principio sobre el Enfoque ecosistémico: la gestión del patrimonio forestal y de fauna silvestre de la Nación se rige por el enfoque ecosistémico en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica, entendido como una estrategia para el manejo integrado de las tierras, aguas y recursos vivos que promueve la conservación y uso sostenible en un modo equitativo. Busca comprender y gestionar los ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre, considerando los factores ambientales, ecológicos, económicos, socioculturales, la cosmovisión indígena y el ordenamiento territorial y la zonificación ecológica y económica.

Artículo 7. Los servicios de los ecosistemas forestales, de otros ecosistemas de vegetación silvestre y de la fauna silvestre son aquellos derivados de las funciones ecológicas y evolutivas de dichos ecosistemas y de los flujos de materia, energía e información provenientes del patrimonio forestal y de fauna silvestre de la Nación que producen beneficios e incrementan el bienestar para las personas y la sociedad.

Respecto al Reconocimiento por el Estado y acciones de mitigación (Artículo 72. De la ley), el Estado reconoce la importancia y necesidad de la conservación y manejo responsable y sostenible de los ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático. En este sentido, elabora planes, desarrolla acciones de prevención y educación y presupuesta recursos económicos para su ejecución. Paralelamente, el Serfor, en coordinación con los gobiernos regionales y los institutos de investigación, promueven la investigación y las prácticas y actividades de mitigación y adaptación al cambio climático en los ecosistemas

forestales y otros tipos de vegetación silvestre, reconociendo su valor intrínseco en relación a los servicios que brindan, incluyendo prioritariamente las actividades de reducción de deforestación y degradación de ecosistemas forestales y otros tipos de vegetación silvestre, el mantenimiento de su capacidad de proveer servicios, el manejo sostenible, la reforestación y el enriquecimiento de los bosques.

La ley también indica en su Sección Quinta: Plantaciones forestales y sistemas agroforestales, Título I Gestión de plantaciones forestales y Artículo 111. Sobre la Promoción de plantaciones forestales, el Estado promueve las plantaciones con especies forestales sobre tierras que no cuenten con cobertura de bosques primarios ni bosques secundarios, debido a que contribuyen a la producción de madera y productos no maderables, y al mejoramiento del suelo y la aceleración de la sucesión vegetal; permiten la recuperación de áreas degradadas, la estabilización de laderas, la recuperación de ecosistemas, el mantenimiento del régimen hídrico, el mejoramiento de hábitats para la fauna silvestre, la mitigación y la adaptación al cambio climático, la provisión de energía de biomasa forestal, entre otros.

1.4.3.3. LEY N° 30215. Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE)

El objeto de la presente Ley (art. 1) es promover, regular y supervisar los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos que se derivan de acuerdos voluntarios que establecen acciones de conservación, recuperación y uso sostenible para asegurar la permanencia de los ecosistemas, definiendo en su Artículo 3, a Servicios ecosistémicos, como aquellos beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas, tales como la regulación hídrica en cuencas, el mantenimiento de la biodiversidad, el secuestro de carbono, la belleza paisajística, la formación de suelos y la provisión de recursos genéticos, entre otros, señalados en el reglamento de la presente Ley. Los servicios ecosistémicos constituyen patrimonio de la nación.

Así mismo, en su Artículo 6. Elementos para el diseño de los mecanismos de retribución, inciso c, la estimación del valor económico del servicio ecosistémico, los costos necesarios para mantener el flujo del servicio ecosistémico, la voluntad de pago u otros que contribuyan a los acuerdos.

1.4.3.4. Reglamento de la Ley N° 30215. D.S. N° 009-2016-MINAM

Se define en su Artículo 6.- a los servicios ecosistémicos, como aquellos beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas. Se consideran servicios ecosistémicos que pueden formar parte de un ecosistema:

- a) Regulación hídrica.
- b) Mantenimiento de la biodiversidad.
- c) Secuestro y almacenamiento de carbono.
- d) Belleza paisajística.
- e) Control de la erosión de suelos.
- f) Provisión de recursos genéticos.
- g) Regulación de la calidad del aire.
- h) Regulación del clima.
- i) Polinización.
- j) Regulación de riesgos naturales.
- k) Recreación y ecoturismo.
- l) Ciclo de nutrientes.
- m) Formación de suelos.

Así mismo, en su inciso 6.2, señala que los servicios ecosistémicos se pueden generar en ecosistemas naturales, así como en ecosistemas recuperados o establecidos por la intervención humana y en su inciso 6.3, indica que para el diseño del MRSE se identifica, en primer lugar, el o los servicio(s) ecosistémico(s) que formarán parte del MRSE, a partir del o los cuales se determinará(n) el o los contribuyente(s) y el o los retribuyente(s).

El Ministerio del Ambiente (2016), hace un recuento de las principales normas que incluyen a la valoración económica como una herramienta de gestión:

Ley General del Ambiente: Ley n.º 28611. En su artículo 85 numeral 85.3, establece que la Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con las autoridades ambientales sectoriales y descentralizadas, elabora y actualiza permanentemente el inventario de los recursos naturales y de los servicios ambientales, estableciendo su correspondiente valorización.

Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente: Aprobada por el Decreto Legislativo n.º 1013, artículo 7, literal p, señala que entre las funciones del Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales está establecer mecanismos para valorizar, retribuir y mantener la provisión de los servicios ambientales.

Reglamento de Organización y Funciones del MINAM: Aprobado por el Decreto Supremo n.º 007-2008-MINAM, artículo 38, literal a, dispone que la Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural del Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales, tiene entre sus funciones el formular y promover, en coordinación con las entidades competentes, la política, planes, estrategias, instrumentos, normas y directivas de carácter nacional para la evaluación y valoración de los recursos naturales, la diversidad biológica y los servicios ambientales y su degradación, proponiendo su aprobación.

Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA): Ley N° 27446, modificada por el Decreto Legislativo N° 1078, en su artículo 10, numeral 10.1, literal f, precisa la necesidad de la valoración económica del impacto ambiental como contenido de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA). Así también, su Reglamento aprobado por Decreto Supremo n.º 019-2009-MINAM, dispone en su artículo 25 que los criterios y metodologías que apruebe el MINAM serán tomados en cuenta para la aprobación de los Estudios de Impacto Ambiental del SEIA, debiendo cada Autoridad Competente a cargo de la evaluación de estudios ambientales, requerir su aplicación, sin perjuicio de su

potestad para disponer, según el caso lo amerite, la aplicación de otras metodologías y criterios sustentados técnicamente; y en su artículo 26 contempla la valorización económica del impacto ambiental de proyectos de inversión.

Política Nacional del Ambiente (PNA): Aprobada por el Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM. Herramienta del proceso estratégico de desarrollo del país, que entre otros, establece la implementación de instrumentos de evaluación, valoración y financiamiento para la conservación de los recursos naturales, diversidad biológica y servicios ambientales en el país, así como también, el fomentar la aplicación de metodologías de valoración de los recursos naturales, la diversidad biológica y sus servicios ambientales. La PNA sirve de base para la formulación del Plan Nacional de Acción Ambiental (PLANAA), la Agenda Nacional de Acción Ambiental (Agenda Ambiente) y otros instrumentos de gestión pública ambiental en el marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (SNGA).

Plan Nacional de Acción Ambiental - PLANAA PERÚ: 2011-2021: Aprobado por el Decreto Supremo N° 014-2011-MINAM. Alineado a la PNA, contempla inventariar, evaluar y valorar el patrimonio natural para su conservación, gestión sostenible y su articulación en las Cuentas Ambientales.

1.4.3.5. Guía de Valoración Económica del Patrimonio Natural

Los servicios ecosistémicos son definidos como los beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas. Entre ellos se cuenta la regulación hídrica en cuencas, el mantenimiento de la biodiversidad, el secuestro de carbono, la belleza paisajística, la formación de suelos y la provisión de recursos genéticos, entre otros (Ley n.º 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos).

Según el reporte del *Millenium Ecosystem Assessment*, indicado por el Ministerio del Ambiente (2006), los servicios ecosistémicos se pueden agrupar en cuatro tipos, tal como se describe a continuación:

- **Servicios de provisión**

Son los beneficios que se obtienen de los bienes y servicios que las personas reciben directamente de los ecosistemas, tales como alimentos, agua fresca, materias primas, recursos genéticos, entre otros.

- **Servicios de regulación**

Son los beneficios que se obtienen de la regulación de los procesos de los ecosistemas, tales como regulación de la calidad del aire, regulación del clima, regulación de la erosión, entre otros.

- **Servicios culturales**

Son los beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas, tales como la belleza escénica, la recreación y turismo, la inspiración para la cultura, el arte y el diseño, la experiencia espiritual y la información para el desarrollo del conocimiento.

- **Servicios de soporte**

Agrupar los servicios necesarios para producir los otros servicios ecosistémicos, tales como ciclo de nutrientes, formación de suelos y producción primaria.

La valoración económica es una herramienta que utilizado para cuantificar, en términos monetarios, el valor de los bienes y servicios ecosistémicos, independientemente de si estos cuentan o no con un precio o mercado, que se soporta en métodos y técnicas basados en la teoría económica, con la finalidad de Visibilizar todos aquellos beneficios o costos asociados a los cambios en los ecosistemas y que afectan el bienestar de los individuos de la sociedad, de manera que estos valores económicos puedan ser integrados en la toma de decisiones. Sin embargo es importante mencionar según el Ministerio del Ambiente (2016), que las percepciones económicas respecto a los servicios ecosistémicos pueden variar entre individuos y grupos sociales, así como en el tiempo. Es decir, los resultados dependerán de las apreciaciones de los individuos, los mismos que pueden cambiar dependiendo del nivel de ingreso, contexto, gustos y preferencias, aparición de bienes sustitutos, entre otros.

1.4.4. Los servicios ambientales

Los ecosistemas naturales proveen valiosos servicios ambientales que, por falta de la aplicación de sistemas de valoración adecuados que nos permitan compararlos con otros activos económicos, ya sea por una deficiente interpretación, administración o por la carencia de incentivos económicos orientados a su conservación, con frecuencia son sobreexplotados, mal utilizados y casi siempre terminan deteriorándose fuertemente y finalmente desapareciendo.

Para Martínez *et al.* (2004), obtenido de **ENCALADA (2006)**, los servicios ambientales (conocidos también como externalidades positivas) son funciones o características de los ecosistemas o agroecosistemas, que de alguna manera proveen un beneficio o utilidad a las poblaciones humanas y que, por lo tanto, pueden incidir directa o indirectamente en la protección y mejoramiento del ambiente y de la calidad de vida de las personas

Según Barrantes y Vega (2002), indicado por **ENCALADA (2006)**, los servicios ambientales se derivan a partir de las complejas funciones, condiciones y procesos naturales de los ecosistemas, los mismos que proveen beneficios económicos y no económicos al ser humano. De esta manera, se evidencia la estrecha relación que existe entre la conservación de ecosistemas naturales saludables y el mantenimiento o mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones humanas. Mientras más deterioradas se encuentran las funciones o la estructura de un ecosistema, más tiende a deteriorarse el bienestar de la población, debido que los servicios ambientales que se derivan de esas funciones tienden a desaparecer o degradarse

A pesar de su predominante importancia en la vida de las poblaciones, los servicios ambientales por lo general no son bien valorados o entendidos o simplemente los tomadores de decisiones, las empresas privadas y/o las comunidades locales los dan por sentados. Consecuentemente, estos servicios rara vez son tomados en consideración por los mercados, debido a la falta de información o conciencia de los consumidores, o por falta de los estímulos económicos adecuados que pudieran influir en el comportamiento de todos los

actores involucrados en la producción, conservación, uso, y eventual comercialización de un servicio ambiental.

1.5. Conclusiones Capítulo I

Analizados los referentes bibliográficos en el marco de los antecedentes, el marco teórico y el marco conceptual del presente trabajo se concluye:

- Caso de los referentes generales a nivel global y regional: Se evidencia que el cambió de uso de la tierra, determina en gran medida la tasa de deforestación y la consecuente quema incrementando la tasa de acumulación de CO₂ atmosférico. Considerando que los bosques secundarios y plantaciones jóvenes fijan más carbono que los bosques primarios, la existencia de información relevante permitirá diseñar una metodología adecuada para la valoración económica dependiendo de los resultados que se obtengan en su evaluación.
- Estimación del valor económico del servicio ambiental por captura de CO₂: El valor económico total del servicio ambiental por captura de carbono en sistemas agroforestales, como herramienta de gestión en valoración real, se ha circunscrito fuertemente sola a la captura de CO₂, mas no al servicio de uso indirecto proveniente de este servicio y referido específicamente al agua transpirada y al oígeno liberado a partir del proceso fostosintético. Siendo, que los modelos señalados por los diferentes autores son aplicables y adecuables para condiciones de ecosistemas similares y tipos de especies.
- Sobre el marco legal: El marco legal vigente considera como servicios ecosistémicos al secuestro de carbono, agua, calidad del aire y regulación del clima, lo que establece oportunidades de investigación para el desarrollo de metodologías que permitan predecir la magnitud de los impactos positivos generados en los sistemas agroforestales. Una forma de mitigar estos efectos y reducir las emisiones, es fijándolo o capturándolo y manteniéndolo el mayor tiempo posible en la biomasa vegetal y en el suelo. En el primer caso se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica.

CAPÍTULO II

DETERMINACIÓN DEL MODELO Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Considerando los antecedentes existentes, se revisaron trabajos de investigación relacionados a la captura de CO₂ en la biomasa aérea de sistemas agroforestales, en ella se definió aspectos relevantes que contribuyeron al desarrollo metodológico del presente trabajo.

2.1. Referentes de investigaciones experimentales

En el marco de lo que entendemos a la investigación como una táctica sistemática, ordenada, planificada, crítica y reflexiva que le da al investigador la posibilidad de descubrir y comprender nuevos eventos, hechos, leyes o relaciones en cualquier campo del conocimiento.

Actualmente existen trabajos de investigación en el tema desarrollados a nivel global, nacional y regional en diferentes tipos de bosques y modalidades de sistemas agroforestales, con enfoques diferentes en su aplicación de diseños estadísticos. La investigación en mención, buscó estimar el valor económico total del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales. Seguidamente se presentan un resumen de los referentes de investigación, que tienen cierta relación con el presente estudio:

2.1.2. De la Biomasa

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

es más evidente en la biomasa de árboles y arbustos; las cantidades de almacenamiento de C en la biomasa dependen de la proporción de árboles presentes y del tamaño del árbol (**MONTAGNINI y NAIR, 2004**). De acuerdo con **YOUNG (1997)**, la producción de biomasa aérea en diferentes SAF y regiones ecológicas varía de $2.3 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ a $48 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, dependiendo del número de componentes, estratos y arreglos espaciales y temporales. La producción de biomasa subterránea puede variar de $1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ a $4.5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$.

Para la estimación de absorción de carbono en la biomasa, se debe partir de algunos supuestos básicos, por cada gramo de materia seca original de biomasa vegetal hay aproximadamente 0.45 gr de carbono. Cada gramo de materia seca tiene un equivalente de 18.5 joules, y como 1 ly equivale aproximadamente a 4.1869 K joules, son necesarios 4.42 ly para producir un gramo de materia seca y 0.45 gr de carbono. Los factores de ponderación oscilan desde 0.45 a 0.53 (**BROWN, 1996; MACLAREN *et al*, 1994; LUGO y BROWN, 1992; HAROLD y HOCKER 1984; MERY y KANNINEN, 1998**). En el presente estudio se utilizó un factor de ponderación de 0.45.

Modelos de biomasa aérea

La cuantificación de la biomasa y el crecimiento de la vegetación en los ecosistemas son indicadores importantes en las estimaciones de fijación de carbono, un tema actualmente relevante por sus implicaciones en relación al cambio climático (**DIXON *et al.*, 1991; CIESLA, 1996; DIXON, 1995; BEGON *et al.*, 1996; BROWN, 1996; MÁRQUEZ, 1997; BUDOWSKI, 1999; MALHI y GRACE, 2000; SNOWDON *et al.*, 2001**).

Existen dos métodos comúnmente usados para estimar la biomasa: el método directo y el indirecto. Dentro del primero está el destructivo, que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente (**KLINGE y HERRERA, 1983; ARAUJO *et al.*, 1999**). Dentro de los indirectos se utilizan métodos de cubicación del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de ésta y se pesan en el laboratorio para calcular los

factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica (SEGURA, 1997). Otra forma de estimar la biomasa es mediante ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión, que utilizan variables colectadas en el campo tales como el diámetro a la altura del pecho (d), la altura comercial (hc) y total (ht), el crecimiento diamétrico, el área basal y la densidad específica de la madera (JORDAN y UHL, 1978; SALDARRIAGA *et al.*, 1988; BROWN, 1997; ARAUJO *et al.*, 1999; FRANCIS, 2000). Este método no es destructivo y es extrapolable a situaciones de crecimiento similares (PARRESOL, 1999).

Los modelos de biomasa han aumentado en los últimos años, y posiblemente sean más los desarrollados para árboles individuales que para bosques (SEGURA, 1997; LOGUERCIO y DEFOSSÉ, 2001; SIERRA *et al.*, 2001; ACOSTA *et al.*, 2002; GAILLARD *et al.*, 2002; MONTERO y KANNINEN, 2002; PÉREZ y KANNINEN, 2003; SEGURA y KANNINEN, 2005; MONTERO y MONTAGNINI, 2006; SEGURA *et al.*, 2006; DAUBER *et al.*, 2008). Estas ecuaciones facilitan la toma de decisiones y permiten la estimación de biomasa y carbono a gran escala. Para estimar la biomasa se usan diferentes tipos de modelos de regresión y combinación de variables. En general, y así se demuestra en muchas investigaciones, el diámetro (d) es la variable que mejor se correlaciona y predice la biomasa. Además, el diámetro es una variable fácil de medir y que se registra en la mayoría de los inventarios forestales.

Modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono

Los modelos alométricos de biomasa y/o carbono son una herramienta para obtener estimados de la biomasa aérea total y del carbono almacenado en sistemas forestales y agroforestales (SEGURA y KANNINEN 2005; BROWN *et al.*, 1989).

Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas desarrolladas para describir el comportamiento de una variable (dependiente) (SIT y POULIN-COSTELLO, 1994) como el volumen, biomasa o carbono en árboles individuales. La obtención de la respuesta a estas variables de interés necesita la medición de variables

dasométricas básicas de árboles en pie (variables independientes), tal como el diámetro del fuste a la altura de pecho (*dap*), la altura total (*ht*), altura de reiteración (*hr*) (entendiéndose esta altura, la medida desde la base del árbol hasta la base de la copa) y otras (LOETSCH y HALLER 1973; CAILLEZ, 1980; HUSCH *et al.*, 1982; PARRESOL, 1999; PICARD *et al.*, 2012).

Modelos alométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el páramo de Anaime, Departamento del Tolima, Colombia.

LIERMA y ORJUELA (2014), reportan en sus trabajo de investigación Modelos alométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el páramo de Anaime, las mismas que indican que los modelos alométricos son herramientas útiles para estimar biomasa y carbono, sin embargo, son escasos para la zona de páramos. El objetivo del estudio fue desarrollar modelos alométricos para estimar la biomasa aérea total de tres especies de bosques de páramo en Cajamarca, Tolima, Colombia. Se seleccionaron 30 individuos (*Baccharis* sp, *Miconia* sp y *Weinmannia auriculata*). El diámetro a la altura del pecho, altura total y de reiteración promedio fue de 26,2 cm (5 – 67 cm), 12 m (4,22 – 25,5 m) y de 7,3 m (2,14 – 22 m), respectivamente. La biomasa aérea total promedio fue de 311,56 kg/árbol (variando de 8,3 – 1211,6 kg.árbol⁻¹), la especie que reportó la mayor cantidad de biomasa aérea total fue *Weinmannia auriculata*. Los modelos de mejor ajuste se seleccionaron con base en el coeficiente de determinación (R^2), el R^2 ajustado, error cuadrático medio de predicción, los criterios de Akaike, Bayesiano y la lógica biológica del modelo. El diámetro a la altura de pecho estuvo altamente correlacionado con la biomasa aérea total ($r = 0,93$; $P < 0,05$). El modelo de mejor ajuste para la estimación de la biomasa aérea total fue $\text{Ln}(\text{BT}) = -1.85 + 2.11 * \text{Ln}(dap)$; (BT en kg/árbol y *dap* en cm), con un R^2 y R^2 -ajust = 0.94. Tanto los modelos como los parámetros fueron altamente significativos ($P < 0.05$). La especie que presentó la mayor gravedad específica fue *Weinmannia auriculata* seguida de *Miconia* sp y *Baccharis* sp con 0.57; 0,56; 0,54 g.cm⁻³, respectivamente. Se encontró un FEB promedio para las tres especies de 1.3.

Ecuaciones alométricas para estimar volumen y biomasa aérea de *Enterolobium cyclocarpum* y *Ceiba pentandra* en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.

JAUREGUI (2016), reporta que los árboles ayudan a reducir los niveles de CO₂ atmosférico, un bosque tropical puede capturar de 60 a 115 ton de carbono por hectárea. El principio de autosemejanza es un método indirecto para la estimación del volumen de árboles. El objetivo general del estudio fue determinar ecuaciones alométricas para estimar volumen y biomasa aérea en las especies *Enterolobium cyclocarpum* y *Ceiba pentandra* en el campus de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano en Honduras. Se utilizó el método de autosemejanza que indica que el crecimiento de un árbol tiene un patrón de comportamiento, donde las ramas del árbol se pueden entender como una representación a escala de todo el árbol. Se determinó el Índice de Valor de Importancia de ambas especies. Se midieron características dasométricas para cubicar los árboles y determinar su volumen. Se utilizaron el diámetro a la altura del pecho y altura total en los modelos alométricos. Se probaron 41 modelos alométricos de regresiones no lineales y los criterios de selección fueron el coeficiente de determinación y el error cuadrático medio. La ecuación alométrica ajustada para *Enterolobium cyclocarpum* fue $\ln(V) = 14.194 - 0.016 \times \ln(DAP^2) + \ln(h) - 5.654 \times \ln(h^2 \times \ln(DAP)) + 1.943 \times h + 0.032 \times DAP$ con un R² de 0.624 y un ECM de 0.381. Para *Ceiba pentandra* la ecuación ajustada fue $\ln(V) = -94.377 + 0.111 \times \ln(DAP^2) + \ln(h) + 34.336 \times \ln(h^2 \times \ln(DAP)) - 10.726 \times h - 0.282 \times DAP$ con un R² de 0.946 y un ECM de 0.052.

Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica.

FONSECA et al. (2009), reportan que el uso de los ecosistemas forestales como sumideros y reservorios de carbono es cada día más aceptado. Aun así, la información fidedigna sobre su crecimiento en biomasa y la capacidad de captura y de almacenamiento de CO₂ es insuficiente para proponer formas de compensación a los propietarios de bosques. El objetivo de este trabajo fue construir modelos para estimar la biomasa del árbol en plantaciones de *Hieronyma alchorneoides*, *Vochysia guatemalensis* y para un grupo de 35 especies en bosque

secundario, en la zona Caribe de Costa Rica. En cada plantación se extrajo un árbol de diámetro promedio a la altura del pecho (d) y en bosque secundario un árbol de d promedio de la especie de mayor índice de valor de importancia por clase diamétrica. Se utilizó un muestreo destructivo, separando cada componente del árbol y tomando una muestra de campo para determinar la materia seca. Todos los modelos seleccionados tuvieron un R^2_{aj} superior al 82,6%. Las especies arbóreas de bosque secundario mostraron R^2_{aj} inferiores. El fuste, raíz y biomasa total del árbol mostraron R^2 ajustado $> 91,3\%$, y las hojas y ramas, entre 82,6 y 94,1%. El factor de expansión de biomasa en bosque secundario fue de 1,44 y en plantaciones de 1,56. Se estimó que la relación de biomasa radical respecto a biomasa aérea total y biomasa del fuste fue 0,25 y 0,37, respectivamente, en bosques secundarios; 0,26 y 0,39 en *V. guatemalensis*, y 0,3 y 0,52 en *H. alchorneoides*.

En general, los modelos desarrollados en bosque natural y en plantaciones permiten estimar la biomasa aérea total, mientras los modelos para estimar la biomasa de la raíz son muy escasos por su dificultad y costo (Schlegel, 2001). Por esta razón, **MAcDICKEN (1997)**, recomienda en forma conservadora utilizar como biomasa radical el 15% de la biomasa aérea.

En las últimas décadas se han publicado un gran número de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea (BA) de los bosques, generalmente construidas a partir del diámetro de los árboles (D), la altura total (H) y la densidad de la madera (ρ) (**BROWN et al., 1989; BROWN, 1997; CHAVE et al., 2005; SIERRA et al., 2007; NÁVAR, 2009**). No obstante, la aplicación de la mayor parte de estos modelos en sitios diferentes a donde fueron construidos, tiene serias restricciones. Lo anterior se debe principalmente a que la biomasa aérea parece estar fuertemente determinada por la variación espacial de características funcionales y arquitecturales de las especies tales como la densidad de la madera (**BAKER et al. 2004, MULLER-LANDAU 2004, TER STEEGE et al., 2003, PATIÑO et al., 2009**) y la altura total (**BROWN, 1997; CHAVE et al., 2001; NOGUEIRA et al., 2008**). En la cuenca Amazónica por ejemplo, la inclusión de la densidad de la madera (**BAKER et al., 2004**) y la altura total de los

árboles (NOGUEIRA *et al.*, 2008), ha permitido revelar patrones espaciales de distribución de la biomasa aérea y del contenido de carbono en estos bosques no reportados previamente.

2.2. La modelación en la investigación

La modelación es el proceso mediante el cual se construye una representación o modelo para investigar la realidad. Es un instrumento de la investigación de carácter material o teórico, creado para reproducir el objeto que se está estudiando. En tanto, se conoce de la existencia de varias teorías en modelación de la investigación creadas por los científicos para reproducir el fenómeno que se está estudiando.

DAVIDOV (1988), se refiere a la modelación como medio del pensamiento científico y señala que en la ciencia es un tipo peculiar de idealización simbólico – semiótica. Este autor no elabora su definición tan acabada como Omelianosvsky y otros que distinguen la condición gnoseológica y ontológica, pues el modelo, objeto independiente de la investigación es al mismo tiempo, un tipo de reflejo imagen gnoseológica del objeto original.

ÁLVAREZ (1995) y otros autores, hacen referencia al modelo como sistema, de ahí que no pueda desvincularse al enfoque sistémico del método de la modelación, donde precisamente la integración de todos los elementos y relaciones que caracterizan al modelo se alcanza al concebir a este como un sistema, entiéndase al decir de Álvarez como sistema al conjunto de componentes de un objeto, que se encuentran separados del medio e interrelacionados fuertemente entre sí, cuyo funcionamiento está dirigido al logro de determinados objetivos y funciones, siendo el análisis sistémico del objeto nos permite investigarlo en su totalidad (enfoque holístico), evaluar su comportamiento como tal, en su relación con el medio y con cada uno de sus propios componentes.

ENCICLOPEDIA DE CLASIFICACIONES (2017), clasifica al conocimiento científico por el tipo de método y modelo adoptado, diferenciándolos en:

Ciencias fácticas o empíricas: Tienen por objeto de estudio, los hechos que acontecen en el mundo tangible, material, de experiencia. Sus enunciados se refieren a hechos, afirman o niegan algo acerca de lo que sucede en el mundo, es por esto que no parten sólo de la razón para la elaboración de fórmulas. Éstas a su vez se pueden dividir en:

- **Ciencias naturales:** física, química, biología, etc. Se constituyen entre los siglos XV y XVIII con la física y la astronomía, y autores como Copérnico (heliocentrismo), Kepler (órbita elíptica de los planetas), Galileo (inventa el telescopio, crea el método hipotético-deductivo), Descartes (matemáticas) y Newton (teoría de la gravitación universal). -Su método es: hipotético-deductivo.
- **Ciencias humanas o sociales:** sociología, psicología, historia, etc. Se constituyen como ciencias en el siglo XIX. Su método es la hermenéutica: interpretación que trata de averiguar/comprender los motivos de las acciones humanas.

Ciencias formales: Aquellas que tienen por objeto de estudio al mundo de las ideas como la lógica y las matemáticas. No estudian nada que se encuentre en la realidad tangible, su dominio es el pensamiento y sus objetos están más allá del espacio y el tiempo. Estas ciencias parten de las ideas formuladas por la mente humana. Se valen del método axiomático inductivo. Podemos afirmar que estas ciencias son autosuficientes por el hecho de que pueden alcanzar la verdad a partir de sus propios contenidos y métodos de prueba.

2.3. Determinación del modelo

Partimos del concepto generalizado de modelo, referida a un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utilizan para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica. Siendo además que la investigación científica puede ser de carácter material o teórico, por lo que se hace necesario diseñar un tipo de modelo que represente el objeto de estudio, representando de la mejor forma el fenómeno real. Entendemos entonces a los modelos como descripciones formales que relacionan elementos y que están

basados en hipótesis. Así mismo, un modelo es una invención, algo que inventamos para explicar una serie de datos que queremos interpretar.

Para **HILBORN y MANGEL (1997)**, los modelos pueden ser empíricos (basados en relaciones estadísticas) y mecanicistas (basados en mecanismos). Los modelos nos ayudan a clarificar nuestras descripciones verbales de la naturaleza y de los mecanismos implicados. Debemos admitir desde el principio que no hay modelos enteramente correctos. El método científico consiste básicamente en crear, validar y modificar modelos y teorías. El científico representa en forma de teorías y modelos el conocimiento que tiene acerca del mundo que le rodea.

Sin embargo, muchos autores clasifican a los modelos en Modelo iconico, el cual es una representación física de algunos objetos, ya sea en forma idealizada (bosquejos) o a escala distinta (Ejemplo: Planos y mapas, Maquetas y prototipos), Modelo analógico, la cual puede representar situaciones dinámicas o cíclicas, son más usuales y pueden representar las características y propiedades del acontecimiento que se estudia (Ejemplo: curvas de demanda, curvas de distribución de frecuencia en las estadísticas y diagramas de flujo) y Modelo simbólico o matemático, que son representaciones de la realidad en forma de cifras, símbolos matemáticos y funciones, para representar variables de decisión y relaciones que nos permiten describir y analizar el comportamiento del sistema (Cuantitativos y cualitativos, Estándares y hechos a la medida, probabilísticas y determinísticos, descriptivos y de optimización, estáticos y dinámicos y de simulación y no simulación).

2.4. Modelo propuesto para la investigación

Los referentes bibliográficos sobre investigaciones experimentales descritas en el presente capítulo, se concluye que las investigaciones sobre la cuantificación del secuestro de carbono en la biomasa aérea y su valoración económica han sido desarrolladas básicamente mediante métodos de campo y laboratorio, lo que indica que se emplearon materiales y equipos para representar el objeto de estudio, evidenciando finalmente que en la presente investigación se utilizó el modelo analógico y el método experimental con enfoque cualitativo, cuantitativo y correlacional.

2.4.1 Lineamientos para su diseño

El presente modelo a emplear es primordial en la determinación del cálculo de la biomasa aérea, la captura de carbono y la valoración económica del bosque y los diferentes sistemas agroforestales – Provincias de Lamas y San Martín – Departamento de San Martín, se basa en los siguientes procesos:

- a) Los pasos metodológicos del modelo deben estar enmarcados en el cálculo de la biomasa aérea, secuestro de carbono y valoración económica de diferentes sistemas agroforestales.
- b) El modelo debe tomar como base análisis cualitativo y cuantitativo (Promedio, análisis de varianza, prueba de rangos múltiples de Duncan).
- c) Considerar un área geográfica (cuenca alta y media del río cumbaza) para realizar la parte experimental del estudio.
- d) Considerar los pasos metodológicos para su implantación, de manera que cualquier miembro de la comunidad científica pueda utilizarlo para realizar nuevas investigaciones.
- e) Todos los pasos del modelo deben presentarse en un esquema acompañado de los fundamentos, para ser tomados como base para otras formaciones forestales.

2.4.2 Diseño del modelo

El presente modelo consta de siete pasos metodológicos (Figura 1), basados en los siguientes:

- a) Definir las variables independientes y dependientes que corresponda al estudio de la cuantificación del secuestro de carbono en la biomasa aérea y su valoración económica en sistemas agroforestales.
- b) Establecer el escenario de intervención de los sistemas agroforestales y el bosque para proceder a la toma de datos mediante métodos de observación y mediciones cuantitativas y cualitativas.
- c) Selección de herramientas estadísticas a aplicar en los datos registrados para realizar el análisis cuantitativo, aplicando análisis de variancia, promedios,

- prueba de rangos múltiples, desviación estandar y coeficiente de determinación.
- d) Obtener resultados: coeficiente de determinación, análisis de varianza a una $P < 0,05$ para la biomasa total, captura de carbono en $t \cdot ha^{-1}$ de los sistemas agroforestales y el Bosque en la cuenca alta y media del Río Cumbaza.
 - e) Establecer los modelos de predicción para la biomasa aérea, el secuestro de carbono y la valoración económica en la cuenca alta y media del Río Cumbaza.
 - f) Valorar económicamente los servicios ambientales por secuestro de carbono en la biomasa aérea, así como otros servicios ambientales adicionales a partir de la fotosíntesis.
 - g) Validar resultados generando datos actuales modelados y datos futuros sobre la determinación de la biomasa aérea, captura de carbono y valoración económica de sistemas agroforestales.

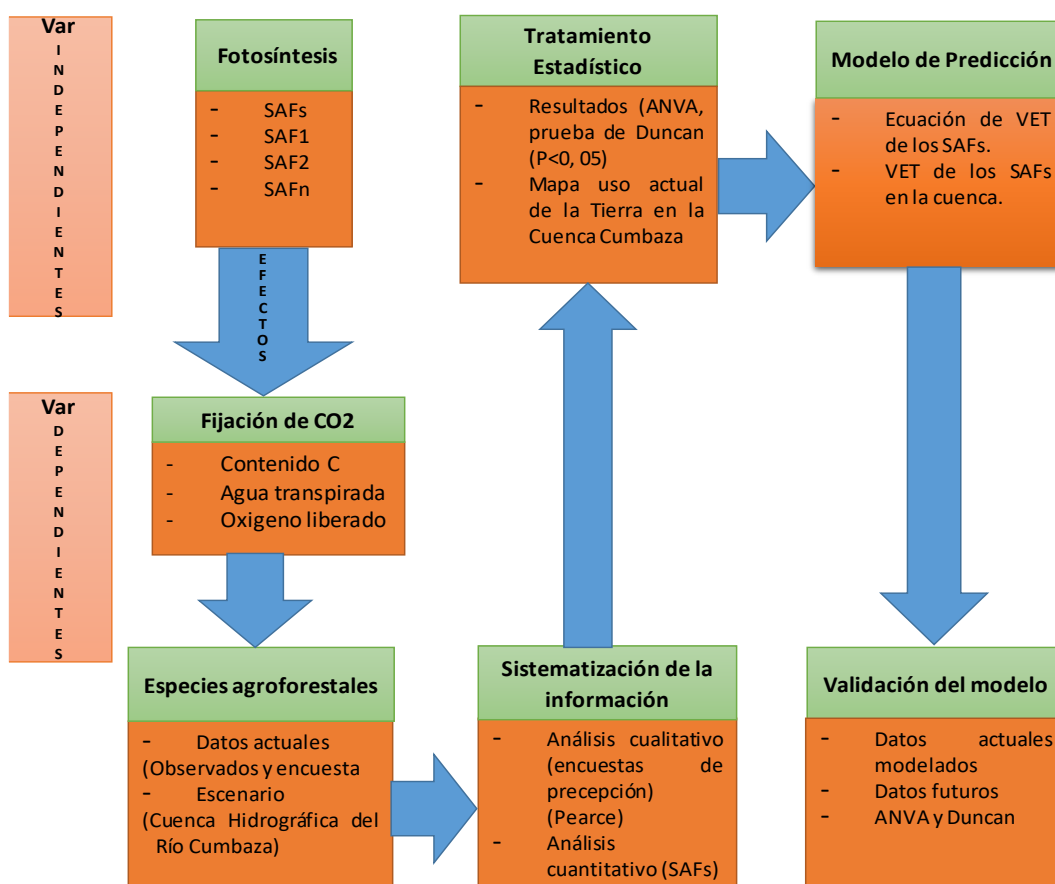


Figura 1. Modelo teórico para predicción de la biomasa aérea, captura de carbono y valoración económica de sistemas agroforestales. (Fuente: Presente estudio).

2.4.3 Fundamento del modelo

2.4.3.1. De la biomasa: mediante la aplicación de variables cualitativas (promedios, análisis de varianza, coeficiente de correlación y coeficiente de determinación) de la evaluación cuantitativa de la biomasa arbórea, biomasa arbustiva y herbácea y biomasa de hojarasca (Biomasa aérea en $t.ha^{-1}$), con por la aplicación de la ecuación alométrica desarrollada por Alegre (2000): $Biomasa\ arbórea = 0.1184\ DAP^{2.53}$

2.4.3.2. Del carbono: con la aplicación de variables cuantitativas (promedios, análisis de varianza, coeficiente de correlación, coeficiente de determinación, prueba de Duncan) y mediante la sumatoria de la biomasa total, dado por $CB =$ Carbono biomasa arborea, $Cab =$ Carbono arbóreo, $CAVHB =$ Carbono arbustivo y herbáceo y $CH =$ Carbono en hojarasca, multiplicado por 0,45 (fracción de carbono de la biomasa de 0,45 a 0,55).

Con la ecuación de la fotosíntesis y conociendo los pesos moleculares de los compuestos de cada componente de la ecuación balanceada se calculan los Kg de agua. ha^{-1} utilizada para fijar CO_2 , Kg de agua. ha^{-1} transpirada y O_2 liberado en $Kg.ha^{-1}$ como servicios ambientales adicionales.

2.4.3.3. Del valor económico:

Mediante la aplicación de una ecuación para estimar el Valor Económico Total, propuesto por **PEARCE (1990)**. Este concepto supone que la sumatoria de valores de distinta naturaleza conforma el valor total del recurso. Se distingue así entre valores de uso y de no uso, mientras que entre los valores de uso se diferencian los de uso directo y de uso indirecto, según el autor el valor económico total es: $VET = VU + VNU$, dónde: $VU =$ Valor de uso y $VNU =$ Valor de no uso

2.4.4 Tratamiento estadístico

Se debe efectuar la selección de herramientas matemáticas y estadísticas para aplicar a los datos de campo y laboratorio obtenidos como variables cualitativas y cuantitativas respectivas.

2.4.5 Establecimiento del modelo de predicción

Se debe establecer modelos de predicción para la determinación del secuestro de carbono en la biomasa aérea y su valoración económica en sistemas agroforestales, teniendo como

testigos a bosques naturales en la cuenca, con el propósito de proyectar datos actuales y futuros modelados.

2.5. Conclusión capítulo II

Los bosques naturales son el principal sumidero para el CO₂, pero existen otras alternativas como son los sistemas agroforestales y forestales que además de secuestrar carbono, proporcionan bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que deforesten más hectáreas de bosques, reduciendo la presión sobre los recursos naturales.

La existencia de referentes en investigaciones experimentales sobre modelos de estimación de la biomasa aérea en base a ecuaciones alométricas han inferido fuertemente en el presente estudio, fortaleciendo la aplicación del modelo análogo. Este hecho, permitió la mejor organización y aplicación del estudio de la estimación y posterior valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales. Por lo que el modelo es aplicado en campo y laboratorio permitiendo establecer semejanzas entre los componentes reales y el modelo a través de aplicaciones matemáticas y correlacionales de respuestas a las variables que se simuladas.

La representación del objeto en estudio y el modelo utilizado fue la que orientó el trabajo de investigación en el proceso e implementación de una metodología vinculada a simular las técnicas y métodos efectuados mediante la utilización de materiales y equipos, garantizando así los procesos inherentes de la investigación.

CAPÍTULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

En este capítulo se desarrolló la implantación del modelo análogo para el estudio de la valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales, en consideración a la metodología planteada en el Capítulo II, llevándolo a una representación propicia a las condiciones reales del estudio, según el modelo planteado, uso de equipos adecuados y materiales decampo y laboratorio respectivos, con la finalidad de ordenar los procesos de la investigación.

El objetivo del presente capítulo fue desarrollar la simulación del proceso de valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales, mediante una metodología y modelo análogo, con la comprobación de hipótesis planteada.

3.1. Descripción del área de estudio

El presente trabajo de investigación se limitó a la identificación de sistemas agroforestales en la cuenca alta y media ubicados en la cuenca del Río Cumbaza (Provincias de Lamas y San Martín), ésta tiene una extensión de 57,770.0 hectáreas, de las cuales 15,831.0 hectáreas son bosques altos (bosque virgen).

3.2. Tipo de investigación

La investigación fue de naturaleza empírica y de carácter descriptivo. Se detallaron las características de las especies o componentes agroforestales, características ambientales y factores socioeconómicos dentro de las provincias de Lamas y San Martín, con la finalidad de estimar el secuestro de carbono y su valor económico como servicio ambiental.

3.2.1. Diseño de Investigación

Se utilizó un Diseño de carácter No Experimental de tipo seccional. Lo que se hace en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos” (HERNÁNDEZ *et al.*, 1999), adecuándolo luego a un Diseño completamente al azar con 5 tratamientos (parcelas de agricultores) y un bosque natural en la cuenca media y en la cuenca alta del Río Cumbaza.

3.2.2. Área de estudio

El trabajo se realizó en la cuenca alta y media del Río Cumbaza (Distrito de la Banda de Shilcayo), considerando la información existente en el Proyecto Especial del Huallaga Central y Bajo Mayo, para luego levantar información de campo en cada una de las parcelas con sistemas agroforestales y bosques identificados.

3.2.3. Localización geográfica

El presente trabajo se realizó en la cuenca alta y media del Río Cumbaza, jurisdicción del distrito de la Banda de Shilcayo; provincia de San Martín, región San Martín (Figura 2).

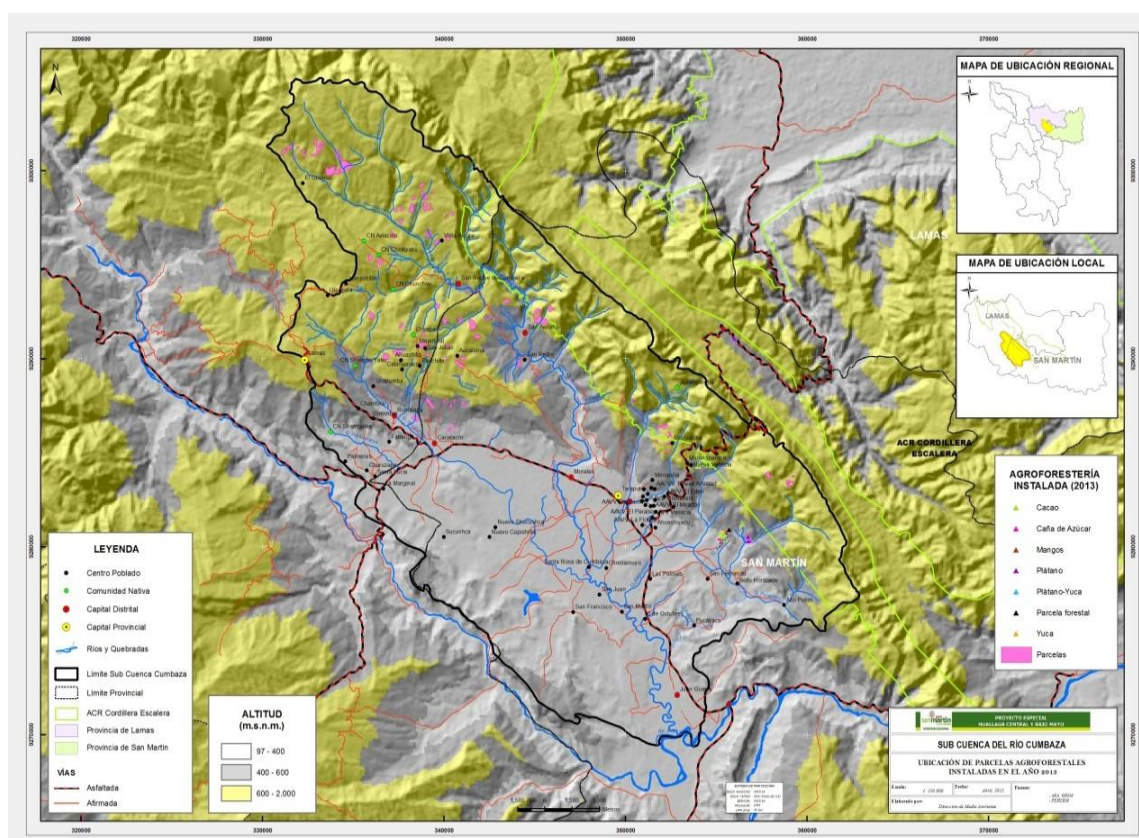


Figura 2. Cuenca del Río Cumbaza. (Fuente: Presente estudio).

3.2.4. Características generales del área

3.2.4.1. Vías de acceso y fisiografía

Para acceder a la zona de estudio se usa como vía principal la carretera Fernando Belaunde Terry, tramo Tarapoto – Yurimaguas, Km 11 (cuenca alta)

y la carretera Tarapoto – Bello horizonte (Cuenca media). Los ecosistemas que originan el río Cumbaza se encuentran en las colinas y montañas de la Cordillera Escalera que alcanzan altitudes hasta 1800 msnm y las colinas del cerro Shicafilo hasta 1300 msnm.; el río Cumbaza es el último afluente del río Mayo y tiene un recorrido aproximado de 52 kilómetros desde la unión entre, los dos primeros afluentes, Cumbacillo y Shucshuyacu hasta su desembocadura en el río Mayo.

4.2.3.2. Ecología, suelos y vegetación

Clima

El clima semicálido muy Húmedo, abarca los escenarios montañosos hasta la línea divisoria de agua en la Cordillera Escalera, con altitudes entre 1000 a 1800 msnm. La temperatura media anual varía de 17,0°C y menores que 22°C, los valores térmicos más bajos están en la cima de las cumbres que sobrepasan los 1200 msnm. y pueden registrar temperatura menores que 15,0°C, en esta zona, la precipitación media anual fluctúa entre 2000 a mayores que 3000 mm anuales.

Suelos y vegetación

Están ubicados en terrazas bajas, adyacentes al río, terrazas medias son moderadamente empinados (2 a 25%), terrazas altas, colinas y montañas. La abundancia o no de las especies de vegetación esta supeditado a la ubicación de las tierras.

En Terrazas Bajas, los árboles sobrepasan los 30 m de altura, las especies representativas son: Cumala (*Virola sp*), Pashaco (*Schizolobium sp*), Ojé (*Ficus sp*), Shimbillo (*Inga sp*), Capirona (*Callycophyllum sp*), Catahua (*Hura crepitans*), Aguaje (*Mauritia flexuosa*). En Terrazas Medias, los árboles alcanzan entre 25 a 35 m de altura, las especies forestales representativas son: Machimango (*Eschweilera sp*), Quina quina (*Sideroxylos sp*), Shimbillo (*Inga sp*), Ubos (*Spondias mombin*), Uchumullaca (*Trichilia sp*), Shapaja (*Scheelea sp*), Bolaina, Shaina. En Terrazas altas, los árboles alcanzan alturas de 40 m

con copas grandes de hasta 20 m de diámetro, las especies representativas son: Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), Quina quina (*Sideroxylos sp*), Moenas (*Aniba sp*), Shapaja (*Scheelea sp*), Cumala (*Virola sp*), entre otras.

Las Colinas Bajas y Altas, son de relieve accidentados con fuertes pendientes, representan gran diversidad biológica vegetal y faunística; esta zona se encuentra en el cerro Shicafilo, zona alta de la cuenca y en la margen izquierda del Cumbaza. Las especies representativas son: Copal (*Protium sp*), Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), Quina quina (*Sideroxylon sp*), Mashonaste (*Clarisia racemosa*), Yutubanco (*Heisteria sp*), Manchinga (*Brosimum sp*).

En Montañas, ocupa el escenario montañoso de la Cordillera Escalera con persistencia nubosidad que sobrepasa los 1000 msnm., los suelos son superficiales que hacen que la vegetación arbórea sea pobre y achaparrada con musgos, epífitas, bromeliáceas y orquídeas adheridos a los tallos y ramas de los árboles (bosque nublado). Tiene un alto valor como hábitat para la riqueza faunística, preservación de especies vegetales aún no conocidas, escenarios paisajísticos con impresionantes cataratas y preservación de las nacientes de agua que forman la cuenca del Cumbaza.

3.3. Materiales de campo y gabinete

3.3.1. De campo

- Soga de nylon de 100 m.
- Wincha de 100 y 50 m. (1 c/u)
- Wincha de 3 m. (1)
- Forcípula (1)
- Cinta diamétrica (2)
- Tijera de podar (3)
- Serrucho de podar (3)
- Rastrillo pequeño (4)
- Pala recta (2)
- Picos (2)

- Machetes (4)
- Cuchillos (2)
- Rafia (12 ovillos)
- Plumón indeleble (6)
- Bolsas de papel N°. 20, 12, 8, 6 (1000 c/u)
- Bolsas de plástico 12x18, 7x10, 8x12 (1000 c/u)
- Costales de polietileno de 50 Kg (5 docenas)
- Marco de madera de 1m. x 1m.
- Marco de madera de 0.5 m. x 0.5 m.
- Lapiceros, lápices (1 docena)
- Tableros de campo (6)
- Libreta de campo (6)
- Materiales de oficina y cómputo

3.3.2. De gabinete

- Papel bond A4 - report
- Software de Arc View y Map Source
- Mapa base de ubicación de la cuenca del Río Cumbaza
- Computadora Pentium IV AVATEC
- Impresora láser - canon 6000
- Calculadora científica

3.4 Metodología para su implantación

3.4.1 Fase de pre – campo: Comprendió la compilación de información relacionada a la zona en estudio:

- Mapa base de ubicación geográfica a nivel provincial y distrital de la cuenca del Río Cumbaza donde se implementó la investigación.

3.4.2 Fase de Campo

3.4.2.1 Muestra de los sistemas agroforestales

La muestra considerada fueron los sistemas agroforestales identificados en la Cuenca Alta (5) y media (5). Los sistemas agroforestales instalados por el

PEHCBM a partir del 2011 en la Cuenca Alta y el 2012 en la Cuenca Media (Anexo 1), asimismo, se consideró un bosque primario en la cuenca alta y un bosque primario en la cuenca media, los cuales se indican a continuación:

Cuadro 2

Parcelas georeferenciadas y evaluadas en la Cuenca Alta del Río Cumbaza

CUENCA ALTA CUMBAZA							
Nº	Año de instalación	Propietario (agricultor)	X	Y	Altitud (msnm)	Distrito	Sector
1	2011	Anita Santillan Inuma	354358	9284429	555	Banda de Shilcayo	Maronapampa
2	2011	Jhon Richar Sangama Isuiza	354278	9284678	572	Banda de Shilcayo	Maronapampa
3	2011	Carlos Sangama Isuiza	354347	9284706	587	Banda de Shilcayo	Maronapampa
4	2011	Segundo Gilberto Sangama Ruiz	354399	9284517	560	Banda de Shilcayo	Maronapampa
5	2011	Gusmiler Davila Santillán	354652	9284364	529	Banda de Shilcayo	Maronapampa
6	Bosque primario	ACR Cordillera escalera	337011	9282681	641	Banda de Shilcayo	Urahuasha
Promedio de altitud = 574 msnm Zona transicional entre BST a BHPT							

Cuadro 3

Parcelas georeferenciadas y evaluadas en la Cuenca Media del Río Cumbaza

CUENCA MEDIA CUMBAZA							
Nº	Año	Beneficiario (agricultor)	X	Y	Altitud (msnm)	Distrito	Sector
1	2012	Teddy García Armas	355271	9280665	389	Banda de Shilcayo	La Unión-Centro
2	2012	Jaime Navarro Ramírez	355292	9280568	386	Banda de Shilcayo	La Unión-Centro
3	2012	Rubén Arce García	355331	9280568	391	Banda de Shilcayo	La Unión-Centro
4	2012	Orlando Navarro Ramírez	355421	9280351	393	Banda de Shilcayo	La Unión-Centro
5	2012	Gerbar Bartra Lozano(PARCELA N° 01)	356755	9280481	415	Banda de Shilcayo	Sector Cascada
6	Bosque Primario	ACR Cordillera escalera	352834	9285421	634	Banda de Shilcayo	Urahuasha
Promedio de altitud = 436.6 msnm Zona transicional entre BST a BHPT							

3.4.2.2. Muestra de las encuestas

Para la determinación del Valor Opción, se consideró:

Población: Personas residentes o visitantes presentes el día de la realización de la encuesta, en las provincias de San Martín y Lamas.

Es una muestra probabilística simple, el tamaño se estimó de la manera siguiente:

$$n = (Z\alpha.S)^2 / \varepsilon^2,$$

n: tamaño de muestra.

α : Nivel de significación (5%).

S: desviación estándar de una encuesta piloto (50 encuestas) y datos de la variable, disposición a pagar (DAP).

Z: valor crítico de la distribución normal estándar, calculado con un nivel de significación ($\alpha/2$).

ε : Error o diferencia máxima entre la media muestral y la media de la población, correspondiente a la variable DAP, con el nivel de confianza que se ha definido.

Para $\alpha/2=0.025$, el valor de $Z=1.96$; $S= 741.8$, $\varepsilon= 65.0$,

$$n = (1.96 \times 741.8)^2 / 65^2 = 500.3.$$

Entonces, el valor de n estimado es igual a 500 personas.

3.4.2.3. Biomasa y carbono secuestrado

Seleccionados los Sistemas agroforestales, se procedió a realizar los inventarios forestales y la recolección de biomasa aérea, dependiendo del sistema de uso de la tierra a ser evaluado, se realizó la identificación de transectos, siguiendo la metodología desarrollada por **ALEGRE (2000)**, para condiciones similares y que se detallan a continuación.

Biomasa Arbórea

En caso que, los árboles oscilen entre 2,5 y 30 cm. de diámetro. Se marcaron parcelas de 4 x 25 m. en las que se midió la altura (H) y diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles vivos, parados, muertos y caídos muertos. Si ramifica por debajo de 1,3 m. (DAP), se midió el diámetro a esa altura.

En caso que, los árboles superaron los 30 cm de diámetro, se tomaron las mismas medidas, más se extrapoló á la parcela a 5 x 100 m. Superpuesta a la primera. Se nomino además en todos los casos: los nombres locales de cada árbol, si es ramificado (R), o no (NR), índice de densidad de la madera de la especie (alta: 0,6 media: 0,4 o baja: 0,2), si es palmera (P) o liana (L).

Biomasa Arbustiva y Herbácea

Se eligió al azar dos cuadrantes de 1 x 1 m. en cada una de las sub parcelas de 4 x 25 ó de 5 x 100 m, según se trate. En estas cortamos toda la biomasa epígea procedente de arbustos menores a 2,5 cm. de diámetro y la biomasa herbácea. Obteniendo el peso fresco total y el peso fresco de una sub muestra de aproximadamente 500 g, que se llevaron al laboratotio y ser introducidas en la estufa a 70° C hasta obtener el peso seco constante.

Biomasa de Hojarasca

Dentro de cuadrantes de 1 x 1 m. se tomaton subcuadrantes de 0,5 x 0,5 m. En ellos pesamos la hojarasca acumulada, para tomar después una submuestra de 500 g. (peso fresco), de ser necesario para meterlo en una estufa a 70 °C hasta peso seco constante.

Fórmulas:

*** Cálculo de Biomasa vegetal**

- **Biomasa arbórea = $0.1184 \text{ DAP}^{2.53}$**

DAP = Diámetro a la altura del pecho

0.1184 y 2.53 = constantes

- **Para árboles caídos muertos = $\text{BACM} = 0.4 \text{ DAP}^2 \text{ L } 0.25\pi$**

DAP = Diámetro a la altura del pecho

L = Largo del tronco

π = 3.1416

0.4 y 0.25 = constantes

Cálculo del contenido total de carbono en la biomasa vegetal

$$CC = B \times 0.45$$

B = Biomasa vegetal

0.45 = Constante (proporción de carbono, asumido por convención)

Cálculo del carbono total

$$CB = CAb + CAVHB + CH$$

CB = Carbono biomasa

CAb = Carbono arbóreo

CAVHB = Carbono arbustivo y herbáceo

CH = Carbono hojarasca

* Carbono en el suelo

Sobre los subcuadrantes de 0,5 x 0,5 m para la evaluación de la biomasa en la hojarasca, se tomaron muestras de suelo hasta una profundidad de 15 cm (figura 3).

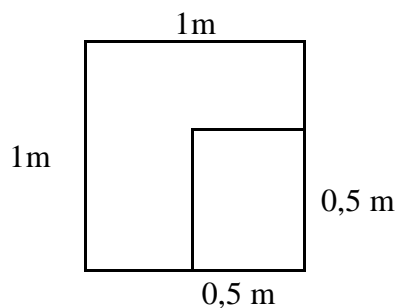


Figura 3: Cuadrantes de 1m x 1m para material herbáceo y arbustivo y cuadrantes interiores de 0.5m x 0.5 m para hojarasca y para la muestra de suelo. (Fuente: Presente estudio).

Para calcular el contenido de C en el suelo, se determinó la densidad aparente del suelo por cada una de las muestras en cada sistema agroforestal evaluado.

Cálculo de la densidad aparente (g/cc)

$$DA \text{ (g/cc)} = PSN / VCH$$

Donde,

DA = Densidad Aparente (g/cc)

PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro

VCH = Volumen del cilindro (constante).

Cálculo del peso del volumen de suelo

$$\mathbf{PVs (t ha^{-1}) = DA \times Ps \times 10\ 000}$$

Donde,

PVs (t.ha⁻¹) = Peso del volumen del suelo

DA = Densidad Aparente

Ps = Espesor o profundidad del horizonte del suelo

10 000 = Constante

Cálculo del carbono en el suelo (t ha⁻¹)

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

Donde,

CS (t ha⁻¹) = Carbono en el suelo, en t.ha⁻¹

PVs = Peso del volumen de suelo

%C = Resultados porcentaje de C, analizados en laboratorio.

100 = Factor de conversión

Cálculo del Carbono Total

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

Donde,

CT = Carbono Total (t.ha⁻¹)

CBV = Carbono en la biomasa vegetal total

CS = Carbono en el suelo

Considerando la ecuación universal de la fotosíntesis y conociendo los pesos moleculares de los compuestos se calcularon también los Kg de agua.ha⁻¹ utilizada para fijar CO₂, agua transpirada y O₂ liberado en Kg.ha⁻¹ a través del proceso de intercambio de gases.

3.4.2.4. Monitoreo del aire

El monitoreo de la calidad de aire, se realizó según el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Gestión de Datos-2005-DIGESA, asimismo los resultados se compararon con el Estándares de Calidad Ambiental para Aire D.S 003-2017-MINAM; para el Proyecto, con la finalidad de realizar el análisis de la concentración de gases como lo establece la normatividad vigente. En este contexto se analizaron muestras de calidad de aire (CO); en tres puntos de monitoreo (Cuenca alta, Cuenca media, Bosque y ciudad de Tarapoto) y en tres tiempos diferenciados de 7 y 14 días entre si y en un punto referencial (ciudad de Tarapoto); para la obtención de la muestra se obedeció estrictamente los lineamientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Gestión de Datos-2005-DIGESA y Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire - D.S. N° 003-2017-MINAM, además de los lineamientos de muestreo indicados por ITS, Laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), que realizó el análisis de las muestras, en cumplimiento de la normativa nacional vigente.

A continuación se indican los puntos de monitoreo del aire.

Cuadro 4

Puntos De Monitoreo De Calidad De Aire.

N° estación	Descripción del punto de muestreo	Provincia	Departamento	Coordenadas UTM	
				ESTE	NORTE
1	BOSQUE	San Martín	San Martín	352476	9284980
2	KM 11 – CARRETERA YURIMAGUAS	San Martín	San Martín	354633	9285052
3	LA UNIÓN	San Martín	San Martín	355544	9280506
4	PLAZA DE ARMAS TARAPOTO	San Martín	San Martín	349677	9282675

Fuente: Elaboración Propia - CEICA S.A.C

Cuadro 5*Métodos de monitoreo de gases.*

Equipo	Serie	Modelo	Uso
RMA – 13 (Tren de Muestreo)	422014	TMD-GGP	Captación de Gases (CO, NO ₂ , SO ₂ ,H ₂ S)

Fuente: Elaboración Propia - CEICA S.A.C.

Cuadro 6*Métodos de monitoreo con el tren de muestreo.*

Parámetro	Metodología de ensayo
CO (24 horas)	MASAI N° 43101-02-71T-1972

Fuente: Elaboración Propia - CEICA S.A.C.

Cuadro 7*Equipos de monitoreo*

Equipo	Serie	Modelo	Uso
Tren de muestreo	GGP	TMD -SERIE 0422014	Captación de Gases en el aire: SO ₂ , NO ₂ y CO

Fuente: Elaboración Propia - CEICA S.A.C

3.4.2.5. Monitoreo meteorológico

El monitoreo meteorológico está vinculado con la calidad de aire, teniendo en cuenta que los datos son importante para la evaluación ambiental, consiste en obtener información necesario de cada factor (temperatura, precipitación pluvial, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, entre otros), considerando que esto nos permite ver la dispersión de material particulado y gases está en función a la presión, altura, humedad relativa y temperatura del ambiente.

En el cuadro 1, se muestra las estaciones de Monitoreo Meteorológico, ubicación, parámetros medidos y coordenadas UTM de los mismos.

Cuadro 8*Puntos de Monitoreo meteorológico - Mayo, 2018*

Puntos	Parámetros	Lugar de monitoreo	Coordenadas UTM	
			X	Y
P1-Meteorológico	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Humedad • Presión relativa 	Bosque	352476	9284980
P2-Meteorológico		Km 11 – Carretera Yurimaguas	354633	9285052
P3-Meteorológico		La Unión	355544	9280506
P4-Meteorológico		Plaza de Armas Tarapoto	349677	9282675

Fuente: Elaboración Propia: CEICA S.A.C

3.4.2.6. Valoración económica

Fue calculada en base a la propuesta de **PEARCE (1990)**, con una ecuación para estimar el Valor Económico Total. Este concepto supone que la sumatoria de valores de distinta naturaleza constituye el valor total del recurso. Se distingue así entre valores de uso y de no uso, mientras que entre los valores de uso se diferencian los de uso directo y de uso indirecto, según el autor el valor económico total es:

$$VET = VU + VNU \quad (1)$$

Dónde:

VU = Valor de uso

VNU = Valor de no uso

Además, se puede expresar la ecuación (1) como:

$$VET = (VUD+VUI+VOP+VCO+VL) + (VE) \quad (2)$$

Dónde:

VET = Valor económico total

VUD = Valor de uso directo

VUI = valor de uso indirecto

VOP = valor de opción propiamente dicho

VCO = Valor de cuasi opción

VL = valor legado

VE = valor de existencia.

Según **FUCEMA (2001)**, los Valores de uso directo incluyen a todos los beneficios que producen los recursos forestales ya sea como insumos para procesos productivos, como bienes y servicios de consumo. Los usos directos del bosque que dan origen a estos valores, pueden corresponder a bienes (maderas, frutos, semillas, fauna, etc.) o servicios (turismo, recreación, educación, investigación científica, etc.). También, señala que, con relación a estos bienes y servicios pueden existir actividades comerciales y mercados bien estructurados, mientras que en muchos otros casos dichos mercados no existen o son incipientes. Los recursos que se emplean para el autoconsumo por parte de las comunidades locales también deben analizarse en esta categoría.

Valores de uso indirecto (VUD), incluyen a los valores derivados de las funciones ecológicas del bosque, las que en muchos casos se mencionan como *servicios ambientales* del bosque, como por ejemplo: la protección de los suelos, la provisión de agua en calidad y cantidad adecuada para consumo humano o para aplicaciones productivas, la oxigenación del aire, la conservación de la diversidad biológica, la captación y la retención del carbono, regulación de microclimas, efecto buffer para prevenir la difusión de plagas, reducción de la contaminación atmosférica, reciclado de nutrientes, etc.

Valor de Opción (VO), se relaciona con el hecho de que existen personas que aunque no utilicen hoy un bien o servicio están interesadas en mantener la posibilidad de hacerlo en algún momento futuro. Es posible distinguir entre dos formas de valor de opción:

a. **Valor de opción propiamente dicho (VOP)**, se deriva de la incertidumbre individual, de si el bien en cuestión estará disponible o no para el uso futuro. Los individuos tienen también otras fuentes de incertidumbre tales como: si en un momento futuro deseará utilizar el bien, los riesgos que puede implicar su uso, etc.

b. **Valor de cuasi opción (VCO)**, deriva de otro tipo de incertidumbre distinto al anterior, la del decisor. En la mayoría de las decisiones respecto del ambiente, el que decide desconoce el total de los costos y los beneficios de las acciones emprendidas, ya sea por desconocimiento científico o por ausencia de información económica.

Valor Legado (VL), conceptualmente, este tipo de valor se puede distinguir cuando se le otorga valor a un bosque (u otro bien similar) en tanto una persona desea promover su conservación para garantizar que sus descendientes (las generaciones futuras) puedan gozarlo y usarlo de igual forma o como lo hacen ellos hoy.

Valor de Existencia (VE), se trata de un beneficio intangible, derivado de la mera existencia del bosque, independientemente de los valores de uso (presentes o futuros) que se deriven de él. El ejemplo más claro de este concepto es el valor que algunas personas o grupos otorgan al hecho de que ciertas especies silvestres no se extingan. Lo mismo vale para algunos tipos de ecosistemas (ciertos bosques entre ellos), o para bellezas paisajísticas singulares. Es necesario resaltar que este tipo de valor suele ser mayor para personas que viven en regiones muchas veces distantes de los bosques que desean preservar, o incluso en centros urbanos.

3.5. Procesamiento de datos

Con los datos de campo y laboratorio, se elaboraron cuadros y gráficas con la finalidad de realizar el análisis e interpretación de las variables en estudio, haciendo uso del programa SPSS 22, cuyos resultados se muestran en el Capítulo V.

3.6. Validación del modelo

Para efectos de los resultados obtenidos, el modelo quedará validado para ser usado por cualquiera de los miembros de la comunidad científica, si se demuestra que es capaz de generar datos actuales modelados y futuros.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ubicación de la cuenca

La cuenca del Río Cumbaza se encuentra ubicada en el sector noroccidental del Perú, en la región San Martín, entre las provincias de Lamas y San Martín, cubre un área aproximada de 57 770 ha (CEDISA, 2002), representando el 1.14% de la extensión total de la región San Martín. La red hidrológica está constituida por el río Cumbaza, como eje principal, siendo sus afluentes principales por la margen izquierda los ríos Cachiyacu, Shilcayo, Ahuashiyacu y por la margen derecha la quebrada de Shupishiña. Estas microcuencas son proveedoras de agua dulce para atender la demanda de una población ascendente a 162,462 habitantes urbanos y 14, 899 rurales, atendidos por EMAPA-San Martín y tres (03) Comités de Regantes en la margen izquierda. De acuerdo a la Zonificación Ecológica y Económica de la cuenca del río Cumbaza, el área presenta la mayor superficie de tierras degradadas ascendentes a 3,454 has (CEDISA, 2016), cuya deforestación ha contribuido a generar el problema que enfrenta la disminución de la oferta hídrica y por ende de su calidad con el consecuente cambio climático que venimos viviendo. Las relaciones con la demanda son ventajosas por la accesibilidad y proximidad al centro urbano más importante de San Martín que es el Distrito de Tarapoto, el mismo que cuenta con una población de 68,295 habitantes y es la capital comercial para productos agropecuarios y otros bienes y servicios.

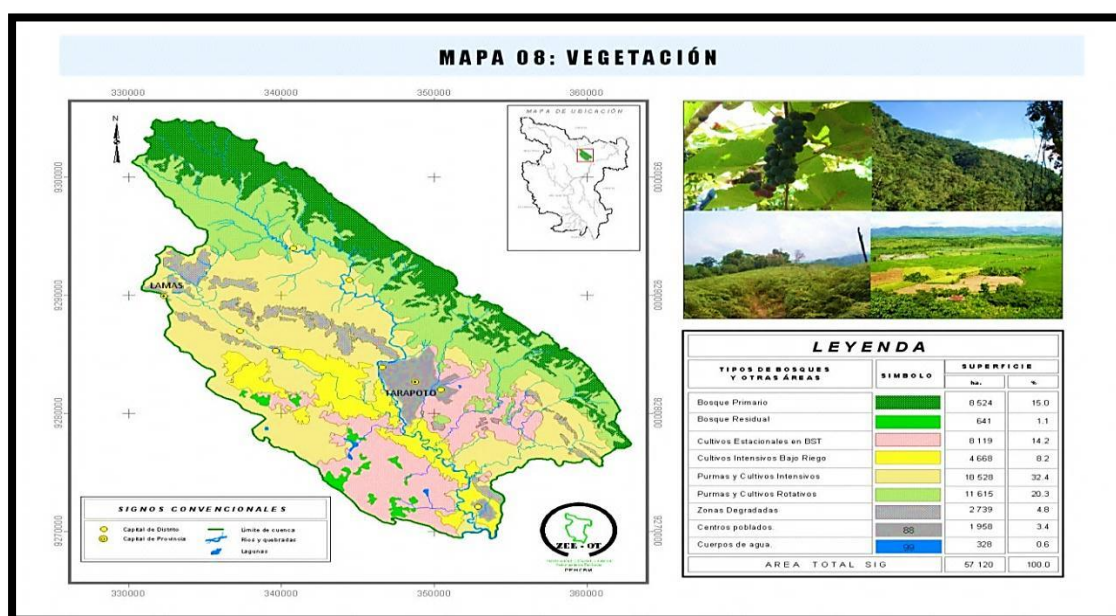


Figura 4. Mapa de vegetación de la Cuenca del Río Cumbaza. (Fuente: Presente estudio).

4.2. Cuantificación de las reservas de carbono en la biomasa aérea promedio de diferentes sistemas agroforestales y consecuentemente el oxígeno liberado y el agua utilizada.

4.2.1. Reservas de carbono en sistemas agroforestales en comparación a bosques primarios.

A continuación se presentan los valores promedios obtenidos para las reservas de carbono en sistemas agroforestales en la cuenca alta (CA), cuenca media (CM), Bosque en cuenca alta (BCA) y bosque en cuenca media (BCM).

Con los valores estimados en el anexo 2, se elaboró la figura 5, donde presenta la prueba de Duncan ($P < 0,05$) para los promedios de los servicios ambientales por secuestro de carbono, donde en el Bosque de la cuenca media se encontró el mayor promedio de C con $49,545 \text{ t.ha}^{-1}$ superando estadísticamente al Bosque en cuenca alta, sistema agroforestal en cuenca media y sistema agroforestal en cuenca alta, en quienes se obtuvieron promedios de $27,988 \text{ t.ha}^{-1}$, $21,551 \text{ t.ha}^{-1}$ y $15,395 \text{ t.ha}^{-1}$ respectivamente. Estos valores estimados tienen una relación con el proceso de intercambio gaseoso, calculada en base a la ecuación universal de la fotosíntesis, considerando el peso molecular de sus compuestos, donde por cada mol de CO_2 fijado, la liberación de oxígeno representa 1,375 y el agua transpirada 2,44, en tanto que solo el 4,8% del agua absorbida se transforma en enlaces de C (PINTO, 1984).

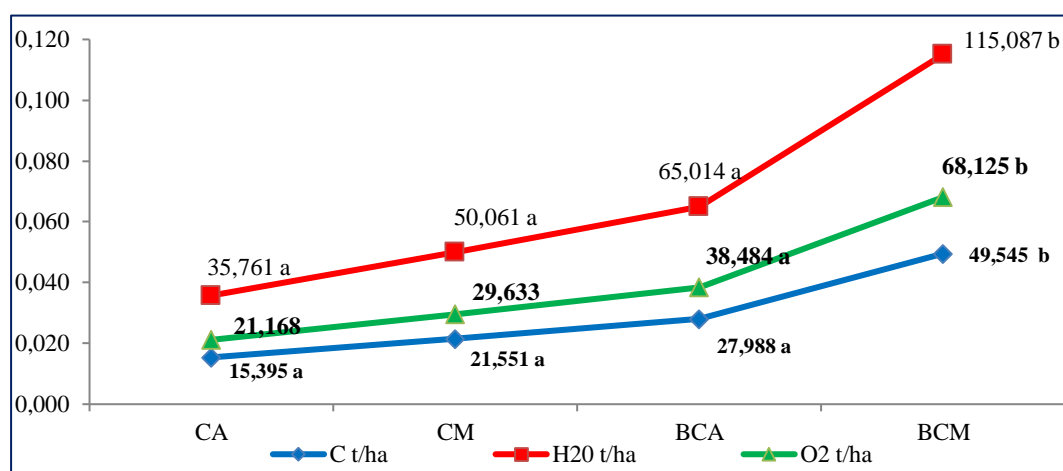


Figura 5: Prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0,05$) para promedios obtenidos de C t.ha^{-1} en los sistemas agroforestales en la cuenca alta y cuenca media (CA, CM) y en bosques en la cuenca alta y media (BCA, BCM). (Fuente: Presente estudio).

Notese que los valores estimados para el oxígeno liberado y agua transpirada superan fuertemente a los obtenidos en el carbono secuestrado, siendo estos servicios ambientales sumamente valiosos para la vida y aun no valorados económicamente.

En términos generales, el depósito o almacenamiento de Carbono en bosques primarios son mayores que en sistemas de uso del suelo con sistemas agroforestales, dada la gran diversidad existente, edad de sus componentes, clima, características edáficas y topográficas, entre otros, esta aseveración concuerda con lo encontrado por **ALEGRE *et al.*, (2002)**, en Yurimaguas y Pucallpa donde se reporta $184.40 \text{ t C.ha}^{-1}$ y $121.30 \text{ t C.ha}^{-1}$, por lo tanto mientras más diverso es un sistema tiende a ser un mayor reservorio de carbono, quienes además indican que la cantidad de carbono almacenado está en función a su heterogeneidad y está determinado por las condiciones del suelo y clima, ya que existen plantas con diversos diámetros, crecimientos y especies, así mismo, **NORBERTO (2006)** y **ACOSTA *et al.* (2001)**, afirman que los ecosistemas que almacenan más carbono en la biomasa vegetal son los de mayor edad, puesto que suelen preservar individuos mayores y más robustos, también la densidad y la mezcla de especies, como en los bosques primarios y secundarios ya que las plantaciones de cacao, pijuayo y café son monocultivos y presentan bajos contenidos de carbono en biomasa en este estudio, sin lugar a dudas, valores superiores a los promedios obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, los sistemas agroforestales evaluados por **LAPEYRE *et al* (2004)**, arrojaron valores entre 19 a 47 t C.ha^{-1} , valores similares a los obtenidos en el presente estudio con $15,3$ a $21,5 \text{ t C.ha}^{-1}$.

4.3. Reservas de carbono en sistemas agroforestales, oxígeno liberado y agua utilizada.

Con los valores estimados en el anexo 2, se elaboró la figura 6, donde estadísticamente según la prueba de Duncan ($P < 0,05$), no se determinó diferencias estadísticas entre los promedios obtenidos para el contenido de carbono, agua transpirada y oxígeno liberado en los sistemas agroforestales en la cuenca alta (CA) y cuenca media (CM). En general los sistemas agroforestales establecidas en la CM

reportaron el mayor promedio con 21,551 tm C ha⁻¹ en la biomasa aérea que los sistemas agroforestales en la CA. Así mismo, el agua transpirada y el oxígeno liberado variaron entre 35,761 a 50,061 t agua transpirada.ha⁻¹ y de 21,168 a 29,633 t oxígeno liberado.ha⁻¹ respectivamente.

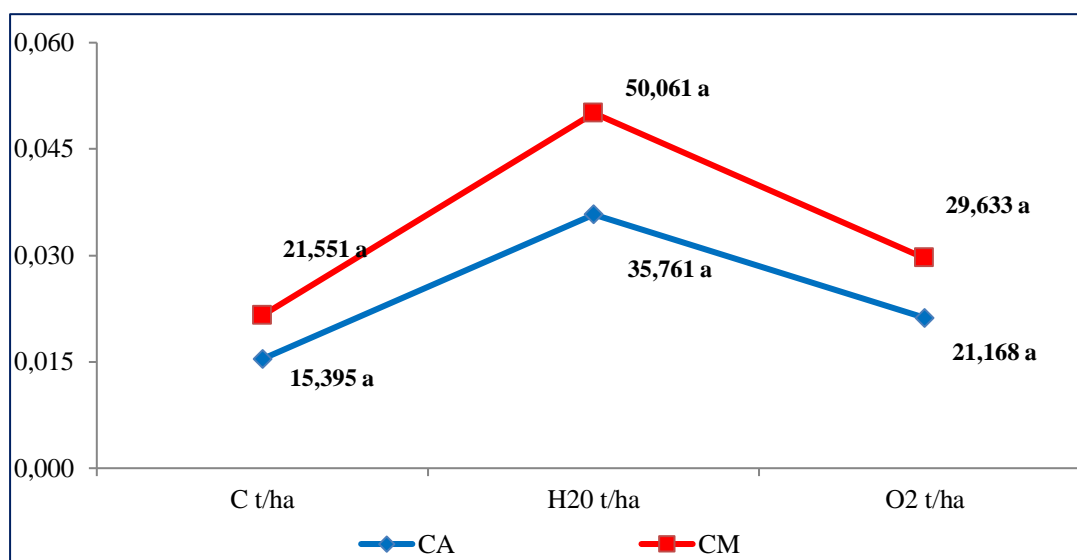


Figura 6: Prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0,05$) para promedios de C, H₂O transpirada y oxígeno liberado en t.ha⁻¹ obtenidos en los sistemas agroforestales en la cuenca alta y cuenca media (CA, CM). (Fuente: Presente estudio).

4.3.1. Cuantificación total del área con sistemas agroforestales en la cuenca del Río Cumbaza

Para la cuantificación del área total con sistemas agroforestales en toda la cuenca, se siguieron las etapas que a continuación se detallan:

Primera etapa:

Con el objetivo de recabar información preliminar sobre las áreas instaladas en sistemas agroforestales, clima, mapa de uso actual de las tierras, padrones de productores y establecer coordinación con los técnicos extensionista, se visitaron las instituciones que desarrollan o promueven actividades en la cuenca del cumbaza, como el Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo (PEHCBM) a través de la Dirección de Medio Ambiente, Area de Conservación Regional Cordillera Escalera, CEDISA, Municipalidad distrital de San Roque de Cumbaza y San Antonio, Municipalidad de La Banda de Shilcayo, Ministerio de agricultura de Tarapoto, ORO Verde.

Reconocimiento del área:

Se analizaron la base de datos del Padrón de agricultores levantados por personal de Área de Conservación Regional Cordillera Escalera del año 2009, y la base de datos realizados por la Dirección de Medio Ambiente, para el proyecto de servicios ecosistémicos en la cuenca media del río Cumbaza. Luego se revisaron los mapas de tipo de bosque y uso actual de la tierra de la Meso zonificación del río Cumbaza, la cual provee de información espacial de las áreas con sistemas agroforestales. Con la información obtenida se hizo una exploración utilizando las imágenes de Google Earth, de alta resolución que permitió delimitar las parcelas agroforestales y a fin de validar el mapa se hizo un recorrido.

Recorrido de Campo:

Se visitaron 5 parcelas agroforestales en la parte alta del río Cumbaza, 6 parcelas en la cuenca media y 2 áreas de bosques naturales, con el fin de completar la base de datos de Datos del ACR Cordillera Escalera, debido a que solo existía información de cultivos permanentes.

Localización de las Fincas de la Base de Datos:

Para la Georeferenciación se utilizó un GPS, tomando las coordenadas en proyección geográfica WGS 84/UTM zone 18s en la parte media de las parcelas. Posteriormente los datos recolectados se transcribieron a una hoja Excel y fueron identificados con el nombre y el código de cada finca. Al final fue exportada en formato (dbf).

Herramienta de SIG utilizada:

Para la delimitación de las parcelas y la distribución espacial se utilizó el software Qgis 2.18. Es uso de este software es de uso libre, no tiene licencia. Estimándose en un total de 619,5 has de sistemas agroforestales (figura 7), en toda la cuenca Alta y media del Río Cumbaza.

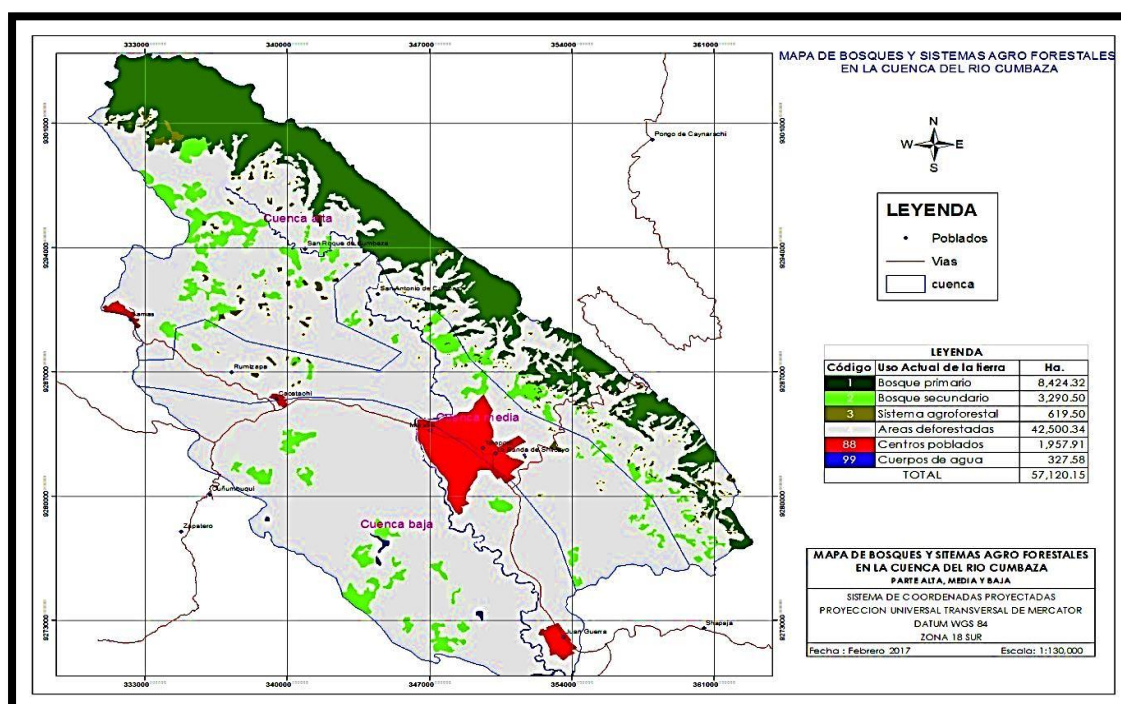


Figura 7: Mapa de bosques y sistemas agroforestales en la cuenca del Río Cumbaza. (Fuente: Presente estudio).

4.4. Monitoreo del aire

Los resultados obtenidos de los análisis realizados en ITS, se muestran a continuación en los siguientes cuadros (**Ver anexo 2**): Resultados de los análisis de laboratorio):

Cuadro 9

Resultado de los parámetros gaseosos.

Parámetros Puntos Monitoreados	Primer monitoreo	Segundo monitoreo	Tercer monitoreo
	CO (ug/muestra)	CO (ug/muestra)	CO (ug/muestra)
D.S. N° 003-2017-MINAM	30000 (ug/m ³)	30000 (ug/m ³)	30000 (ug/m ³)
Bosque	<650		
Km 11 – Carretera Yurimaguas	<650	<650	<650
La Unión	<650	<650	<650
Plaza de Armas Tarapoto			<650

Fuente: ITS - CO.

La normativa de referencia mencionada anteriormente y que en este caso se utiliza para establecer si la concentración de los gases cumple con los Estándares de Calidad Ambiental para Aire, expresa los valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.5. Monitoreo meteorológico

Los datos meteorológicos corresponden a la parte alta, media del cumbaza y el distrito de Tarapoto. Se podrán realizar el análisis a partir de estaciones meteorológicas existentes en la zona siempre y cuando los datos sean representativos. Las variables meteorológicas analizadas fueron, temperatura interna y externa y humedad interna y externa, llegando a obtener datos relevantes, por cada punto de monitoreo para el proyecto de tesis. Los resultados obtenidos se encuentran en condiciones normales del lugar y los cuales provienen de la estación meteorológica WS 1080.

A continuación se presentan los resultados de los monitoreos realizados:

4.5.1. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

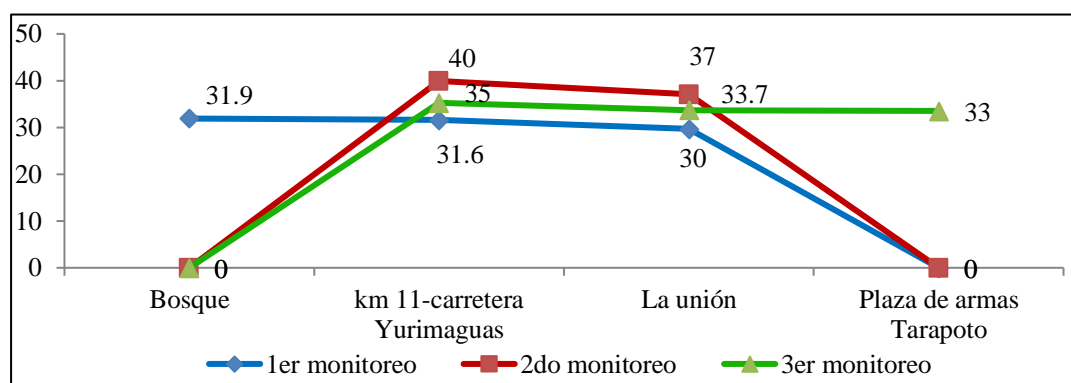


Figura 8: Temperatura interna ($^{\circ}\text{C}$), según puntos referenciales y según monitoreo. (Fuente: Estación meteorológica WS1080 - 2018).

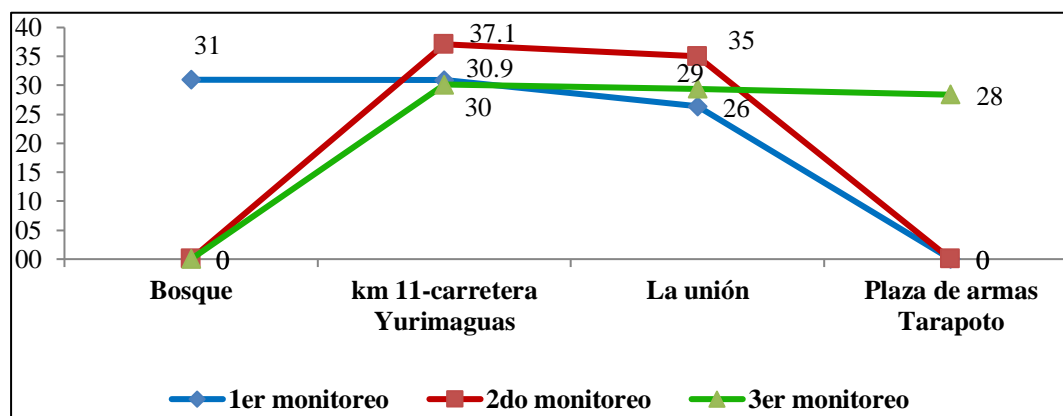


Figura 9: Temperatura externa ($^{\circ}\text{C}$), según puntos referenciales y según monitoreo. (Fuente: Estación meteorológica WS1080 - 2018).

En el primer monitoreo, el resultado obtenido en el bosque como punto referencial se llegó a obtener una temperatura interna promedio con un valor de 31,9 °C (figura 8) y al finalizar una temperatura externa promedio de 31 °C (figura 9). En el tercer monitoreo, el resultado obtenido en la Plaza de armas de Tarapoto, también como punto referencial se obtuvo una temperatura interna promedio de 33 °C (figura 8) y al finalizar una temperatura externa de 28 °C (figura 9).

En el Km 11 – carretera a Yurimaguas (cuena alta) la temperatura interna promedio en el primer monitoreo fué de 31.6 °C, en el segundo monitoreo fue de 35 °C y 40 °C en el tercer monitoreo (figura 8), frente a 30,9 °C, 37,1 °C y 30 °C de temperatura externa promedio en el primer, segundo y tercer monitoreo respectivamente (figura 9).

En la Unión (cuena media) se obtuvo la temperatura interna promedio en el primer monitoreo fué de 30,0 °C, en el segundo monitoreo fue de 37 °C y 33,7 °C en el tercer monitoreo (figura 8), frente a 26,0 °C, 33,0 °C y 29 °C de temperatura externa promedio en el primer, segundo y tercer monitoreo respectivamente (figura 9).

4.5.2. Humedad (%)

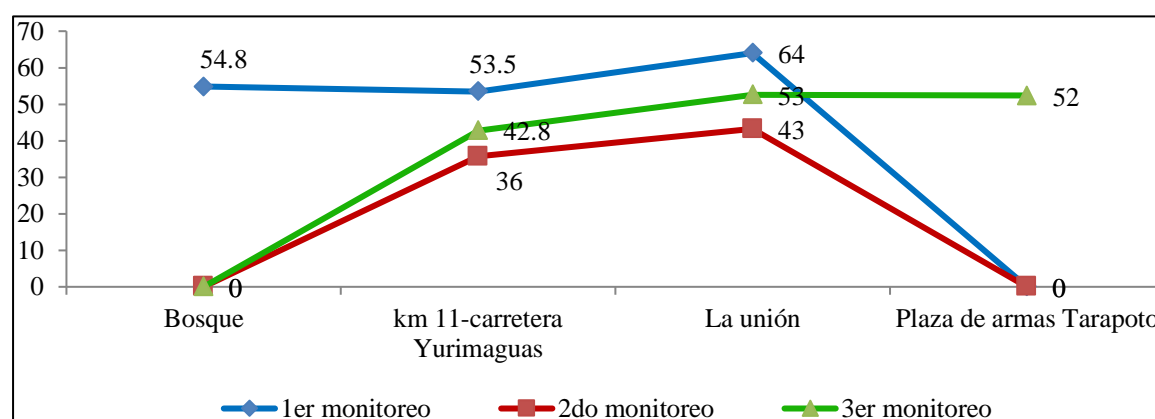


Figura 10: Humedad interna (%), según puntos referenciales y según monitoreo. (Fuente: Estación meteorológica WS1080 - 2018).

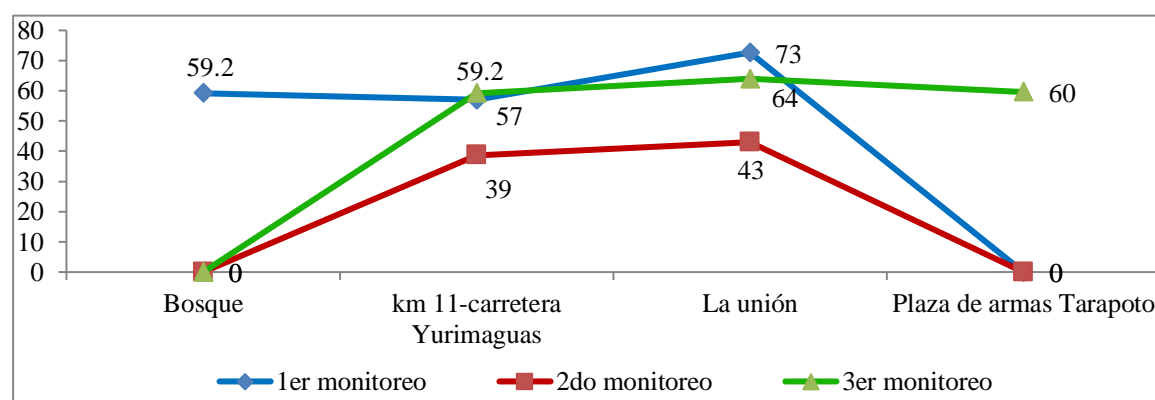


Figura 11: Humedad externa (%), según puntos referenciales y según monitoreo. (Fuente: Estación meteorológica WS1080 - 2018).

En el primer monitoreo, el resultado obtenido en el bosque como punto referencial se llegó a obtener una humedad interna promedio con un valor de 54,8% (figura 10) y al finalizar una humedad externa promedio de 59,2% (figura 11). En el tercer monitoreo, el resultado obtenido en la Plaza de armas de Tarapoto, también como punto referencial se obtuvo una humedad interna promedio de 52% (figura 10) y al finalizar una humedad externa de 60% (figura 11).

En el Km 11 – carretera a Yurimaguas (cuenca alta) la humedad interna promedio en el primer monitoreo fué de 53,5%, en el segundo monitoreo fue de 36% y 42,8% en el tercer monitoreo (figura 10), frente a 57%, 39% y 59,2% de humedad externa promedio en el primer, segundo y tercer monitoreo respectivamente (figura 11).

En la Unión (cuenca media), se obtuvo una humedad interna promedio en el primer monitoreo fué de 64%, en el segundo monitoreo fue de 43% y 53% en el tercer monitoreo (figura 10), frente a 73%, 43% y 64% de humedad externa promedio en el primer, segundo y tercer monitoreo respectivamente (figura 11).

4.6. Estimación del valor económico de la biomasa aérea por el servicio de secuestro de carbono, oxígeno liberado y el agua utilizada.

4.6.1. Estimación de valor de uso directo (VUD)

4.6.1.1. Valor económico de carbono almacenado

Considerando que se determinó la existencia de 619,5 has de sistemas agroforestales (figura 4) y que los valores promedio de carbono secuestrado en los sistemas agroforestales en la cuenca media (21,551 t.ha⁻¹) y en la cuenca alta (15,395 t.ha⁻¹) con un valor promedio de 18,475 t.ha⁻¹ de C, el valor económico total o precio social del carbono (cuadro 1) en la cuenca del Río Cumbaza es de 82 053,648 dolares americanos (619,5 has x 18,473 t.ha⁻¹ x S\$ 7,17), lo que hace un total en soles de S/. 270 777,04 (tc = 3,3).

4.7. Estimación del valor de uso indirecto (VUI)

4.7.1. Valor económico del recurso agua

- **Oferta de agua en la cuenca**

De acuerdo a **GARCIA (2006)**, a las mediciones del caudal de los 27 afluentes del río Cumbaza, se estimó en 128 646 144.00 m³ de agua que se generó en la cuenca en un año (año 2004). No se ha encontrado mediciones anteriores, sin embargo, mediante una entrevista a personas que habitan en las orillas de Cumbaza y afluentes, se pudo obtener que hasta el año 1970, el caudal del río Cumbaza fuera aproximadamente entre 300 a 400 millones de metros cúbicos anuales. En aquel tiempo, existía entre 80% a 90% de bosque alto en la cuenca (hoy el 27.4%, aproximadamente).

La oferta de agua en la cuenca al 2016 (**PROYECTO CUMBAZA RESILIENTE AL CLIMA, 2016**), fue de 212, 1 millones de m³ en bocatomas mas 57,87 millones de m³ haciendo una oferta total de 269,97 millones de m³.

En el análisis de la oferta hídrica de la cuenca se ha considerado al cauce principal (río Cumbaza) y los principales afluentes: quebradas Cachiyacu, Ahuashiyacu, Shilcayo y Pucayacu por la margen izquierda y Shupishiña (Chupishiña) por la margen derecha; para ello se ha tomado información del **CEDISA – IICA (2011)**, los cuales han empleado registros históricos de caudales medios mensuales para 10 años. Los caudales de la quebrada Cachiyacu fueron generados a partir de los caudales de las quebradas Shilcayo y Ahushiyacu. Los caudales de estas quebradas tienen una tendencia a disminuir en el tiempo, mientras que los caudales del río Cumbaza tiene una tendencia a aumentar; este aparente aumento de caudal en referencia a lo reportado por **GARCÍA (2006)**, quién reporta que en el año 1970, el caudal del río Cumbaza fue aproximadamente entre 300 a 400 millones de metros cúbicos anuales. En aquel tiempo, existía entre 80% a 90% de bosque alto en la cuenca (hoy el 27.404%, aproximadamente), esta realidad no significa un aumento de la producción de agua en la cuenta, siendo posible que exista una relación con el aumento progresivo de la deforestación y el incremento

del material de arrastre sedimentable, estableciéndose una relación con la disminución de la infiltración del agua al suelo, el incremento de la velocidad de la escorrentía en terreno con pendientes y el incremento de la evapotranspiración.

- **Demanda de agua en la cuenca**

La demanda calculada para el consumo humano representa el 8,18% (17'349,780 m³), Acuicultura 8,1% (17'180, 100 m³), industrial 1,85% (3'923,850 m³) y para riego 81,87% (173'646,270 m³). Sin embargo al 2016, la cuenca alberga una población estimada en 177,361 habitantes (162,462 urbana y 14,899 rural) y que conforman unas 34,109 familias aproximadamente. Se estimó en 423,3 m³/familia/año de agua para consumo humano, por lo que, la cantidad demandada total de agua se estimó en 212'100,00 m³ por año).

- **Determinación del precio del agua para consumo humano**

El canon es el monto que paga anualmente la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA San Martín) al Distrito de Riego - Tarapoto, por utilizar el agua que se genera en la cuenca de Cumbaza, siendo que a la tarifa es de S/. 0,77/m³ como precio del agua al 2016. El incremento promedio de la tarifa, ha ido incrementándose respecto a los reportado por **GARCIA (2006)**, quien determinó que el año 2005 fue de S/. 0.00424/m³ y como podemos observar en el cuadro adjunto (cuadro 4), la tarifa ha ido disminuyendo desde el año 2008 con S/. 1,37/m³ hasta S/. **0,77/m³** al 2016.

Cuadro 10

Tarifa y canon de acuerdo al volumen de agua para consumo humano

Año	Volumen captado (m³/año)	Tarifa Total facturada en S./m³ año	Tarifa promedio (S./m³)	Canon (S./.)
2007				
2008	10 200 490,82	7 439 972,00	1,37	13 985 269,43
2009	10 627 374,40	8 411 955,20	1,26	13 426 258,69
2010	10 480 096,00	9 029 824,95	1,16	12 163 293,62
2011	10 463 057,60	9 793 871,20	1,07	11 177 967,54
2012	10 697 431,12	11 072 759,39	0,97	10 334 825,18
2013	10 640 934,81	11 323 982,46	0,94	9 999 087,69
2014	10 644 685,00	12 218 728,73	0,87	9 273 413,07
2015	10 546 974,00	12 576 062,03	0,84	8 845 269,71
2016	11 066 987,57	14 439 240,11	0,77	8 482 317,14
Promedios	10 596 447,92	10 700 710,67	1,03	10 854 189,12

Fuente: EMAPA SM (2017)

- **Determinación del precio del agua para riego**

La Junta de Usuarios del distrito de riego administra tanto el volumen de agua captados como los pagos efectuados por cada usuario de agua; la Junta, se encarga de abonar el canon al Distrito de Riego Tarapoto. En base al volumen captado y el canon pagado, el ALA deduce los valores de las tarifas anuales (precio) (Cuadro 11), siendo que dichas tarifas son menores en comparación con el de consumo humano, calculado en 0,77 S/.m⁻³ al 2016.

Cuadro 11

Volumen de agua captado para riego en m³/año y tarifa en S/. / m³ por año

Año	Agua para riego Volumen captado (m³/año)	Tarifa (S/. / m³)
2007	no se tiene registro	0,00347
2008	48 082 192,70	0,00417
2009	50 385 848,39	0,00500
2010	54 978 323,40	0,00500
2011	56 697 044,04	0,00525
2012	53 707 661,28	0,00525
2013	61 155 594,86	0,00602
2014	61 607 093,18	0,00627
2015	62 139 784,98	0,00654
2016	63 469 518,84	0,00707
Promedios	56 913 673,52	0,00562

Fuente: ALA, 2017

- **Determinación del precio del agua para piscigranja**

Al igual que en los casos anteriores, las tarifas calculadas se determinaron en base al volumen captado y el canon pagado (Cuadro 12). Contrariamente al descenso de la tarifa del agua para consumo humano en los últimos nueve años (2008 al 2016), las tarifas de agua para riego y para piscigranjas se han ido incrementado desde el 2007 hasta el 2016, siendo que la tarifa es de S/. 0,00607 /m³ al 2016.

Cuadro 12

Volumen de agua captado para piscigranjas en m³/año y tarifa en S/./m³ por año

Año	Agua para piscigranjas Volumen captado (m³/año)	Tarifa (S/./m³)
2007	no se tiene registro	0,00316
2008	4 755 381,70	0,00379
2009	4 983 215,77	0,00455
2010	5 437 416,60	0,00455
2011	5 607 399,96	0,00480
2012	5 311 746,72	0,00480
2013	6 048 355,54	0,00506
2014	6 093 009,22	0,00531
2015	6 145 693,02	0,00554
2016	6 277 205,16	0,00607
Promedios	5 628 824,85	0,00494

Fuente: Datos de captación de la Bocatoma del Canal Principal Cumbaza, que irriga 3,500 has físicas (ALA, 2017).

El valor de la tarifa esta compuesto por la tarifa por el servicio de suministro a cargo del Operador (Junta de Usuarios), retribución económica por el uso del recurso natural (agua), autorgravámen Junta Nacional (organización a la que pertenece la Junta de Usuarios) y pago por servicios ecosistémicos (para la comunidades de la zonal alta de cuenca) (a partir del 2015) y en el valor de la tarifa para uso piscicola, no se incluye el valor de la retribución económica por estar exonerado este cobro por Ley.

4.7.2. Valor económico del agua transpirada

La evaporación del agua consume una cantidad de energía considerable, debido al elevado calor latente de vaporización de esta sustancia, energía que procede de la energía radiante que la hoja recibe. La transpiración, por tanto, contribuye al

balance térmico de la hoja. Si esa fracción de la energía no se gastara de esta manera, aumentaría la temperatura de la hoja, pudiendo llegar a límites incompatibles con la actuación de los sistemas enzimáticos y con la mayoría de los procesos metabólicos.

Considerando la tasa de concentración de vapor agua que las plantas eliminan a la atmósfera a través del proceso fotosintético (95,2%), calculada sobre la base de la ecuación de la fotosíntesis y el peso molecular de sus compuestos, se calcula el valor económico promedio del agua transpirada en S/. 0,261.m⁻³ calculada de los valores promedios del agua para consumo humano, agua para riego y agua para piscigranjas (cuadro 13). Con una conversión de 1m³ igual a 1000 kg (1 t), entonces, el promedio del agua transpirada y condensada en la atmósfera es 42 911 kg.ha⁻¹ o 42,911 t.ha⁻¹ (gráfica 2) y de 26 583 364,5 kg.ha⁻¹ (26 583,3645 t.ha⁻¹), entonces el valor económico del agua transpirada promedio es de S/ 6 938 258,1345 en toda la cuenca (S/ 11 199,771.ha⁻¹).

Cuadro 13

Precios de los tipos de agua en S/. /m³

Tipo de agua	Tarifa (S/./m ³)
Agua para consumo humano	0,77
Agua para riego	0,00707
Agua para piscigranjas	0,00607
Promedio	0,261

Fuente: presente estudio.

El sustento de este servicio ambiental está referida a la tasa de transpiración en los sistemas agroforestales que contribuye a la regulación de la temperatura ambiental, partiendo de que estos desempeñan un rol importante en el clima, según la **FUNDACIÓN BUSTAMANTE DE LA FUENTE (2010)**, los bosques intervienen sobre el clima como un gigantesco consumidor de calor, cerca de la tierra, absorbiendo la mitad de la energía solar que le llega a través de la evaporación del agua de su follaje. Pues la mayor parte de la energía atrapada en el agua se libera cuando el vapor se condensa para formar nubes y lluvia, y ésta es una de los principales mecanismos de circulación atmosférica global, constituyéndose además un servicio ambiental adicional que los

bosques y sistemas agroforestales nos brindan. En tanto el valor económico del agua transpirada. ha^{-1} en los sistemas agroforestales varió desde 9.33 a 13.06 $\text{S}/\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ (5779.9 a 8 094.3 $\text{S}/\text{m}^3.\text{cuenca}^{-1}$).

4.7.3. Valor económico del oxígeno

Se estima que aproximadamente el 98% del oxígeno que hay en la atmósfera proviene de la fotosíntesis, en concreto de la fotosíntesis oxigénica, un proceso que realizan los llamados organismos fotoautótrofos oxigénicos (para diferenciarlos de otros organismos que realizan fotosíntesis anoxigénica y de otros autótrofos que realizan quimiosíntesis).

En la fotosíntesis, además de las moléculas orgánicas, también se forma oxígeno molecular (O_2) que es desprendido al medio (aire y agua). Este proceso lleva realizándose en el planeta Tierra desde hace millones de años, oxigenando la atmósfera y permitiendo la vida de otros seres vivos que necesitan el oxígeno, incluyendo el ser humano y todos los animales del planeta.

La intensidad de la fotosíntesis se puede medir mediante la producción de oxígeno: cuanto más oxígeno se produce, más intensa es la fotosíntesis (**LOS PHILODENDRONS, 2013**), así mismo, **PINTO (1984)** señala que la producción de oxígeno que se libera en base a la fijación de un mol de CO_2 con un peso molecular de 44 g es de 32g para un mol de oxígeno liberado, con una relación matemática de 1:1,375.

De todos los organismos fotosintéticos, la mayor contribución al oxígeno atmosférico corresponde a las cianobacterias y algas del fitopláncton oceánico y a las plantas terrestres. La proporción de oxígeno atmosférico que proviene del océano y la que proviene del medio terrestre está bajo debate. Algunos científicos creen que la contribución de cada medio es aproximadamente el 50%, mientras que otros señalan que el océano aportaría 1/3 y las plantas terrestres 2/3. Lo que está claro es que estos números pueden variar de una zona a otra del planeta en función del balance entre las diferentes formas de vida existentes.

El oxígeno es un elemento químico (O_2) no metal que naturalmente se encuentra libre en el aire y disuelto en el agua de los océanos. Constituye alrededor del 20 por ciento de la atmósfera de la Tierra y las plantas son las únicas capaces de producirla, como producto de su proceso de fotosíntesis, información tomada de la página <http://www.bioenciclopedia.com/ciclo-del-oxigeno/> y la cual resume la información de muchos autores.

Este valor económico del oxígeno liberado por las plantas se calculó en base al promedio del oxígeno liberado entre los SAFs en la cuenca Alta y Media del Río Cumbaza entre 29,633 y 21,168 $t.ha^{-1}$ haciendo un promedio de 25,4 $t.ha^{-1}$, haciendo un total de 15 735,61 $t.ha^{-1}$ de oxígeno liberado (619,5 ha x 25,4 $t.ha^{-1}$) en toda la cuenta.

Para el cálculo del valor económico del oxígeno liberado, se consideró referencialmente el precio del oxígeno brindado por el área de compras de la Red Asistencial – Tarapoto – Essalud, que es de S/. 8,7 (ocho con 70/100 soles) por metro cúbico. Por lo tanto, si estamos referidos al oxígeno a $0^{\circ}C$ de temperatura, su densidad es 1,43 $kg.m^{-3}$. Es con esta densidad que determinamos el valor de que en $1 m^3 = 1000 l = 1000 kg = 1 ton$; entonces, 15 735,61 $t.ha^{-1}$ equivalen a 22 501,9223 $t.ha^{-1}$ de oxígeno liberado haciendo un total de 195 766,72 $S/.ha^{-1}$ (ciento noventicinco mil setecientos sesentiseis con 72/100 soles) y en toda la cuenca con un valor de 121 277 485,52 $S/.ha^{-1}$ (121 millones 277 mil 485 con 52/100 soles).

4.8. Estimación del valor opción (VO)

4.8.1. Valor opción propiamente dicho (VOP)

Este valor está referido a la disposición a pagar (DAP) de las personas, también llamado disposición a pago presente; aún que, no utilicen hoy un bien o servicio del bosque o de los sistemas garoforestales están interesados en mantenerlo y realizarlo en el futuro. Se estimó el VOP en S/. 4 095,45 por hectárea (Cuadro 14) con un total de S/ 2 537 131, 175 en toda la cuenca. Éste monto es el promedio de las disposiciones a pagar de 240 personas nacidos en la Región San Martín (personas naturales de San Martín). La información se recogió mediante una

encuesta cuya pregunta específica fué: Teniendo en cuenta sus ingresos, sus gastos, sus gustos y preferencias ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar actualmente por una hectárea de una chacra agroforestal?

Cuadro 14

Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para la disposición a pagar (DAP), según procedencia

Tratamientos	N° de personas	Duncan ($P < 0,05$)	
		DAP promedio (S/.)	Significación
Personas naturales de S.M.	240	4095,45	a
Personas de otros departamentos	150	7195,45	a
Turistas extranjeros	60	22606,06	b

Fuente: presente estudio.

* De 500 personas entrevistadas, 450 están dispuestos a pagar y 50 no.

Las respuestas tuvieron una desviación estándar de 17071,9 soles, considerado muy alto. El rango de las disposiciones a pagar varió desde 500 soles hasta 80 000,0 soles (Anexo 8), lo que expresa una alta variabilidad.

4.8.2. Valor cuasi opción (VCO)

El valor de cuasi opción (VCO), se refiere al valor que podrían tener los componentes agroforestales en un futuro para propósitos científicos, alimentarios, farmacéuticos, comerciales, etc. y que puede ser útil hoy para la planificación de desarrollos futuros. La DAP se estimó en S/. 14 900,75 por hectárea (S/. 9 231 014,625 en toda la cuenca) siendo este monto el promedio de las disposiciones a pagar de 210 personas que no son naturales de San Martín y extranjeros (Cuadro 14), que están de paso por la Región (personas de otros departamentos y turistas extranjeros). Las respuestas tuvieron una variabilidad alta (error estándar de S/. 1945,5) (Anexo 9) y al comparar los promedios de DAP, ordenados de menor a mayor promedio y clasificados en tratamientos por lugar de procedencia se concluye que existieron diferencias significativas entre dichos promedios, siendo el grupo de los turistas extranjeros son los que estarían dispuestos a pagar un hectárea de un sistema agroforestal con S/. 22 606,06 (cuadro 15). Se evidencia que la variabilidad de las respuestas estaría relacionada a factores educativos, socio-económicos y culturales, preferencias y sensibilidad ambiental de las personas entrevistadas. La información se recogió mediante una encuesta cuya

pregunta específica fué: Considerando que los Sistemas Agroforestales tienen un valor futuro para propositos científicos, alimentarios farmaceuticos, comerciales, etc ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por 1 Ha de SAF?

Cuadro 15

Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para la disposición a pagar (DAP), según ocupación.

Tratamientos	N° de personas	Duncan ($P < 0,05$)	
		DAP promedio (S/.)	Significación
Estudiantes	95	2904,55	a
Agricultores	90	5106,71	a
Otros	40	5765,58	a
Turistas	60	22606,06	b
Comerciantes	75	26833,30	b
Profesionales	90	43636,36	c

Fuente: Presente estudio

* Nivel de significación: 5%

S/. 11038,76 por ha.... Promedio DAP entre los 450 pesonas entrevistadas

Clasificados los entrevistados según ocupación (Cuadro 9 y Anexo 9), se realizó la prueba de rangos múltiples de Duncan a una $P < 0,05$ (Cuadro 8), donde los profesionales determinaron el mayor promedio de DAP con S/. 43 636,36 por ha, superando estadísticamente a los grupos de Comerciantes (S/. 26 833,3), Turistas (22 606,06), Otros (S/. 5 765,58), Agricultores (S/. 5 106,71) y Estudiantes (S/. 2 904,55). Mediante una prueba de comparación de promedios se determinó que los agricultores junto a los estudiantes y otros son los que tienen una disposición a pagar más baja y significativamente distinto a los turistas, estudiantes, comerciantes y profesionales.

4.8.3. Valor de Legado (VL)

En éste valor, se considera la pretensión al sistema agroforestal para promover su protección y conservación y garantizar que sus generaciones futuras puedan gozar usándolo de igual forma como lo hacen ellos actualmente. El VL se estimó en S/. 5 658,4 por hectárea (S/. 3 505 378,8 en toda la cuenca) (Cuadro 16). Éste monto es el promedio de las disposiciones de pago a futuro (DAPF) de 450 personas entrevistadas, entre peruanos y extranjeros; la pregunta específica fue: Usted, pensando en sus hijos, nietos y otras generaciones futuras ¿cuánto estaría dispuesto a pagar por una hectárea de un Sistema Agroforestal? La DAPF varió desde S/. 100,0 hasta S/. 33 000,0 lo cual expresa una variabilidad alta de S/. 6 710,8 (desviación estándar promedio) (Anexo 10),

Cuadro 16

Prueba de Duncan ($P < 0,05$) para la disposición de pago a futuro (DAPF) según ocupaciones

Tratamientos	N° de personas	Duncan ($P < 0,05$)	
		DAP promedio (S/.)	Significación
Otros	40	2104,5	a
Agricultores	90	3906,8	a
Estudiantes	95	4077,3	a
Comerciantes	75	4431,8	a
Profesionales	90	8012,0	b
Turistas	60	11418,2	b
Promedio general		5658,4	

Fuente: Presente estudio

* Nivel de significación: 5%

Del mismo modo, como en los casos anteriores, al clasificar las disposiciones de pago a futuro (DAPF) por ocupaciones se determinó las diferencias significativas de los promedios, donde el grupo de turistas y profesionales son los que mayor DAPF tuvieron con S/. 11 418,2 y S/. 8 012,0 superando estadísticamente a los grupos de Comerciantes, Estudiantes, Agricultores y otros, quienes determinaron promedios de DAPF de S/. 4 431,8 ; S/. 4 077,3 ; S/. 3 906,8 y S/. 2 104,5 respectivamente.

5.8.4. Estimación del valor de existencia (VE)

Este valor es un beneficio intangible, que se deriva de la mera existencia del sistema agroforestal o del bosque como tal, independientemente de los valores de uso (presentes o futuros) que se deriven de él. Es decir, surge de la DAP de la gente, simplemente para saber que existe la diversidad biológica. Éste valor indica la disposición a aportar de las personas o instituciones interesadas en la conservación de los bosques.

Cuadro 17*Cooperación internacional y proyectos desarrollados en la cuenca*

Entidad ejecutora	Nombre del proyecto	Monto (\$)	N° has	Año
Centro de estudios amazónicos (CEA)	Protección y conservación de bosques en la parte alta de microcuenca de Shilcayo y Ahuashiyacu	46 000,00	100	2001 - 2002
Centro de desarrollo e investigación de la selva alta (CEDISA)	Manejo, conservación y desarrollo productivo de los recursos naturales en la cuenca de Cumbaza	1 212 000,00	500	1997 - 2001
Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo (PHCBM)	Reforestación con 80 mil plantones de especies forestales	61 871,70	200	1997 a 2000
Centro de desarrollo e investigación de la selva alta (CEDISA)	Pago por servicios ambientales hídricos para la conservación de bosques y alivio de la pobreza	376 201,00	Toda la cuenca (57 770 has)	2012 - 2014
Centro de desarrollo e investigación de la selva alta (CEDISA)	Facilitando la implementación de un mecanismo de Pago por servicios hídricos para la conservación de bosques	50 000,00	Toda la cuenca (57 770 has)	2015 - 2016
Centro de desarrollo e investigación de la selva alta (CEDISA)	Fortalecimiento al desarrollo resiliente al clima en paisajes urbano – rurales bajo un enfoque de nexo agua energía y alimentos	266 000,00	Toda la cuenca (57 770 has)	2016 - 2017
Proyecto Huallaga Central y Bajo Mayo (PHCBM)	Recuperación de los servicios ecosistémicos de provisión hídrica y de control de erosión de suelos.	10 606 060,00	3160	2017 - 2020
Centro de desarrollo e investigación de la selva alta (CEDISA)	Proyecto Cumbaza Resiliente al Clima	83 330,0	Toda la cuenca (57 770 has)	2015 - 2018
Total		12 701 462,70	57 770,00	
Cuenca = 57,770.00 has	Valor de existencia (\$)	219,86		
	Valor de existencia (S/.)	725,54		

Fuente: CEDISA, CEA y PEHCBM

Se estimó en \$ 219,86 por hectárea (\$12 701 462,7 / 57 770 has), lo que equivale a S/. 725,54 por hectárea (tc = 3.30). Para estimar el VE se ha considerado las aportaciones de la cooperación internacional para el desarrollo de los proyectos dirigidos al manejo y conservación de bosques, dentro de la cuenca del Río Cumbaza (Cuadro 17).

4.9. El beneficio económico por captura de carbono en sistemas no agroforestales versus los sistemas agroforestales evaluados.

Se consideran los resultados de trabajos de investigación en arroz bajo riego en San Martín. Donde **Chavez F. y Chappa C.E. (2003)**, quienes estimaron una tasa de captura de carbono en la biomasa aérea de 4.9 t C.ha⁻¹ en el monocultivo de

maíz amarillo duro (*Zea mays*) en una campaña, similar a lo estimado en el mismo cultivo por **Bartra C.A. y Chappa C.E. (2003)** con 4.05 t C.ha⁻¹, así mismo, **Flores W. y Chappa C.E. (2004)**, estimaron en 7.3 t C.ha⁻¹ en el monocultivo de arroz bajo riego (*Oryza sativa*).

Consideramos un promedio de 5,42 t C.ha⁻¹ en sistemas productivos no agroforestales (maíz seco y arroz bajo riego), considerando además que la quema de los rastrojos después de las cosechas en los cultivos de campaña es una práctica común, lo que los hace vulnerables al proceso de captura de carbono, devolviéndolos nuevamente a la atmosfera, por lo que consideramos que la captura de C capturado es momentáneo con un valor económico de 128,16 S/ha⁻¹ (5,42 x 23,661 S/), en comparación con los sistemas agroforestales que son sistemas productivos permanentes y que van secuestrando al C permanentemente en su proceso de crecimiento y desarrollo.

4.10. Estimación del Valor Económico Total de los sistemas agroforestales en la cuenca

Siendo la ecuación del cálculo del valor económico total:

VET = (VUD+VUI+VOP+VCO+VL) + (VE), entonces:

$$\text{VET en toda la cuenca} = (270\,777,04 + (6\,938\,258,1345 + 13\,689\,980,7) + 2\,537\,131,175 + 9\,231\,014,625 + 3\,505\,378,8) + (41\,914\,445,8)$$

$$\text{VET en toda la cuenca (S/)} = 78\,086\,986,2745$$

$$\text{VET en toda la cuenca (S\$)} = 23\,662\,723,113$$

$$\text{VET.ha}^{-1} = (437,089 + (11,199 + 195\,766,72) + 4\,095,45 + 14\,900,75 + 5\,658,4) + 725,54$$

$$\text{VET.ha}^{-1} \text{ (S/)} = 220\,995,0$$

$$\text{VET.ha}^{-1} \text{ (S\$)} = 66\,968,18$$

4.11. El beneficio económico de los sistemas agroforestales frente al beneficio económico de la conservación.

El beneficio económico ambiental por secuestro de C es de 220 995,0 S/.ha⁻¹ y el beneficio económico de la conservación es de S/. 725,54 por hectárea.

4.12. Instrumento económico para contribuir a detener el incremento de la deforestación y a la promoción de los sistemas agroforestales.

La alteración de los ecosistemas a partir de La deforestación y la degradación del suelo son amenazas de magnitud incalculable para el desarrollo económico, la seguridad alimentaria y el cambio climático de la región San Martín.

La agroforestería es una alternativa técnica que permite el uso permanente de un terreno agrícola, aprovechando el terreno de una manera más eficiente. La agricultura migratoria con el manejo agrícola de monocultivos en San Martín aprovecha un terreno tres a cuatro años, no obstante, un sistema agroforestal permite la producción por al menos quince años incluso más de treinta años. Así como un agricultor tiene ingresos anuales migrando (agricultura migratoria), el sistema agroforestal produce también ganancias anuales y aprovecha el terreno de una manera permanente, con la producción de varias especies (cultivos anuales, cultivos permanentes, especies forestales). Esta forma de producción tiene como ventaja económica que el agricultor no gasta en mano de obra para el rozo, tumba y quema, disminuyendo la deforestación, capturando carbono, oxigenando el aire, refrigerando el ecosistema y contribuyendo a la reducción de las emisiones carbono y mitigando el cambio climático

Los resultados de trabajos de investigación en el secuestro de carbono en la biomasa aérea del monocultivo de arroz bajo riego en San Martín, reportados por **FLORES y CHAPPA (2004)**, determinaron un promedio de 2,63 t.ha⁻¹ de Carbono y en el monocultivo de maíz fue de 4,32 t.ha⁻¹ de Carbono, reportado por **BARTRA y CHAPPA (2003)**, cuyos rastrojos de cosecha en general son quemados en el mismo campo permitiendo que estos gases vuelvan a la atmósfera. Es preciso indicar, además que **BAZAN y CHAPPA (2003)**, en su evaluación sobre la cuantificación de las reservas de carbono en la biomasa aérea en cuatro especies de pastos, indican que en *Brachiara decumbes* y *Brachiara brizanta* se

obtuvieron 2,41 y 2,7 t.ha⁻¹ de Carbono respectivamente, sistema de uso de la tierra que para mejorar la calidad de las pasturas y control de plagas son sometidos a la quema de los potreros y por lo tanto el retorno del CO₂ a la atmósfera. Los resultados de las investigaciones indicadas permiten considerar a la agroforestería como un sistema de uso de la tierra alternativa a los monocultivos a mediano plazo, siendo más rentables económica y ambientalmente.

Para cuantificar la disminución de la deforestación intervienen muchos factores, por eso una simple estimación del descenso de la deforestación por el fomento de la agroforestería es una proyección de la realidad extensa y compleja. En tal sentido, Reinders *et al.* (2003), en la implementación y desarrollo de 295 has con sistemas agroforestales en la cuenca del Cumbaza, estimó la fijación de 309,750 t de CO₂ durante un período de 15 años. Esta cantidad de CO₂ es equivalente a la emisión de un avión con vuelos diarios de Lima a Europa, durante 15 meses (194,400 t de CO₂.año⁻¹). El vuelo Lima Tarapoto de un Boeing con capacidad para 120 pasajeros genera una emisión de 10.8 t de CO₂, la misma que podría ser compensada con un impuesto de US \$ 0.36 a cada pasaje para ser invertido en agroforestería, de tal manera que la emisión sea igual a la fijación (CO₂ neutral), es por lo tanto de necesidad fundamental reducir la deforestación.

La agroforestería se constituye así en una alternativa al problema de la deforestación, por lo que el impuesto al tráfico aéreo podría constituirse en una fuente de recursos financieros para el fomento de la agroforestería. Así mismo, **REINDERS *et al.* (2003)**, determinó un factor de retraso de la deforestación con un valor de 3, debido a la práctica de la agroforestería, sustentado que los sistemas agroforestales producen por los menos 12 años dividido entre los años de uso de una chacra tradicional por 4 años, determinando así el factor de retraso. Es decir, que por cada hectárea de un sistema agroforestal las actividades agrícolas antrópicas respecto a la deforestación se retrasan en 3 hectáreas menos de bosques deforestados. Para el estudio se tomó el enfoque de incentivos de mercado, y como instrumento, la de instrumento económico impositivo. Para efectos de afectación se consideró el mecanismo (concepto) de Pago por Servicios Ambientales del Bosque (PSAB).

4.13. Impuesto Ecológico sobre el Valor Agregado (IVA)

Para este impuesto se consideraron los beneficios de mayor importancia que proporciona los ecosistemas agroforestales (agroforestería) dentro de la cuenca hidrográfica de Cumbaza, referida específicamente al servicio de regulación de la calidad y cantidad de escurrimiento de agua. Puesto que el agua abastece a las familias apostadas en toda la cuenca del Río Cumbaza y especialmente a las familias ubicadas río abajo, tanto para consumo humano como para las actividades productivas. La recaudación de los pagos la denominamos como Impuesto Ecológico sobre el Valor Agregado (IVA), debido a que la transformación de impuestos a tarifa a usuarios de agua potable y de otros usos permitirá que la incidencia del impuesto caiga sobre el beneficiario del bien público, y que su financiamiento para la conservación sea obtenida de la suma de aquellas tarifas; es decir, los fondos se obtendrán de una cuota cobrada en su factura mensual a todos los usuarios en promedio de agua potable (Cuadro 20), los usuarios de agua para riego por 3 565 hectáreas (promedio) (Cuadro 21) y usuarios de agua para piscigranja por 156,1 hectáreas (promedio) (Cuadro 22).

El mecanismo de compensación a todos los usuarios o tenedores de tierras aguas arriba (personas que habitan en la zona alta de la cuenca) sería, mediante el pago directo o por crédito de los fondos recaudados del IVA, para consolidar la aplicación de planes de gestión en la cuenca: la reforestación, forestación o agroforestería.

Propuesta de recaudación del IVA

A continuación se presenta el cuadro resumen de pagos (canon) desde el 2008 hasta el 2016, el mismo, que muestra una recaudación desde S/. 14 193 198,06 en el 2008 hasta S/. 9 008 412,56 en el 2016 con una disminución de la recaudación de 36,53% debido al crecimiento demográfico y la expansión urbana. Este hecho, se ha venido dando desde el año 2003, cuando **GARCIA (2006)**, reporta que en ese año se pagó solo por derecho del uso de agua o captación de agua (canon) al Distrito de Riego – Tarapoto la cantidad, en promedio, de S/. 19 454,16 anuales

Cuadro 18

Resumen de pagos (canon) desde el 2008 hasta el año 2016.

Año	EMAPA (S/.)	Junta de usuarios (S/.)	Piscicultores (S/.)	Total (S/.)
2008	13 974 672,42	200 502,74	18 022,90	14 193 198,06
2009	13 390 491,74	251 929,24	22 673,63	13 665 094,62
2010	12 156 911,36	274 891,62	24 740,25	12 456 543,22
2011	11 195 471,63	297 659,48	26 915,52	11 520 046,63
2012	10 376 508,19	281 965,22	25 496,38	10 683 969,79
2013	10 002 478,72	368 156,68	30 604,68	10 401 240,08
2014	9 260 875,95	386 276,47	32 353,88	9 679 506,30
2015	8 859 458,16	406 394,19	34 047,14	9 299 899,49
2016	8 521 580,43	448 729,50	38 102,64	9 008 412,56

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Garcia (2006)

4.14. Situación propuesta

Para los consumidores de agua potable, se propone un incremento de S/. 0.5 mensual o S/. 6.0 anuales a cada usuario final; por el uso de agua para riego y piscigranja se propone un incremento de S/. 1.00 mensual o S/. 12.00 anuales. La estimación del IVA se muestran en los cuadros 13, 14 y 15.

Cuadro 19

Estimación del Impuesto ecológico sobre el Valor Agregado, (IVA) de agua para consumo humano.

Año	IVA	Nro de usuarios	Importe para el usuario (S/.)
2008	168 156,0	28026,00	6,00
2009	176 008,9	29334,81	6,00
2010	184 228,5	30704,75	6,00
2011	192 832,0	32138,66	6,00
2012	201 837,2	33639,54	6,00
2013	211 263,0	35210,50	6,00
2014	221 129,0	36854,83	6,00
2015	231 455,7	38575,95	6,00
2016	242 264,7	40377,45	6,00
Promedios	203 241,7	33 873,61	

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Garcia (2006)

* Tasa de crecimiento de 0.0467.

Cuadro 20

Estimación del Impuesto ecológico sobre el Valor Agregado, (IVA) de agua para riego.

Año	IVA	Nro de hectareas	Importe para el usuario (S/.)
2008	42 780,0	3565	12,00
2009	42 780,0	3565	12,00
2010	42 780,0	3565	12,00
2011	42 780,0	3565	12,00
2012	42 780,0	3565	12,00
2013	42 780,0	3565	12,00
2014	42 780,0	3565	12,00
2015	42 780,0	3565	12,00
2016	42 780,0	3565	12,00
Promedios	42 780,0	3 565	

Fuente: Elaboración propia. Adapatado de Garcia (2006)

Cuadro 21

Canon, que aportaría el Distrito de riego y la Junta de usuarios

Año	IVA una parte de canon	Nro de hectareas	Importe para JU y DR (S/.)**
2008	24 955,0	3565	7,00
2009	24 955,0	3565	7,00
2010	24 955,0	3565	7,00
2011	24 955,0	3565	7,00
2012	24 955,0	3565	7,00
2013	24 955,0	3565	7,00
2014	24 955,0	3565	7,00
2015	24 955,0	3565	7,00
2016	24 955,0	3565	7,00
Promedios	24 955,0	3 565,00	

Fuente: Elaboración propia. Adapatado de Garcia (2006)

* Promedio de 2008 a 2016.

** Aportes: Actualmente el Distrito de riego = S/. 2.0 y Junta de usuarios = S/. 5.0.

Cuadro 22

Estimación del Impuesto ecológico sobre el Valor Agregado, (IVA) de agua para piscigranja.

Año	IVA	Nro de hectareas	Importe para el usuario (S/.)
2008	1 872,8	156,1	12,00
2009	1 872,8	156,1	12,00
2010	1 872,8	156,1	12,00
2011	1 872,8	156,1	12,00
2012	1 872,8	156,1	12,00
2013	1 872,8	156,1	12,00
2014	1 872,8	156,1	12,00
2015	1 872,8	156,1	12,00
2016	1 872,8	156,1	12,00
Promedios	1 872,8	156,07	

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Garcia (2006)

Cuadro 23

Resumen del Impuesto ecológico sobre el Valor Agregado (IVA).

Año	IVA agua consumo humano (S/.)	IVA agua riego (S/.)	IVA agua piscigranja (S/.)	IVA agua JU y DR (S/.)	Total
2008	168 156,0	42 780,00	1 872,80	24 955,00	237 763,80
2009	176 008,9	42 780,00	1 872,80	24 955,00	245 616,69
2010	184 228,5	42 780,00	1 872,80	24 955,00	253 836,30
2011	192 832,0	42 780,00	1 872,80	24 955,00	262 439,77
2012	201 837,2	42 780,00	1 872,80	24 955,00	271 445,02
2013	211 263,0	42 780,00	1 872,80	24 955,00	280 870,82
2014	221 129,0	42 780,00	1 872,80	24 955,00	290 736,80
2015	231 455,7	42 780,00	1 872,80	24 955,00	301 063,53
2016	242 264,7	42 780,00	1 872,80	24 955,00	311 872,51
Total					2 455 645,2

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Garcia (2006)

Los valores anuales que se muestran en el cuadro 23, nos demuestran la posibilidad de obtener fondos para el incentivo o financiamiento a favor de la recuperación o conservación de los bosques a través de la práctica de la agroforestería; acumulativamente indica que en los últimos 10 años (2008 – 2016) se lograría un financiamiento de S/. 2 455 645,2 de soles aproximadamente.

Cuadro 24

Financiamiento y número de hectáreas instaladas con Agroforestería.

Año	Total IVA (financiamiento)	*Costo de instalación. Agroforestería (S/.)	Hectareas instaladas
2008	237 763,80	3 935,94	60,41
2009	245 616,69	3 935,94	62,40
2010	253 836,30	3 935,94	64,49
2011	262 439,77	3 935,94	66,68
2012	271 445,02	3 935,94	68,97
2013	280 870,82	3 935,94	71,36
2014	290 736,80	3 935,94	73,87
2015	301 063,53	3 935,94	76,49
2016	311 872,51	3 935,94	79,24
Promedio	272 849,5	3 935,9	69,32

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Garcia (2006)

* Tomado del Anexo 7.

Con el financiamiento planteado se hace posible la instalación promedio de 69,32 hectáreas anuales o 346,6 hectáreas de sistemas agroforestales en 5 años (cuadro 24). Esta situación se viene convirtiendo en un problema ambiental con posibles resultados sociales negativos, puesto que **GARCIA (2006)**, reportó que en esta misma cuenca se podía reforestar 161.87 hectáreas anuales o 809.35 hectáreas en los 5 años, lo que representa un reducción del 57,17% a la actualidad. Así mismo, la modalidad de la asignación de los fondos (incentivos), puede ser por compensación directa o un crédito con una tasa de interés preferencial, lo determinará la autoridad correspondiente; se sugiere que sea mediante un crédito con una tasa preferencial.

Finalmente, a los fondos mencionados anteriormente, se le puede agregar otros pagos por servicios del bosque (PSAB), por ejemplo, referido a la capacidad del bosque de secuestrar carbono, refrigeración y oxigenación de los ecosistemas debido a que éstos son servicios ambientales que tiene un impacto global positivo respecto al cambio climático.

CONCLUSIONES

- a) El carbono promedio estimado en los sistemas agroforestales de cuenca media y cuenca alta del Río Cumbaza fue de 21,551 t.ha⁻¹ y 15,395 t.ha⁻¹ respectivamente. Así mismo, el agua transpirada y el oxígeno liberado variaron entre 35,761 a 50,061 t agua utilizada.ha⁻¹ y de 21,168 a 29,633 t oxígeno liberado.ha⁻¹ respectivamente.
- b) El valor económico total de los sistemas agroforestales en la cuenca del Río Cumbaza es de S/. 78 086 986,2745 (S\$ 23 662 723,113) y el VET promedio por hectárea es de S/. 220 995,0 (S\$ 66 968,18)
- c) El beneficio económico ambiental por secuestro de C en los sistemas agroforestales contribuye en 220 995,0 S/.ha⁻¹ frente al beneficio económico de la conservación de S/. 725,54 por hectárea y es comparativamente superior a los sistemas no agroforestales.
- d) El Impuesto ecológico sobre el valor agregado (IVA), se estimó en S/. 2 455 645,2 para 9 años (2008 a 2016) o S/. 272 849,5 anuales, con éste monto anual se propone el instrumento económico en la instalación de 69,32 ha.año⁻¹ ó 346.6 ha de sistemas agroforestales en 5 años en la cuenca del Río Cumbaza.

RECOMENDACIONES

- a) Implementar políticas ambientales que brinden a la población local beneficios sobre la práctica de la agroforestería en las zonas de amortiguamiento del Área de Conservación Regional “Cordillera Escalera” en general y de los bosques de la Cuenca del Río Cumbaza en particular, para garantizar el uso sostenible de los recursos naturales y asegurar sus beneficios a las generaciones futuras en la Región San Martín.

- b) Generar estudios en este tipo en ecosistemas agroforestales en las zonas de amortiguamiento de áreas naturales protegidas de la Región San Martín, con el objetivo de ampliar la información sobre los servicios ecosistémicos que nos brindan, considerando variables ambientales como temperatura, precipitación pluvial, humedad relativa, evapotranspiración potencial, respiración y transpiración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M.; K. Quednow, K; Etchevers, J. y Monreal, C. (2001). Un método para la medición del Carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. INFAP. Colegio de Postgraduados, México. In: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 11 p. disponible en www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/08_Acosta.PDF
- Acosta MM, HJ Vargas, MA Velázquez, J Etchevers. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36(6): 725-736.
- Aguilar-Amuchastegui, N.; Funk, J.; AshleyCantello, W.; Evans, T.; Griffin, B.; Bush, J.; Chuvasov, E.; Harris, N.; Phillips, O. L.; Soares, M.; Van Der Hoff R.; Petersen, K. (in review) Securing the climate benefits of stable forests. *Climate Policy*
- Alegre, J., Ricse A, Arévalo, Barbarán J, Palm C. (2000). Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo 12:8-9.
- Alegre, J., Arévalo, L., Ricse, R. (2002). Reservas de Carbono con Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en dos Sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF/INIA. Perú. Virtual centre, Disponible en: www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe7.htm.
- Alegre, J. (2008). Manejo de sistemas agroforestales para la recuperación de los suelos degradados de la Amazonía y generación de servicios medio ambientales. En: XI congreso Nacional y IV Internacional de la Ciencia del Suelo. "Suelos: Agricultura Sustentable, Biodiversidad y Agroforestería para el Desarrollo Rural". Tarapoto-Perú.34-50 p.
- Alvarez Z., C. (1955). Metodología de la investigación científica. Soporte digital. 1995

- Andrade, H. J. (2003). Growth and inter-specific interactions in young silvopastoral systems with native timber trees in the dry tropics of Costa Rica. Tesis PhD. Turrialba, Costa Rica. CATIE University of Wales. 224 pp.
- Araujo T M, N Higuchi, JA de Carvalho Junior. (1999). Comparison of formula for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Par. Brazil. *Forest Ecology and Management* 117: 43-52
- Arévalo, L., Alegre, J., Palm, C. (2003). Manual de las Reservas Totales de Carbono en los Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en Perú. Publicación de STC - CGIAR Ministerio de agricultura. Pucallpa, Perú. 24 pp.
- Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Killeen, T., Laurance, S.G., Laurance, F.W., Lewis, S.L., Lloyd, J., Monteagudo, A., Neill, D.A., Patiño, S., Pitman, N.C.A., Silva, N. & Vásquez Martínez, R. (2004). Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology* 10: 1-18.
- Baker, T.R.; Jones, J.P.G.; Rendón Thompson, O.R.; Cuesta, R.M.R.; Del Castillo, D.; Aguilar, I. C.; Healey, J.R. (2010). How can ecologists help realise the potential of payments for carbon in tropical forest countries? *Journal of Applied Ecology*, 47: 1159-1165.
- Baker, T.R.; Phillips, O. L.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Di Fiore, A. et al. (2004b). Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B: Biological Sciences*, 359: 353-365. Baker, T.R.; Phillips, O. L.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Di Fiore, A. et al. 2004. Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B: Biological Sciences*, 359: 353-365.
- Barbarán G., J. (1998). Determinación de biomasa y carbono en los principales sistemas de uso del suelo en la zona de Campo Verde. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa, Ucayali, Perú. 54 p.

- Bartra G.; C. A. y Chappa S.M.; C.E. (2003) Efecto de la fertilización nitrogenada en el secuestro de carbono de la biomasa aérea del cultivo de maíz (*Zea mays*) M-28T en la E.E. “El Porvenir”. INIA. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto. Pgs 42,43,42. 67 p.
- Bateman, I., A. Lovett y J. Brainard. (2003). *Applied environmental economics: a GIS approach to cost/benefit analysis*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Barbier, E., M. Acreman y D. Knowler. (1997). *Valoración Económica de los Humedales, guía para decisores y planificadores*. Oficina de la Convención Ramsar. Gland.
- Bartra G.; C.A. y Chappa S.M.; C.E. (2003). Efecto de la fertilización nitrogenada en el secuestro de carbono de la biomasa aérea del cultivo de maíz (*Zea mays*) M-28T en la E.E. “El Porvenir” – INIA. Tesis. Universidad Nacional de San Martín. Facultad de Ciencias Agrarias. Pg 42. 67 p.
- Begon M, J Harper, CR Townsend. (1996). *Ecology: individuals, populations and communities*. Oxford, UK. Blackwell Scientific Publications. 876 p.
- Brienen, R.J.; Phillips, O.L.; Feldpausch, T.R.; Gloor, E.; Baker, T.R.; Lloyd, J. et al. (2015). Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature*, 519: 344-348.
- Brown, S.; Gillespe, A & Lugo, A.E (1989). Biomass estimation for tropical forest with applications to forest inventory data. *Revista Forest Science*, 35(4), 881 – 902.
- Brown S. (1996). Mitigation potential of carbon dioxide emission by management of forest in Asia. *Ambio* 25(4): 273-278.
- Brown, P. (1998). *Climate, biodiversity and forests: issue and opportunity emerging from the Kyoto protocol*. World Resources Institute (WRI, US).

- Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Department of Natural Resources and Environmental Sciences University of Illinois. Illinois USA: a primer. FAO Forestry Paper. 134 (1): 50-55.
- Budowski B. (1999). Secuestro de carbono y gestión forestal en América Tropical. Bosques y Desarrollo. Abril 20-21: 17-20.
- Carnegie Institution for Science, MINAM. (2015). The High-Resolution Carbon Geography of Perú. 69pp.
- Castro, R.; Cordero, S. y Acevedo, C., (2002). Casos latinoamericanos de cambio climático y desarrollo. San José: Copieco de San Pedro 320 p. 63.
- CEDISA (2002). Mapa base generado en formato digital por el Centro de Desarrollo e Investigación de la Selva Alta (CEDISA).
- CEDISA (2106). Proyecto Cumbaza resiliente al clima. Centro de Desarrollo e Investigación de la Selva Alta. 29p.
- CEDISA – IICA (2011). Pago por servicios ambientales hidricos para la conservación de bosque y alivio a, región San Martín. Informe final. Proyecto Financiado por el Ministerio Para Asuntos Exteriores de Finlandia.
- Caillez, F. (1980). Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/016/ap353s/ap353s00.pdf>
- Chave, J., Riéra, B. & Dubois, M.A. (2001). Estimation of biomass in a Neotropical forest of French Guiana: Spatial and temporal variability. *Journal of Tropical Ecology* 17: 79-96.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B. & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87–99.

- Chavez B.; F. y Chappa S.M.; C.E. (2003) Estimación de la captura de carbono en cuatro especies de pasturas y uno de maiz como testigo en Cuñumbuque – San Martín. Tesis. Universidad Nacional de San Martín. Facultad de Ciencias Agrarias. Pg 40. 53 .
- Ciesla WM. (1996). Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Roma, Italia. FAO. 147 p. (Estudio FAO Montes N° 126).
- Concha J., Alegre J y Pocomucha V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao L.* en el departamento de San Martín, Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. Artículo científico. 8 p.
- De Groot, R., M. Stuij, M. Finlayson y N. Davidson. (2007). Valoración de los Humedales. Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales. Informe Técnico Ramsar. Número 3. Número 27 de la serie de publicaciones técnicas del CDB.
- Davodov, V. (1988). La enseñanza escolar y el desarrollo psíquico. Editorial Progreso, Moscú.
- Dauber E, J Terán, R Guzmán (2008). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. Revista Forestal Iberoamericana 1(1):1-10. Consultado 25 nov. 2008. Disponible en <http://www.revforiberoamericana.ula.ve/archivos/DOC2.pdf>
- Díaz Ch., P.; Fachin R., G; Tello S., Ch. y Arévalo L., L. (2016). Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú. RINDERESU Vol. 1 (2): 57-67 (2016). Revista internacional de desarrollo regional sustentable. 11 p.
- Díaz F., S.X. y Molano M., M.A. Cuantificación y valoración económica de la captura de CO₂ por plantaciones del género eucalipto establecidas por el Preca en las cuencas carboníferas de Cesar, valle del Cauca-Cauca y Altiplano

Cundiboyacense. Revista Forestal Iberoamericana Vol. 1 N^a 1
<http://www.forest.ula.ve/rforibam/archivos/DOC12.pdf>. 11 p.

Dixon, R. K.; Schroeder, P. E.; Winjum, J. K. (1991). Assessment of promising forest management practices and technologies for enhancing the conservation and sequestration of atmospheric carbon and their costs at the site level. Corvallis, Or (EUA). 100 p.

Dixon A.; Scura F.; Carpenter A.; Sheman B. (1994). Análisis económico de impactos ambientales. In Desarrollo ambiental y el papel del análisis económico. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 249p.

Dixon K. (1995). Sistemas agroforestales y gases de invernadero. Agroforestería en las Américas 2(7): 22-26.

Encalada R; G.L. (2006). Pago por servicios ambientales (PSA) del recurso hídrico como una alternativa de conservación. Tesis. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales – FLACSO. Programa de Maestría en Economía. Especialización Economía Ecológica. Pg 8-11. 49p.

Enciclopedia de Clasificaciones (2017). "Tipos de ciencias"

FIP, (2013). Borrador marzo 2013; Nature Services Perú, adoptado de Chomitz et al., 2006 y Angelsen et al., 2007

Flores F.; W. y Chappa S.M.; C.E. (2004). Efecto de la fertilización nitrogenada en el secuestro de carbono de la biomasa aérea del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) bajo riego al trasplante en la E.E. "El Porvenir" – INIA – Juan Guerra. Tesis. Universidad Nacional de San Martín. Facultad de Ciencias Agrarias. Pg 29. 56 p.

Francis JK. (2000). Estimating biomass and carbon content of saplings in Puerto Rican secondary forests. Caribbean Journal of Science 36(3-4): 346-350.

Fonseca G. W.; Federico Alice G. F. y Rey B. J.M. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica.

- Fundación Bustamante de la Fuente (2010). Cambio climático en el Perú. Amazonía. Fundación M.J. Bustamante de la Fuente. Pg 22. 141p.
- Fundación para la Conservación de las Especies y el Medio Ambiente – FUCEMA (2001). Valoración de los Bosques, revisión, evaluación, propuestas. Informe Final, Mayo 2001.
- Gamarra, J. (2001). Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucaliptus globulus* Labill en Junín, Perú. En: Simposio Internacional de Medición y captura de carbono en ecosistemas forestales del 18-21 de Octubre- Valdivia-Chile . 21 p.
- García B; A.M. (2006). Valor económico total de bosque y el instrumento económico para su conservación en la cuenca del Río Cumbaza – Región San Martín. Tesis doctoral. Universidad Nacional Federico Villarreal. Escuela de post grado. Pg. 65, 66. 158 p.
- García R.; L. A. y Chappa S.M.; C.E. (2010). Evaluación del impacto ecológico y económico de los sistemas agroforestales instalados en la cuenca alta, media y baja del Río Cumbaza - Región San Martín – Perú. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Martín. Artículo científico. 22 p.
- Gaillard C, M Pece, M Juárez (2002). Biomasa aérea de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) en dos localidades del Parque Chaqueño Seco. Revista Ciencias Ambientales - Quebracho 9: 116-127.
- Gayoso, J.; Schlegel, A. (2001). Guía para la formulación de proyectos forestales de carbono. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF “Captura de Carbono”. 15p.
- Geo Bosques (2018). Plataforma de monitoreo de cambios sobre la cobertura de los bosques. Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático. <http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/index.php>. Visitante N° 46399.

- Gobierno del Estado de Chiapas-Secretaría de Desarrollo Rural. (2006). Agroforestería. Guía de extensionista forestal II. 15 p.
- González D. y Rodríguez C. (2010). Valoración del Servicio Ambiental Secuestro de Carbono (Zona Central de la Reserva Forestal Imataca, Estado Bolívar, Venezuela). Eighth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2010) "Innovation and Development for the Americas", June 1-4, 2010, Arequipa, Perú. 11 p.
- Gobierno Regional de San Martín – GORESAM. (2014). Análisis Económico del Impacto del Desarrollo Alternativo, en relación a la Deforestación y la Actividad Cocalera. Pgs 10, 43. 105 p.
- Grassi G., House J., Dentener F., Federici S., Elzen M.d. and Penman J. (2017). The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change*, 7, 220-226.
- Guía de Valoración Económica del Patrimonio Natural (2014). Resolución Ministerial N° 709 del 29 diciembre 2014. Ministerio del Ambiente.
- Harold W. Hocker Jr. (1984). Introducción a la Biología Forestal *A.G.T Editores* 433 p.
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (1999). Metodología de la Investigación – segunda edición. Mc Graw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. 06450 México D.F. 501 p.
- Hilborn, R. y M. Mangel (1997). The ecological detective: confronting models with data. Princeton UP. 5p.
- Houghton R.A., (1999). The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use. *Tellus* 50B, 298-213.
- Houghton R.A. (2003). Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000. *Tellus* B 55 B:378-390.

- Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A., (Edits.), (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- House J.I., Prentice I.C., Ramankutty N., Houghton R.A., Heimann M. (2003). Reconciling apparent inconsistencies in estimates of terrestrial CO₂ sources and sinks. *Tellus* 55b, 345-363.
- Husch, B.; Miller, C.I. y Beers, T.W. (1982). *Forest mensuration.* John Willey and Sons: New York.
- Ignacio Varas, Juan (1997). *Economía del Medio Ambiente en América Latina*, Artículo en Libro de IGNACIO VARAS, Juan. 7 Pág. 132.
- IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2001). *Climate Change 2001: Synthesis Report. IPCC Third Assessment Report (TAR). A Report of the IPCC.* WMO UNEP. Geneva, Switzerland. 184 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.* Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES) - IPCC. 628 p.
- IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2005) *La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Resumen para responsables de políticas.* Informe del Grupo de trabajo III del IPCC. *Editores:* Bert Metz, Ogunla de Davidson, Heleen de Coninck, Manuela Loos, Leo Meyer. 66 p.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2002). *Climate Change and Biodiversity.* WMO-UNEP. Geneva, Switzerland. 77 p.
- IPCC. (2000) *Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Special Report: Land Use, Land Use Change and Forestry.* Cambridge University Press.
- Jauregui V.; K. F. (2016) *Ecuaciones alométricas para estimar volumen y biomasa aérea de *Enterolobium cyclocarpum* y *Ceiba pentandra* en la Escuela Agrícola*

- Panamericana Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 33p.
- Jordan CF, C Uhl. (1978). Biomasa of a “tierra firme” forest of the Amazon Basin. *Oecologia Plantarum* 13(4): 387-400.
- Kanninen M. (2000). La agroforestería en el nuevo siglo: retos y perspectivas. *Agroforestería en las Américas* 7(26):4.
- Klinge H, R Herrera. (1983). Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in Southern Venezuela: The tall Amazon Caatinga Forest. *Vegetatio* 53: 65-64.
- Krishnamurthy L. y Miguel Uribe Gómez, M. (Eds). (2002). *Tecnologías Agroforestales para el Desarrollo Rural Sostenible*. PNUMASEMARNAT. Primer edición 2002. ISBN 968-7913-22-3. Impreso y hecho en México. México. pp 159 - 162.
- 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(1,2), 2004. ISSN 1726-2216. Depósito legal 2002-5474. 10 p.
- Larrea A; G. C. (2007) Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao L.* y determinación de la ecuación alométrica para el cacao. Tesis para optar el título de ingeniera ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina – Facultad de ciencias Agrarias - Departamento de Ingeniería Ambiental. 146 p.
- Lewis, S.L.; Lopez-Gonzalez, G.; Sonké, B; AffumBaffo, K.; Baker, T.R.; Ojo, L.O. et al. (2009). Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature*, 477, 1003-1006
- Ley N° 29763 – Ley Forestal y de Fauna Silvestre y sus reglamentos. (2015). *Bosques Productivos para la vida*. SERFOR. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. MINAGRI. Pdf. 345 p.

- LEY N° 30215 (2014). Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos
- Lino, K. (2009). Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundarias de bolaina en la cuenca media del río Aguaytía, Ucayali, Perú. Tesis (Ingeniera Forestal). Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Pucallpa. 70 p.
- Loestch, F. & Haller, K.E. (1973). Forest inventory. Volume II. English by K.F panzer. Germany: BLV Verlagsgsellschae Munsen Bren Wrien.
- Loguercio G, G Defossé. (2001). Ecuaciones de biomasa aérea, factores de expansión y de reducción de la lenga *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser, en el So del Chubut, Argentina. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 18 al 20 de octubre de 2001. 11 p.
- López M., A. (1998). *Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo*. Tesis de Maestría. Escuela de posgrado, Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación, CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp: 3-15.
- López T. G. (2007). Sistemas agroforestales 8. SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Colegio de Post-graduados. Puebla. 8 p.
- Los Philodendrons (2013) Departamento ecologico sustentable y funcional. Proyecto de desarrollo tecnologio en Ciencias Ambientales. Universidad Nacionla Autonoma de Mexico. XXI concurso universitario Feria de las ciencias la tecnologia y la innovación. Los Philodendrons - seudónimo de los integrantes. P3, 20 p.
- Lugo, A. E. and S. Brown (1992). Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management* 48: 69-88.
- Llerma M.A. y Orjuela E.L. (2014). Modelos alométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el páramo de Anaime, Departamento del Tolima, Colombia. Trabajo de tesis para optar por el título de ingeniero forestal. Universidad del Tolima Facultad de Ingeniería Forestal. Iibagué.

- MacDicken K. (1997). A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development (WRI). Consultado 22 ago. 2007. Disponible en <http://www.winrock.org/REEP/PUBSS.html>
- Maclaren, J., D. Hollinger, P. Beets, and J. Turland, (1994). Carbon sequestration by New Zealand's plantation forests. In: Kanninen, M. (ed.) 1994. Carbon Balance of World's forested ecosystems: towards a global assessment. Helsinki, Publications of the Academy of Finland 3/93: 201-214.
- Madgwick, H. (1973). Biomass and productivity models of forest canopies. En: *Analysis of temperate forest ecosystems*. Springer Verlag, Berlin, RFA. 47 – 53 pp
- Marland G., Obersteiner M., Schllamadinger B., Righelato R., Spracklen D.V. (2007). The Carbon Benefits of Fuels and Forests. *Science*, Vol. 318. no. 5853, pp. 1066 – 1068.
- Malhi Y, J Grace. (2000). Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology and Evolution* 15(8): 332-336.
- Márquez L. (1997). Validación de campo de los métodos del Instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistemas agroforestales. Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala. 45 p.
- Martínez Alier, Juan. (1995). *Curso Básico de Economía Ecológica*, PNUMA, México 1995.
- Meneses Cuellar, R. y Zamora TaLaverano, N. S. (2018). Valoración económica del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en la cobertura forestal - Parque Nacional del Huascarán. DOI: <http://dx.doi.org/10.24039/cv201861255>. 8 p.
- Mendieta L., M y Rocha M., L. (2007). *Sistemas agroforestales*. Universidad Nacional Agraria. Managua – Nicaragua. Pag 6. 117 p.

- Mery, G., M. Kanninen. (1998). Las plantaciones forestales y el secuestro de carbono en Chile. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO Valdivia Chile 1998. 14p.
- MINAM & MINAGRI (2011). El Perú de los Bosques
- MINAM & MINAGRI (2015). Bosque – no bosque y pérdida de bosques 2000 – 2013 por categorías territoriales. Inédito.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2016^a). El Perú y el Cambio Climático: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. 329pp. RBNP N° 2016-04430
- Ministerio del Ambiente (2016). Guía de Valoración Económica del Patrimonio Natural. Perú – Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Res. Ministerial N° 409-2014-MINAM. Pgs. 15,16, 18, 24. 46p.
- Ministerio de Economía y Finanzas (2017). Resolución Directoral N° 002-2017-EF/63.01. “Directiva N° 002-2017-EF/63.01, Directiva para la Formulación y Evaluación en el Marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones”. Pg 17. 40p.
- Montero M, M Kanninen (2002). Biomasa y Carbono en plantaciones de Terminalia amazonia (Gmel.) Excell en la zona Sur de Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana 39-40: 50-55 p.
- Montero M, F Montagnini (2006). Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente 45: 118-125.
- Musálem S. M. A. (2001). Sistemas agrosilvopastoriles. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. 120 p
- Montagnini, F., y Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. Agroforestry Systems 61, 281 – 295.

- Nair, P. K. R. 1993. An introduction to agroforestry. The Netherlands. Kluwer Academic Publishers.
- Návar, J. (2009). Allometric equations for tree species and forests of north-western Mexico. *For. Ecol. Manage.* 257: 427–434.
- Nogueira, E.M., Fearnside, P.M., Nelson, B.W., Barbosa, R.I. & Keizer, E.W.H. (2008). Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management* 256: 1853-1867.
- Norberto, C. (2006). Metodologías para el Análisis Costo-Beneficio de usos del Suelo y Fijación de Carbono en Sistemas Forestales para el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Proyecto Forestal de Desarrollo (SAGPyA/BIRF). B. Aires, Argentina. 20 pp.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) (2010). Estimación del Carbono capturado en las plantaciones de Pino Radiata y Eucaliptos relacionadas con el DL-701 de 1974. Ministerio de Agricultura en el 2010, Gobierno de Chile ODEPA
- Ortíz, R., O. Ramírez, B. Finegan. (1998). CO₂ Mitigation service of Costa Rican secondary forests as economic alternative for joint implementation initiatives. En *Ecology and management of tropical secondary forest science, people and policy*. CATIE, CIFOR. Turrialba, Costa Rica. pp: 213-227.
- Palm, C. A., P. L. Woome, J. Alegre, L. Arévalo, C. Castilla, D. G. Cordeiro, B. Feigl, K. Hairiah, J. Kotto-Same, A. Mendes, A. Moukam, D. Murdiyarsa, R. Njomganag, W. J. Parton, A. Ricse, V. Rodrigues, S. M. Sitompul, and M. van Noordwijk. (1999). Carbon Sequestration and Trace Emissions in Slash and Burn and alternative Land Uses in the Humid Tropics. ASB Climate Change working group report, Final report, Phase 2. 27 p.
- Palomino C.; D. y Cabrera C.; C. (2008). Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo. *Revista del*

- Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol. 10, N° 20, 49-59 (2007) UNMSM. Unidad de Post Grado - Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 11 p.
- Pardos J.A. (2010). Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria Ministerio de Ciencia e Innovación. INIA. Madrid-España. 249 p.
- Parresol, BR. (1999). Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45(4): 573-593.
- Pearce, D. (1990). An economic approach to saving the tropical forests. Trabajo preparado por el autor para University of Oxford and Oxford Economic Research Associates, Londres, 1990.
- Pérez D, M Kanninen (2003). Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 15(1): 199-213: 1-9.
- Pearce, D. y K. Turner. (1995). Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente. Colegio de Economistas de Madrid. Celeste Ediciones. Madrid.
- Phillips O.L.; Brienen R.J.; RAINFOR (2017). Carbon uptake by mature Amazon forests has mitigated Amazon nations' carbon emissions. *Carbon Balance Management* 12:1
- Phillips, O.L.; Malhi, Y.; Higuchi, N.; Laurance, W.F.; Núñez, P.V.; Vásquez, R.M.; Laurance, S.G.; Ferreira, L.V.; Stern, M.; Brown, S.; Grace, J. (1998). Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science*, 282: 439-442.
- Picard, N.; Saint-André, L. & Henry, M. (2012). Manual for building tree volume and biomass allometric equations. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/018/i3058e/i3058e.pdf>

- Pinto C.; M. (1984). Fisiología de la producción vegetal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, veterinarias y forestales. Departamento de producción agrícola. Publicación Docente. Santiago. Pg 24. 122 p.
- PNUMA y Secretaría Sobre el CC. (1999). Para comprender el cambio climático, guía elemental de la Convención Marco de las Naciones Unidas y el proyecto Kyoto. Ginebra, Suiza. 35 p.
- Pregitzer K.S., Euskirchen E.S. (2004). Carbon Cycling and Storage in World Forests: Biome Patterns Related to Forest Age.” *Global Change Biology* 10, 12, 2052-2077.
- Protocolo de Kyoto. Visitada 19 marzo (2018), disponible en:
<http://www.conanp.gob.mx/contenido/pdf/Protocolo%20de%20Kyoto%20a%20la%20Convencion%20Marco%20de%20las%20Naciones%20Uni.pdf>
- Qie, L.; Lewis S.L.; Sullivan, M.J.; Lopez-Gonzalez, G.; Pickavance, G.C.; Sunderland, T.; Ashton P.; Hubau, W.; Abu Salim, K.; Aiba S.; Banin L.F.; Berry, N.; Brearley F.Q.; Burslem, D.F.R.P.; Dančák, M.; ...Phillips, O.L. (2017). A longterm carbon sink in Borneo’s forests, halted by drought and vulnerable to edges. *Nature Communications*, 8. DOI10.1038/s41467-017-01997-0
- Quiñe M.; P.C. y Chappa S.M.; C.E. (2009). Cuantificación de Biomasa y Reserva de Carbono en Sistemas Agroforestales de Café (*Coffea arabica* L.) en dos pisos altitudinales. Tesis de pregrado. Facultad de Cs. Agrarias – UNSM - Tarapoto. 7 p.
- Ramirez T.; P. (2005). Diseño de un sistema agroforestal basado en café robusta que incrementa la sustentabilidad, rentabilidad y equidad. Tesis. Magister en Gestión en Desarrollo Rural y Agricultura Sustentable Universidad de Temuco. Anexo 2. Pag 185. 192 p.

Reglamento de la Ley N° 30215. (2016). D.S. N° 009-2016-MINAM

Reinders H.P.; Linares R.; Briones A.; Mendoza J.; Berru D. y Paredes R. (2003). Experiencias agroforestales en el Cumbaza, San Martín. 1era edición. Centro de Desarrollo e Investigación de la Selva Alta (CEDISA. Embaja Real de los Países Bajos. Ley 26905-Biblioteca Nacional del Perú. Pgs 105, 106, 135. 149 p.

RIAT (2005). El Mercado Carbono de los bonos de carbono (“bonos verdes”): Una Revisión. Germán Lobos A., Oscar Vallejos B., César Caroca J., y Cristián Marchant C. Universidad de Talca – Chile. Facultades de Cs. Empresariales y Cs. Forestales. RIAT - Revista Interamericana de Ambiente y Turismo. Volumen 1, número 1 (Agosto 2005). Interamerican Journal of Environment and Tourism. 11 p.

Rodríguez, L. R.; P. J. Jiménez.; C. O. Aguirre y G. E. Treviño. (2006). Estimación del carbono almacenado en bosques de niebla en Tamaulipas, México. Ciencia UANL IX (2): p. 179 – 187.

Romero C. (1997). Economía de los recursos ambientales y naturales. 2da edición. Alianza editorial S.A. Madrid, España. 195 p.

Sabine C.L., Heimann M., Artxo P., Grubern., Valentini R. (2004). Current status and past trends of the global carbon cycle. En: Integrating humans, climate and the natural world, Edit: CB Field y M.R. Raupach, Island Press, W.C.

Saatchi, S.S.; Harris, N.L.; Brown, S.; Lefsky, M.; Mitchard, E.T.; Salas, W. et al. (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108: 9899-9904.

Saldarriaga JG, DC West, ML Tharp, C Uhl. (1988). Long-term chronosequence of forest succession in the upper Río Negro of Colombia and Venezuela. Journal of Ecology 76: 938-958.

Segura M. (1997). Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de

Licenciatura, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales. 126 p. + anexos.

Segura M, y M Kanninen. (2005). Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotrópica* 37(1): 2-8.

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

Schimel D., Alves D., Enting I., Heimann M., Joos F., Raynaud D., Wigley T. (1996). Radiative forcing of climate change En: *Climate change 1995. Contribution of the group Ito the second assessment report of the IPCC*. Edit: Houghton J.T. *et al* , Cambridge University Press, pp 65-131.

Schlegel B. (2001). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. In Simposio Internacional Medicion y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 18 al 20 de octubre del 2001. 13 p.

Schroeder, P. (1994). Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 27. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. pp: 89-97.

Sierra C, JI del Valle, S Orrego. (2001). Ecuaciones de biomasa de raíces y sus tasas de acumulación en bosques sucesionales y maduros tropicales en Colombia. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 18 al 20 de octubre del 2001. 16 p.

Sierra C.A., Del Valle J.I., Orrego S.A., Benjumea, J.F. (2007). Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porce region, Colombia. *Forest Ecol. Manag.* 243, 299-309.

Sit, V. y Poulin-Costello, M. (1994). Catalogue of curves for fitting. Biometrics Information. Handbook No. 4. British Columbia: Ministry of Forest Research Program.

- Snowdon P, J Raison, H Keith, K Montagu, H Bi, P Ritson, P Grieson, M Adams, W Burrows, D Eamus. (2001). Protocol for sampling tree and stand biomass, National Carbon Accounting System technical report, n° 31, primer borrador. Australian Greenhouse Office, Au.114 p.
- Suárez, D., Stoian, D., Segura, M., Hagggar, J., Locatelli, B., Gómez, M. (2002) Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en Yassica Sur, Nicaragua. 8 p.
- Turner, K., van den Bergh J., Söderqvist T., Barendregt A., van der Straaten J., Maltby E. y van Ierland E. (2000). Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. *Ecological Economics*. 35 (1): 7-23.
- UNFCCC. (2005). “The Mechanisms under the Kyoto Protocol: The Clean Development Mechanism, Joint Implementation and Emissions Trading”. unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/items/1673.php. Página visitada el 28 de Abril del 2017.
- Vallejo, A. (2009). Cambio climático, bosques y uso de la tierra. Curso Formulación de Proyectos MOL Forestal y Bioenergía. Carbon Descisions. Buenos Aires, Argentina. 29 p.6 de Abril 2012. Disponible en: http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/FAC/File/vallejo_cc_bosquesyusodelatierra.pdf
- Van Minnen J.G., Klein K., Stehfest E., Eickhout B., Van Drecht G., Leemans R., (2009). The importance of three centuries of land-use change for the global and regional terrestrial carbon cycle. *Climatic Change* 97: 123-144.
- Watson J.E.M.; Evans T.; Venter O.; Williams B.; Tulloch A.; Stewart, C. (2018). The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, 2: 599-610.
- Weishampel P., Kolka R., King J.Y. (2009). Carbon pools and productivity in a 1-km² heterogeneous forest and peatland mosaic in Minnesota, USA. *For. Ecol. Manag.* 257, 747- 754.

Winjum J.K., Dixon R.K., Schroeder P.E. (1992). Estimating the global potential of forest and agroforest management practice to sequester carbon. *Water, Air and Soil Pollution* 6,1-2, 213-227.

Young, A. (1997). *Agroforestry for soil management*. 2da ed. UK. CAB International. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF).

ANEXOS

Anexo 1: Características generales de las parcelas de agricultores en la cuenca Alta y Medio del Río Cumbaza

CUENCA ALTA CUMBAZA														
N°	Cultivo	Situación	Año	Plantación	Ha	Especie_1	Especie_2	Especie_3	Especie_4	Especie_5	Especie_6	TOTAL	Beneficiario	DNI
1	Cacao	Instalado	2011	Contorno	1	PALIPERRO:29	ISHPINGO:25	CAOBA:31	ESTORAQUE:01	COPAIBA:01	QUINILLA:01-METOHUAYO:01-HUAYURO:01	90 PLANTAS	Jhon Richar Sangama Isuiza	46478305
2	Cacao	Instalado	2011	Contorno	0,5	CAOBA:12	METOHUAYO:06	CHUCHUHUASI:01	QUINILLA:01	PALIPERRO:06		26 PLANTAS	Carlos Sangama Isuiza	46476746
3	Cacao	Instalado	2011	Contorno	1,5	ISHPINGO:56	PALIPERRO:35	CAOBA:62	CAPIRONA:01			153 PLANTAS	Segundo Gilberto Sangama Ruiz	881415
4	Cacao	Instalado	2011	Contorno	1	ISHPINGO:25	CAOBA:30					55 PLANTAS	Anita Santillán Inuma	1075482
5	Cacao	Instalado	2011	Contorno	1	ISHPINGO:58	CAOBA:16	PALIPERRO:50	METOHUAYO:06			130 PLANTAS	Gusmiler Davila Santillán	40135697

CUENCA MEDIA CUMBAZA														
N°	Cultivo	Situación	Año	Plantación	Ha	Especie_1	Especie_2	Especie_3	Especie_4	Especie_5	Especie_6	TOTAL	Beneficiario	DNI
1	Cacao	Instalado	2012	Contorno	1	Ungurahui:05	Capirona:08	Paliperro:36	Teca:32			81 PLANTAS	Teddy García Armas	1131818
2	Cacao	Instalado	2012	Contorno	1	UBUS:02	CAPIRONA:12	PALIPERRO:42	TECA:09	CEDRO:06		71 PLANTAS	Jaime Navarro Ramírez	1077060
3	Cacao	Instalado	2012	Contorno	1	Ubus:03	Capirona:07	Paliperro:14	Teca:18	Cedro:14	Pucaquiuro:01	59 PLANTAS	Rubén Arce García	1117167
4	Mangos	Instalado	2012	Contorno	1	Ubus:2	Capirona:10	Paliperro:78	Teca:10	Cedro:08		108 PLANTAS	Orlando Navarro Ramírez	Por Regularizar
5	Plátano	Instalado	2012	Contorno-macizo	3	UBUS:08 - BOLAINA:06	CAPIRONA:25	PALIPERRO:30	TECA:57	CEDRO:09	UNGURAHUI:08	143 PLANTAS	Gerbar Bartra Lozano(PARCELA N° 01)	1120051

Anexo 2: Reservas de carbon considerando a bosques

Tratamientos	Trats (clave)	Total C en biomasa Tn/ha	Total carbono (herbacea) Tn/ha	Total carbono (hojarasca) Tn/ha	Total carbono (15 cm suelo) kg/ha	C total por Tratamiento (Tn/ha)	Total Agua transpirada/ha en Tn	Total O2/ha en Tn
BCA	BCA	11,255	1,382	2,180	2,596	17,413	40,448	23,943
BCA	BCA	20,277	1,112	3,337	3,107	27,833	64,653	38,271
BCA	BCA	27,819	1,751	3,496	5,653	38,719	89,940	53,239
BCM	BCM	50,497	1,598	4,581	4,980	61,656	143,220	84,777
BCM	BCM	48,230	1,051	5,240	5,752	60,273	140,007	82,876
BCM	BCM	9,979	1,334	8,728	6,665	26,706	62,035	36,721
Gerbar Bartra Lozano (CM)	CM	36,578	0,673	1,145	6,733	45,128	104,828	62,051
Gerbar Bartra Lozano (CM)	CM	20,295	0,936	0,830	8,876	30,937	71,863	42,538
Gerbar Bartra Lozano (CM)	CM	58,688	0,886	1,305	7,482	68,361	158,794	93,996
Jaime Navarro Ramirez (CM)	CM	2,874	0,650	2,471	0,741	6,735	15,646	9,261
Jaime Navarro Ramirez (CM)	CM	5,918	0,533	2,059	0,729	9,239	21,462	12,704
Jaime Navarro Ramirez (CM)	CM	4,454	0,675	2,498	0,744	8,371	19,445	11,510
Orlando Navarro (CM)	CM	12,269	0,713	2,000	11,711	26,692	62,003	36,702
Orlando Navarro (CM)	CM	14,276	0,662	1,845	8,838	25,621	59,515	35,229
Orlando Navarro (CM)	CM	7,665	0,814	1,769	8,497	18,745	43,542	25,774
Ruben Arce Garcia (CM)	CM	1,795	1,096	2,371	6,116	11,378	26,430	15,645
Ruben Arce Garcia (CM)	CM	0,245	0,617	2,621	8,658	12,141	28,202	16,694
Ruben Arce Garcia (CM)	CM	0,655	0,504	2,005	7,254	10,418	24,201	14,325
Tedy Garcia Armas (CM)	CM	3,974	0,324	2,844	9,682	16,824	39,080	23,133
Tedy Garcia Armas (CM)	CM	7,428	0,385	2,009	7,709	17,532	40,724	24,106
Tedy Garcia Armas (CM)	CM	4,379	0,506	0,900	9,359	15,144	35,178	20,823
Anita Santillan (CA)	CA	10,566	0,779	0,943	5,355	17,645	40,986	24,261
Anita Santillan (CA)	CA	7,088	0,952	1,111	7,685	16,836	39,107	23,149
Anita Santillan (CA)	CA	8,005	0,592	1,593	4,820	15,010	34,867	20,639
Carlos Sangama (CA)	CA	2,134	0,992	1,190	5,334	9,650	22,416	13,269
Carlos Sangama (CA)	CA	10,996	0,783	1,121	5,570	18,470	42,904	25,397
Carlos Sangama (CA)	CA	4,009	0,821	1,393	9,369	15,592	36,218	21,439
Gusmiller Davila Santillan (CA)	CA	6,840	0,427	2,084	3,272	12,623	29,321	17,356
Gusmiller Davila Santillan (CA)	CA	6,835	0,562	2,263	3,888	13,547	31,468	18,627

Gusmiller Davila Santillan (CA)	CA	7,181	0,722	2,354	4,230	14,487	33,651	19,919
Jhon Sangama Isuiza (CA)	CA	12,675	0,749	0,808	6,587	20,819	48,361	28,626
Jhon Sangama Isuiza (CA)	CA	9,167	0,592	1,058	4,606	15,423	35,826	21,207
Jhon Sangama Isuiza (CA)	CA	10,189	0,756	1,343	7,819	20,106	46,705	27,646
Segundo Gilberto Sangama (CA)	CA	4,941	0,797	1,130	4,391	11,260	26,156	15,483
Segundo Gilberto Sangama (CA)	CA	6,657	1,300	1,019	10,577	19,553	45,419	26,885
Segundo Gilberto Sangama (CA)	CA	4,510	1,094	1,089	3,213	9,907	23,012	13,622
Promedios		12,82	0,84	2,13	6,07	21,86	50,77	30,05

Anexo 3: Reservas de carbon en Sistemas agroforestales

Trats	Trats (clave)	Total C en biomasa Tn/ha	Total C (herbac.) Tn/ha	Total carbono (hojarasca) Tn/ha	Total C (15 cm suelo) kg/ha	C total por Trat (Tn/ha)	Total Agua transpirada/ha en Tn	Total O2 liberado/ha en Tn
Gerbar Bartra Lozano (CM)	CM	36,578	0,673	1,145	6,733	45,128	104,828	62,051
Gerbar Bartra Lozano (CM)	CM	20,295	0,936	0,830	8,876	30,937	71,863	42,538
Gerbar Bartra Lozano (CM)	CM	58,688	0,886	1,305	7,482	68,361	158,794	93,996
Jaime Navarro Ramirez (CM)	CM	2,874	0,650	2,471	0,741	6,735	15,646	9,261
Jaime Navarro Ramirez (CM)	CM	5,918	0,533	2,059	0,729	9,239	21,462	12,704
Jaime Navarro Ramirez (CM)	CM	4,454	0,675	2,498	0,744	8,371	19,445	11,510
Orlando Navarro (CM)	CM	12,269	0,713	2,000	11,711	26,692	62,003	36,702
Orlando Navarro (CM)	CM	14,276	0,662	1,845	8,838	25,621	59,515	35,229
Orlando Navarro (CM)	CM	7,665	0,814	1,769	8,497	18,745	43,542	25,774
Ruben Arce Garcia (CM)	CM	1,795	1,096	2,371	6,116	11,378	26,430	15,645
Ruben Arce Garcia (CM)	CM	0,245	0,617	2,621	8,658	12,141	28,202	16,694
Ruben Arce Garcia (CM)	CM	0,655	0,504	2,005	7,254	10,418	24,201	14,325
Tedy Garcia Armas (CM)	CM	3,974	0,324	2,844	9,682	16,824	39,080	23,133
Tedy Garcia Armas (CM)	CM	7,428	0,385	2,009	7,709	17,532	40,724	24,106
Tedy Garcia Armas (CM)	CM	4,379	0,506	0,900	9,359	15,144	35,178	20,823

Anita Santillan (CA)	CA	10,566	0,779	0,943	5,355	17,645	40,986	24,261
Anita Santillan (CA)	CA	7,088	0,952	1,111	7,685	16,836	39,107	23,149
Anita Santillan (CA)	CA	8,005	0,592	1,593	4,820	15,010	34,867	20,639
Carlos Sangama (CA)	CA	2,134	0,992	1,190	5,334	9,650	22,416	13,269
Carlos Sangama (CA)	CA	10,996	0,783	1,121	5,570	18,470	42,904	25,397
Carlos Sangama (CA)	CA	4,009	0,821	1,393	9,369	15,592	36,218	21,439
Gusmiller Davila Santillan (CA)	CA	6,840	0,427	2,084	3,272	12,623	29,321	17,356
Gusmiller Davila Santillan (CA)	CA	6,835	0,562	2,263	3,888	13,547	31,468	18,627
Gusmiller Davila Santillan (CA)	CA	7,181	0,722	2,354	4,230	14,487	33,651	19,919
Jhon Sangama Isuiza (CA)	CA	12,675	0,749	0,808	6,587	20,819	48,361	28,626
Jhon Sangama Isuiza (CA)	CA	9,167	0,592	1,058	4,606	15,423	35,826	21,207
Jhon Sangama Isuiza (CA)	CA	10,189	0,756	1,343	7,819	20,106	46,705	27,646
Segundo Gilberto Sangama (CA)	CA	4,941	0,797	1,130	4,391	11,260	26,156	15,483
Segundo Gilberto Sangama (CA)	CA	6,657	1,300	1,019	10,577	19,553	45,419	26,885
Segundo Gilberto Sangama (CA)	CA	4,510	1,094	1,089	3,213	9,907	23,012	13,622
Promedios		9,776	0,730	1,639	6,328	18,473	42,911	25,401

Anexo 4: Tarifa y canon de acuerdo al volumen de agua para consumo humano

Año	Volumen captado (m ³ /año)	Tarifa promedio (S/. / m ³)	Canon (S/.)
2008	10 200 490,82	1,37	13 974 672,42
2009	10 627 374,40	1,26	13 390 491,74
2010	10 480 096,00	1,16	12 156 911,36
2011	10 463 057,60	1,07	11 195 471,63
2012	10 697 431,12	0,97	10 376 508,19
2013	10 640 934,81	0,94	10 002 478,72
2014	10 644 685,00	0,87	9 260 875,95
2015	10 546 974,00	0,84	8 859 458,16
2016	11 066 987,57	0,77	8 521 580,43
Promedios	10 596 447,92	1,03	10 859 827,62

Anexo 5: Tarifa y canon de acuerdo al volumen de agua para riego.

Año	Volumen captado (m³/año)	Tarifa promedio (S./ m³)	Canon (S./)
2008	48 082 192,70	0,00417	200 502,74
2009	50 385 848,39	0,005	251 929,24
2010	54 978 323,40	0,005	274 891,62
2011	56 697 044,04	0,00525	297 659,48
2012	53 707 661,28	0,00525	281 965,22
2013	61 155 594,86	0,00602	368 156,68
2014	61 607 093,18	0,00627	386 276,47
2015	62 139 784,98	0,00654	406 394,19
2016	63 469 518,84	0,00707	448 729,50
Promedios	56 913 673,52	0,01	324 056,13

Anexo 6: Tarifa y canon de acuerdo al volumen de agua para piscigranja

Año	Volumen captado (m³/año)	Tarifa (S./m³)	Canon (S./)
2008	4 755 381,70	0,00379	18 022,90
2009	4 983 215,77	0,00455	22 673,63
2010	5 437 416,60	0,00455	24 740,25
2011	5 607 399,96	0,0048	26 915,52
2012	5 311 746,72	0,0048	25 496,38
2013	6 048 355,54	0,00506	30 604,68
2014	6 093 009,22	0,00531	32 353,88
2015	6 145 693,02	0,00554	34 047,14
2016	6 277 205,16	0,00607	38 102,64
Promedios	5 628 824,85	0,004941	28 106,33

Anexo 7: Costos de producción para la instalación de 1 ha de SAF

Fuente	Costos de instalación SAF (S./)	Modelo SAF
Cooperativa "Oro verde	4 587,15	Cacao bajo de sombra de platano, especies forestales permanentes
MINAG - DRA San Martín	2 762,02	Cacao bajo sombra de platano y guaba
IIAP San Martín	3 041,25	Cacao orgánico en sistema tradicional bajo sombra de platano y guaba
COFENAC. Ramirez (2005) Chile. Universidad de Temuco	1046,1	Café robusta tradicional a partir de bosque secundario, con citricos y otras especies forestales
IIAP San Martín	4 307,24	Cacao convencional bajo sombra de platano y guaba en las provincias de Picota, Huallaga y M. Caceres
Promedio	3 935,94	

Anexo 8: VOP valor de opción propiamente dicho SAF (¿Cuanto estaria dispuesto a pagar actualmente por una Ha de SAF?)

N°	Turistas extranjeros	Personas de otros departamentos	Personas naturales de San Martín
1	6000,00	25000,00	3000,00
2	65000,00	37000,00	3500,00
3	33000,00	20000,00	7000,00
4	45000,00	10000,00	10000,00
5	33000,00	5000,00	8000,00
6	16000,00	3000,00	6000,00
7	16500,00	20000,00	5000,00
8	30000,00	1000,00	3500,00
9	20000,00	1000,00	4500,00
10	20000,00	5000,00	7000,00
11	32000,00	3000,00	3000,00
12	50000,00	3000,00	1500,00
13	1000,00	4000,00	3000,00
14	80000,00	5000,00	6600,00
15	50000,00	5000,00	4000,00
16	5000,00	600,00	2500,00
17	10000,00	600,00	1500,00
18	50000,00	6000,00	1500,00
19	8000,00	600,00	1000,00
20	6000,00	500,00	3000,00
21	30000,00	1000,00	5000,00
22	5500,00	5000,00	3000,00
23	5000,00	30000,00	5000,00
24	5000,00	500,00	4000,00
25	5000,00	500,00	10000,00
26	1500,00	4000,00	10000,00
27	2000,00	6000,00	9000,00
28	3000,00	3000,00	6000,00
29	10000,00	5000,00	5000,00
30	10000,00	20000,00	5500,00
31	25000,00	10000,00	5000,00
32	60000,00	1000,00	9000,00
33	15000,00	4000,00	5000,00
34	32000,00	3000,00	2000,00
35	16000,00	5000,00	2000,00
36	25000,00	4000,00	6000,00
37	20000,00	6000,00	5000,00
38	40 000,00	10000,00	2500,00
39	50 000,00	3000,00	3000,00

40	20 000,00	1000,00	3000,00
41	32000,00	6000,00	3000,00
42	25000,00	5000,00	5000,00
43	16000,00	5000,00	5000,00
44	20 000,00	3000,00	2000,00
45	15 000,00	6000,00	3500,00
46	25000,00	10000,00	4000,00
47	20000,00	20000,00	3000,00
48	12000,00	3000,00	2000,00
49	20 000,00	5000,00	1500,00
50	16000,00	4000,00	5000,00
51	25000,00	4000,00	10000,00
52	32000,00	1000,00	7000,00
53	20 000,00	3000,00	1500,00
54	15 000,00	5 000,00	1500,00
55	20000,00	3000,00	2000,00
56	10000,00	30000,00	2000,00
57	10000,00	6000,00	4000,00
58	25000,00	3000,00	5000,00
59	30000,00	3000,00	3000,00
60	12 000,00	1000,00	2500,00
61		500,00	6000,00
62		1000,00	4000,00
63		6000,00	3500,00
64		20000,00	2500,00
65		10000,00	2500,00
66		10000,00	3500,00
67		3000,00	2500,00
68		5 000,00	3000,00
69		6000,00	1500,00
70		3000,00	3500,00
71		6000,00	2000,00
72		5000,00	1500,00
73		4000,00	3000,00
74		5 000,00	3000,00
75		6000,00	4000,00
76		20000,00	3500,00
77		10000,00	2500,00
78		3000,00	2500,00
79		4000,00	3500,00
80		6000,00	5000,00
81		1000,00	8000,00
82		1000,00	10000,00
83		4000,00	4000,00

84		4000,00	4000,00
85		5 000,00	2500,00
86		5000,00	3000,00
87		150 000,00	3000,00
88		500,00	4000,00
89		4000,00	6000,00
90		1000,00	4000,00
91		6000,00	5000,00
92		3000,00	5000,00
93		5000,00	3500,00
94		10000,00	5000,00
95		4000,00	6000,00
96		4000,00	3000,00
97		6000,00	2000,00
98		15 000,00	3000,00
99		6000,00	2000,00
100		1000,00	3000,00
101		3000,00	3500,00
102		5 000,00	3000,00
103		4000,00	3000,00
104		6000,00	3000,00
105		5000,00	1500,00
106		6000,00	3500,00
107		4000,00	2000,00
108		4000,00	3000,00
109		1000,00	4000,00
110		10000,00	4000,00
111		10000,00	3000,00
112		5 000,00	3500,00
113		3000,00	3000,00
114		1000,00	4000,00
115		1000,00	5000,00
116		4000,00	3500,00
117		600,00	5000,00
118		15 000,00	5000,00
119		6000,00	6000,00
120		6000,00	3500,00
121		3000,00	4000,00
122		5000,00	5000,00
123		5000,00	5000,00
124		500,00	2000,00
125		4500,00	3500,00
126		600,00	7000,00
127		5 000,00	10000,00

128		6000,00	2500,00
129		6000,00	7000,00
130		3000,00	3500,00
131		600,00	4000,00
132		20000,00	10000,00
133		10000,00	5000,00
134		5000,00	5000,00
135		10000,00	3500,00
136		50 000,00	3500,00
137		3000,00	2000,00
138		3000,00	3500,00
139		5000,00	4000,00
140		600,00	4000,00
141		600,00	3000,00
142		6000,00	5000,00
143		6000,00	4000,00
144		4500,00	3500,00
145		6000,00	2000,00
146		10000,00	2000,00
147		10000,00	3500,00
148		500,00	2000,00
149		15 000,00	3500,00
150		3000,00	5000,00
151			4000,00
152			3500,00
153			10000,00
154			4000,00
155			2000,00
156			3000,00
157			3500,00
158			3000,00
159			3500,00
160			3500,00
161			5000,00
162			2000,00
163			3000,00
164			4000,00
165			7000,00
166			7000,00
167			10000,00
168			3500,00
169			3500,00
170			4000,00
171			4000,00

172			3500,00
173			4000,00
174			5000,00
175			3500,00
176			4000,00
177			4000,00
178			3000,00
179			3000,00
180			4000,00
181			4000,00
182			3500,00
183			4000,00
184			2000,00
185			2000,00
186			1500,00
187			3500,00
188			2000,00
189			4000,00
190			3500,00
191			7000,00
192			3500,00
193			5000,00
194			6000,00
195			5000,00
196			3500,00
197			3500,00
198			5000,00
199			4000,00
200			6000,00
201			6000,00
202			3500,00
203			6000,00
204			9000,00
205			3500,00
206			5000,00
207			5000,00
208			10000,00
209			3500,00
210			5000,00
211			4000,00
212			5000,00
213			8000,00
214			5000,00
215			3500,00

216			3000,00
217			5000,00
218			4000,00
219			3000,00
220			3000,00
221			4000,00
222			4000,00
223			4000,00
224			3500,00
225			3000,00
226			3000,00
227			3000,00
228			3500,00
229			3500,00
230			2500,00
231			2500,00
232			2000,00
233			2500,00
234			3300,00
235			4500,00
236			4000,00
237			3000,00
238			4500,00
239			4000,00
240			2000,00

Anexo 9: VCO valor de cuasi opción SAF (Considerando que los SAFs tienen un valor futuro para propósitos científicos, alimentarios farmacéuticos, comerciales, etc ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una Ha de SAF?)

N°	Turista	Estudiante	Profesional	Agricultor	Comerciante	Otros
1	6000,00	2700,00	10000,00	3000,00	5000,00	20000,00
2	65000,00	4000,00	5000,00	3500,00	8000,00	3500,00
3	33000,00	2500,00	50000,00	7000,00	3000,00	5000,00
4	45000,00	3000,00	50000,00	5000,00	6000,00	20000,00
5	33000,00	6000,00	8000,00	15000,00	2000,00	2500,00
6	15500,00	3200,00	30000,00	4000,00	1000,00	2000,00
7	16500,00	2500,00	10000,00	5000,00	10000,00	1500,00
8	30000,00	1000,00	80000,00	3000,00	1500,00	1000,00
9	20000,00	1200,00	12000,00	3000,00	25000,00	4000,00
10	20000,00	5000,00	12000,00	6000,00	6000,00	6000,00
11	32000,00	3500,00	30000,00	4000,00	15000,00	1000,00

12	50000,00	3000,00	36000,00	4466,67	17785,71	5000,00
13	1000,00	9000,00	45000,00	4552,38	20071,43	4000,00
14	80000,00	7000,00	54000,00	4638,10	22357,14	4390,48
15	50000,00	5000,00	63000,00	4723,81	24642,86	4719,05
16	5000,00	600,00	72000,00	4809,52	25000,4	5047,62
17	10000,00	600,00	81000,00	4895,24	29214,29	5376,19
18	50000,00	350,00	90000,00	4980,95	31500,00	7000,00
19	8000,00	650,00	99000,00	5066,67	33785,71	6500,00
20	6000,00	600,00	80000,00	5152,38	36071,43	6550,00
21	30000,00	1000,00	17000,00	5238,10	38357,14	7500,00
22	5000,00	1500,00	26000,00	5323,81	4042,86	7250,00
23	6000,00	3500,00	10000,00	5000,00	5000,00	3800,00
24	7000,00	3000,00	50000,00	4000,00	6000,00	1980,00
25	7000,00	9000,00	30000,00	4638,10	1000,00	1770,00
26	1500,00	7000,00	12000,00	4723,81	6000,00	3700,00
27	4000,00	5000,00	45000,00	4980,95	22357,14	6000,00
28	3000,00	600,00	63000,00	15000,00	31500,00	5650,00
29	7000,00	600,00	99000,00	3000,00	38357,14	7800,00
30	10000,00	500,00	17000,00	5152,38	8000,00	7500,00
31	25000,00	1000,00	26000,00	7000,00	17600,00	20000,00
32	60000,00	1200,00	8000,00	5000,00	6000,00	5220,00
33	15000,00	5000,00	30000,00	4200,00	33785,71	2950,00
34	4400,00	3500,00	63000,00	15000,00	36071,43	6500,00
35	5000,00	3000,00	72000,00	5000,00	6000,00	5050,00
36	20000,00	9000,00	90000,00	3000,00	22357,14	4530,00
37	50000,00	3000,00	63000,00	3200,00	7000,00	7800,00
38	20000,00	5000,00	17000,00	4200,00	5000,00	5750,00
39	33000,00	3500,00	50000,00	4980,95	32000,00	3500,00
40	50000,00	7000,00	80000,00	3500,00	1500,00	7 050,00
41	9000,00	600,00	36000,00	3500,00	17095,00	
42	80000,00	600,00	54000,00	3000,00	31000,00	
43	10000,00	1500,00	81000,00	3500,00	5000,00	
44	35000,00	9000,00	80000,00	7000,00	1000,00	
45	14500,00	600,00	17000,00	4000,00	12500,00	
46	2000,00	600,00	17000,00	3000,00	6000,00	
47	3000,00	1000,00	30000,00	4552,38	25000,00	
48	7000,00	3500,00	72000,00	4200,00	35100,00	
49	60000,00	2700,00	50000,00	5238,10	37570,00	
50	15000,00	4000,00	10000,00	3000,00	12150,00	
51	7000,00	3200,00	36000,00	3500,00	2000,00	
52	3000,00	5000,00	57000,00	3000,00	1000,00	
53	15000,00	350,00	90000,00	5152,38	5000,00	
54	35000,00	600,00	30000,00	15000,00	4850,00	
55	14000,00	9000,00	63000,00	5000,00	2557,00	

56	15000,00	3500,00	30500,00	3000,00	6000,00	
57	30000,00	600,00	50000,00	4000,00	15000,00	
58	18000,00	6500,00	12000,00	3500,00	24800,00	
59	25000,00	600,00	17000,00	3000,00	6000,00	
60	20000,00	5000,00	8000,00	3500,00	5600,00	
61		3000,00	50000,00	4000,00	8000,00	
62		5000,00	80000,00	3700,00	28000,00	
63		350,00	47500,00	3000,00	36500,00	
64		1500,00	85000,00	4570,00	8240,00	
65		350,00	50000,00	3200,00	1000,00	
66		2700,00	8000,00	3500,00	38070,00	
67		9000,00	45000,00	4000,00	24800,00	
68		2500,00	80000,00	3000,00	31500,00	
69		2500,00	63000,00	6000,00	1000,00	
70		350,00	90000,00	3500,00	15000,00	
71		1200,00	25000,00	15000,00	33000,00	
72		1100,00	17000,00	3000,00	7600,00	
73		350,00	75000,00	3500,00	18780,00	
74		3500,00	85000,00	4250,00	2000,00	
75		9000,00	10000,00	3200,00	25640,00	
76		7000,00	63000,00	15000,00		
77		600,00	30000,00	3500,00		
78		1100,00	17000,00	4500,00		
79		600,00	80000,00	2500,00		
80		800,00	80000,00	15000,00		
81		1800,00	71500,00	5000,00		
82		2700,00	5250,00	6000,00		
83		7500,00	8000,00	3000,00		
84		5000,00	12000,00	12000,00		
85		600,00	12000,00	3000,00		
86		550,00	17000,00	5000,00		
87		600,00	63000,00	4000,00		
88		3500,00	30000,00	4000,00		
89		550,00	800,00	3100,00		
90		1000,00	1 700,00	3 000,00		
91		1200,00				
92		600,00				
93		1500,00				
94		3150,00				
95		450,00				

Anexo 10: VL valor de legado (Pensando en sus hijos, nietos y otras generaciones futuras
¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una Ha de SAF?

N°	Turista	Estudiante	Profesional	Agricultor	Comerciante	Otros
1	2000,00	5000,00	3000,00	1000,00	1000,00	1500,00
2	6000,00	4500,00	15000,00	30000,00	6000,00	1500,00
3	3000,00	4000,00	10000,00	5000,00	3000,00	10000,00
4	300,00	2000,00	8000,00	3000,00	1000,00	1800,00
5	30000,00	900,00	10000,00	8000,00	5000,00	2000,00
6	16000,00	3700,00	10000,00	6000,00	5000,00	1200,00
7	16500,00	3000,00	6000,00	5000,00	3000,00	1500,00
8	20000,00	100,00	12000,00	3000,00	4000,00	3000,00
9	30000,00	4000,00	3000,00	4000,00	10000,00	5000,00
10	20000,00	10000,00	10000,00	5000,00	6000,00	2000,00
11	33000,00	400,00	15000,00	3000,00	1000,00	3000,00
12	5000,00	25000,00	2500,00	2500,00	9000,00	3500,00
13	3000,00	10000,00	15000,00	2500,00	10000,00	3000,00
14	3500,00	2000,00	17145,45	2000,00	1000,00	300,00
15	20000,00	5000,00	12000,00	1500,00	5000,00	500,00
16	3500,00	1000,00	6000,00	1000,00	6000,00	500,00
17	7000,00	600,00	6000,00	900,00	8000,00	450,00
18	8000,00	4000,00	6000,00	500,00	6500,00	500,00
19	10000,00	1000,00	3000,00	150,00	1000,00	3000,00
20	2000,00	1000,00	618,18	300,00	1000,00	600,00
21	4000,00	2000,00	2000,00	600,00	2000,00	800,00
22	6000,00	500,00	4000,00	1000,00	3000,00	650,00
23	9000,00	100,00	6000,00	3000,00	1000,00	420,00
24	5000,00	5000,00	15000,00	1500,00	6000,00	1500,00
25	10000,00	600,00	10000,00	500,00	5000,00	1800,00
26	9000,00	2000,00	6000,00	1000,00	10000,00	420,00
27	5000,00	3700,00	10000,00	30000,00	10000,00	3000,00
28	11000,00	3000,00	15000,00	3000,00	1000,00	3500,00
29	10000,00	25000,00	17145,45	6000,00	3000,00	300,00
30	15000,00	10000,00	12000,00	3000,00	1000,00	3000,00
31	9000,00	600,00	6000,00	4000,00	6000,00	350,00
32	20000,00	1000,00	3000,00	2000,00	1000,00	1200,00
33	25000,00	500,00	4000,00	150,00	4000,00	1500,00
34	3500,00	4000,00	15000,00	1000,00	10000,00	3000,00
35	5000,00	900,00	10000,00	1500,00	1000,00	300,00
36	3500,00	100,00	3000,00	3000,00	9000,00	300,00
37	7500,00	10000,00	17000,00	5000,00	1000,00	1500,00
38	4000,00	1000,00	15000,00	2500,00	6500,00	3500,00
39	5000,00	1000,00	2000,00	900,00	5000,00	12000,00

40	15000,00	2000,00	3000,00	500,00	1000,00	300,00
41	25000,00	2000,00	5500,00	1300,00	3000,00	
42	33000,00	10000,00	5500,00	6000,00	6000,00	
43	3500,00	500,00	3000,00	1600,00	1000,00	
44	6000,00	100,00	8000,00	5000,00	8000,00	
45	15000,00	5000,00	11000,00	6000,00	1000,00	
46	5000,00	4000,00	6000,00	5000,00	6000,00	
47	10000,00	3600,00	15000,00	1500,00	10000,00	
48	15000,00	400,00	618,18	150,00	1000,00	
49	9000,00	2000,00	8000,00	600,00	4000,00	
50	25000,00	100,00	15000,00	2500,00	6500,00	
51	33000,00	3000,00	10000,00	3000,00	1000,00	
52	3000,00	10000,00	2000,00	6000,00	6000,00	
53	300,00	500,00	15000,00	6000,00	1000,00	
54	5000,00	5000,00	618,18	5000,00	4000,00	
55	6000,00	2000,00	3000,00	2500,00	2800,00	
56	16000,00	3700,00	2500,00	3000,00	8000,00	
57	20000,00	500,00	12000,00	2500,00	1000,00	
58	2000,00	1000,00	6000,00	1600,00	5000,00	
59	8000,00	5000,00	3000,00	2500,00	3000,00	
60	25 000,00	10000,00	15000,00	1500,00	4000,00	
61		2000,00	3000,00	500,00	10000,00	
62		2000,00	12000,00	4000,00	5000,00	
63		2000,00	6000,00	6000,00	1600,00	
64		4700,00	10000,00	3000,00	1150,00	
65		4000,00	17000,00	2500,00	2800,00	
66		100,00	550,00	6000,00	6000,00	
67		10000,00	15000,00	6000,00	10000,00	
68		2000,00	15000,00	1500,00	8000,00	
69		25000,00	8000,00	3000,00	1000,00	
70		5000,00	11000,00	30000,00	3000,00	
71		2000,00	15000,00	5000,00	1000,00	
72		3700,00	2000,00	150,00	2500,00	
73		4000,00	618,18	2500,00	10000,00	
74		100,00	6000,00	2000,00	6000,00	
75		1000,00	2000,00	150,00	3 000,00	
76		2000,00	4000,00	600,00		
77		25000,00	15000,00	3000,00		
78		10000,00	2000,00	3000,00		
79		3700,00	15000,00	2500,00		
80		1000,00	3000,00	3000,00		
81		10000,00	12000,00	500,00		
82		2000,00	3000,00	3000,00		
83		100,00	6000,00	5000,00		

84		1000,00	10000,00	2500,00		
85		10000,00	2000,00	500,00		
86		2000,00	10000,00	30000,00		
87		4500,00	17145,45	150,00		
88		1000,00	618,18	1600,00		
89		3700,00	2000,00	6000,00		
90		2000,00	4 000,00	150,00		
91		3700,00				
92		200,00				
93		3700,00				
94		5000,00				
95		600,00				

**ENCUESTA CONFIDENCIAL PARA LA POBLACIÓN RESIDENTE O VISITANTE DE
LA REGIÓN SAN MARTÍN**

PROYECTO: Valoración económica del servicio ambiental por secuestro de carbono en la biomasa aérea de diferentes sistemas agroforestales – Provincias de Lamas y San Martín – Departamento de San Martín – Perú.

Buenos días, agradecería respuesta la encuesta. Si tiene alguna duda en cualquier momento le ruego me consulte.

En este estudio nos interesa conocer el interés de la comunidad del valor que tiene los sistemas agroforestales, como un recurso natural y generador de servicios ambientales que brinda a la humanidad, para plantear políticas de conservación y protección.

1. ¿Cuál es su procedencia?
1. ¿Cuál es su ocupación?
2. Sexo: M F
3. Edad:
4. Teniendo en cuenta sus ingresos, sus gastos, sus gustos y preferencias ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar actualmente por una hectárea de una chacra agroforestal?
.....
5. Considerando que los Sistemas Agroforestales tienen un valor futuro para propósitos científicos, alimentarios farmacéuticos, comerciales, etc ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una Ha de SAF?
.....
6. Pensando en sus hijos, nietos y otras generaciones futuras ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una Ha de SAF?
.....

OBSERVACIONES

Tarapoto, 2016